

総説

マシンインテリジェンスコースへの期待

田中雅博

甲南大学 知能情報学部 知能情報学科
神戸市東灘区岡本 8-9-1, 658-8501

(受理日 2008年6月2日)

概要

知能情報学部には3つのコースが設けられており、マシンインテリジェンスコースは、そのうちの1つである。本コースでは、コンピュータ、あるいは、コンピュータを実装した機械に知的な機能、すなわち、知能を具備し、人間の人間たる所以である、知的な活動をサポートするシステムを研究、開発するということを目的としている。本稿では、マシンインテリジェンスコースのベースとなる分野の概説を述べるとともに、筆者が考えているこのコースの展望を具体的に示したい。

キーワード: 知能機械, ロボット, 人工知能, 知能情報

1 はじめに

ノイマン式のコンピュータが生まれてからほぼ半世紀が経つ。また、ダートマス大学のジョン・マッカーシーがダートマス大学で研究会形式の会議を開催し、その中で Artificial Intelligence (人工知能) という言葉が初めて使われてからもほぼ半世紀である。この間、すさまじい勢いでコンピュータの性能が向上し、小型化した。

筆者が学生の時代(1970年代後半)を思い出してみると、ミニコンと大型計算機(メインフレーム)を使っていた。ミニコンはプログラミングの実験用で、アセンブリ言語でコーディングしたプログラムをアセンブルし、紙テープにマシン語のプログラムを穿孔し、テープリーダーを使ってミニコンに読み込ませてから実行していた。

大型計算機については、FORTRANのプログラムが穿孔されているパンチカードの詰まったアルミの箱を抱えて大型計算機センターに通い、カードリーダーからプログラムを入力して、ターンテーブルに出てくるプリンター用紙を持ち帰るといったような方法を使っていた時代である。

ネットワークに関しては、音響カプラーやモデムを使って300bpsや1200bpsで大型計算機につないで学内端末を使っていた。大型計算機本体は、学内のコンピュータを使う処理の大部分を担っていたため常に待ち時間があった。また、自宅から大型計算機センターにつないでコンピュータを使うということは可能ではあったが、これまた、モデムや音響カプラーを経由して電話回線を使い、大変高コストでしかも通信速度が遅かった。

マイコンは、NECのTK-80というコンピュータの実験装置のような製品がすでに市販されていたが、機械語をメモリに直接書き込む形で入力するもので、数百バイトしか使えなかった。当時は、電子工作の好きな人のおもちゃ、あるいはコンピュータを理解するための教材のいずれかが、小さなコンピュータの用途だった。パソコンはこの流れの中で1980年代前半にたくさんのメーカーからどっと発売されたが、当時は、メーカー毎にプログラミング環境も違い、互換性が極めて低いものであった。

一方、米国ARPANETを緒とするインターネットは90年代あたりから一気に普及し、世界中に広まった。筆者も、90年あたりから、かなり高価だったunixマシンを使い、当時所属していた学科内のLANから、数少ないネットワークの口を、遠慮しながら使っていた。その頃のコンピュータの利用といえば、電子メール、ftpによるファイル交換、telnetやremote loginによる他のコンピュータの利用などであって、httpプロトコルによるファイル交換はまだ普及していなかった。その後、スイスCERNのバーナーズリーにより開発されたMosaicというWWWのソフトを初めて使った時の感動は今でも覚えている。しかしながら、画像の表示は極めて遅く、現在のブロードバンドのネットワーク環境とは隔世の感がある。これが、たったの16~17年ほど前だったということは、大変重要なことであるように思われる。

現在では、計算環境はユビキタスコンピューティングへと着々と進んでいる。すなわち、いたる所にコンピュータがあり、それらがネットワークでつながり、世界中の人の通信上の距離が非常に小さくなりつつある。地球の反対側に住んでいる友人とも、IP電話やチャットで、特に料金を払うことなくリアルタイムに連絡をすることがいとも簡単にできる。この、ネットワークでつながった時代が本格的に出現してからまだほんの十年そこそこしか経過していないことを考えると、歴史を外挿してこれからの将来を推定することは誰にもできないものと思われる。

しかしながら、そうはいつても、我々は、将来のことを見据えて教育することが社会から求められていることは言うまでもない。そこで、今後の社会の特徴を少しばかりイメージしてみると、まず、少子高齢化というキーワードが浮かんでくる。

少子高齢化社会は、人類が経験したことのない、厳しい社会であろう。明らかに人口も減少してゆく。人口が減少したのちに、社会がどのように変わっていくのかは私の知るところではないが、確かなこととして、生産年齢人口が激減する。それにより、人手不足が深刻化してくるであろう。気候変動による農業の変化、エネルギーの枯渇や環境の悪化なども進み、決して楽ではありえない社会が待ち受けていると思われる。現在の学生たちは、そうした時代に生きることを余儀なくされると思われる。

単純に考えても、非常に少ない若者により、多数の老人を養う必要性が生じることから、人間の知的活動を活発化することにより、生産性を上げなければならないし、老人は、対人間以外の、言い換えれば、機械を相手とする社会システムの中で生きていかねばならず、より人間に親和性の高いマンマシンインターフェイスが必要である。それは、ある種のロボットの場合もあれば、身体性を持たないコンピュータシステムの場合もあるが、いずれにしても、人間とのコミュニケーションが非常に重要となる。さらには、老人介護の問題も重要である。

マシンインテリジェンスコースは、そういう状況が見えてきた時代に、まさにタイムリーに生まれた、知能情報学部の1コースであり、これからの時代を大きくサポートすることのできる技術を提供する宿命を負っていると考えている。

2 知能化処理の基礎となる学問分野や技術要素

ここでは、本コースを特徴付ける学問的な分野の名称と、筆者の考える内容の一通りの説明を加えてみたいと思う。

2.1 サイバネティクス

コンピュータの知能化やロボットのことを論じる際に忘れてはならない概念として、1948年のウィナーの著書 [1] のタイトルである、「サイバネティクス」がある。サイバネティクスでは、「組織化されたシステム」が対象であり、通信工学と制御工学を融合し、生理学、機械工学、システム工学を統一的に扱うことを意図して作られた学問である。[1] の第2版が筆者の手元にあるが、久しぶりに繙いてみるとさすがに時の流れを感じる読みにくさがある。第I部と第II部よりなっており、第I部の内容を列挙すると、ニュートンの時間とベルグソンの時間、群と統計力学、時系列、情報および通信、フィードバックと振動、計算機と神経系、ゲシュタルトと普遍的概念、サイバネティクスと精神病理学、情報、言語および社会となっている。また、第II部は、学習する機械、増殖する機械、脳波と自己組織系となっている。この、ウィナーの著書がもととなり、その後、現代的な内容に色づけされ、開花するのである。筆者が学生の時代に書かれた30年ほど前のサイバネティクスの教科書 [2] を見ると、以下のような章立てがなされている。

表 1: [2] の章立て

第1章	生物と機械	第6章	適応
第2章	人間・社会・歴史	第7章	記憶と連想
第3章	情報	第8章	学習と教育
第4章	予測	第9章	知能と思考
第5章	制御		

これを見ると、現代でも教科書として十分通用する内容が並んでいるのがわかる。また、ロボットやコンピュータに関連する学問としての、「システム」の部分に特化したものがサイバネティクスとして位置づけられていることが見て取れる。これは、システムの重要性が早くから予見されたものとして、特筆すべき内容であるといえよう。

2.2 人工知能

人工知能の研究には二つの立場がある。一つは、人間の知能そのものをもつ機械を作ろうとする立場、もう一つは、人間が知能を使ってすることを機械にさせようとする立場である。そして、実際の研究のほとんどは後者の立場に立っている¹。

¹人工知能学会 Web サイト <http://www.ai-gakkai.or.jp/jsai/whatsai/AIwhats.html>

冒頭に述べたように、人工知能 (AI) という言葉は、1956年のマッカーシーまで遡る。人工知能というとき、内容や手法についても2つの大きな流れがある。1つは記号論理を前面に打ち出し、エキスパートシステム、事例ベース推論、振舞いに基づく AI といった手法を扱うもので、強い AI、古き良き AI (Good Old Fashioned Artificial Intelligence, GOF AI) とも言われる。もう1つは、計算知能 (Computational Intelligence) とも呼ばれるもので、ニューラルネットワーク、ファジィ論理、進化的アルゴリズムなどを扱い、弱い AI とも呼ばれる。

本学部のカリキュラムでは、人工知能全般を概説する科目として、「人工知能」があり、知識の表現方法を解説し、この知識を資源とした推論や知識処理の仕組みが講義される。知識表現としては、「グラフ」、「木表現」、「意味ネットワーク」、「命題論理」、「述語論理」、「フレーム」、「プロダクションシステム」などを学習し、また、知識処理として「推論」および「問題解決」などを学習する。こうした内容は、「強い AI」により深く関係しているが、強い AI とか弱い AI とかいうことを意識せずに、本学部の学生は、一通り勉強することが望ましいと思っている。一通り勉強して、さらに学びたい場合は、人工知能の分野の比較的新しいしっかりした教科書として、ラッセルの書物 [3] を挙げておこう (大部であるし、難しいので、読み始めるにはそれなりに覚悟が必要である)。ソフトコンピューティング的な内容を紹介する科目としては、「知能情報処理」、「知能化技術」といった科目があり、それぞれ、進化的アルゴリズムやニューラルネットワークの教育がなされるものと考えている。

2.3 オペレーションズリサーチ及び最適化

第2次世界大戦の時代に、作戦の研究から始まったため、作戦研究とも訳せる「オペレーションズリサーチ」と呼ばれているが、そこで芽生えた数理的なモデル及び最適化手法は、戦後の企業経営や経営計画の中で活かされてきた。

オペレーションズリサーチと最適化という2つの分野の定義の方法は一通りではないが、ここでは、オペレーションズリサーチと最適化は車の両輪と考えることにしよう。すなわち、オペレーションズリサーチは、対象となるシステム・問題がまずあって、それに対してどのようにアプローチすべきかということを考える学問であり、最適化は、オペレーションズリサーチで使われることの多い数理的な問題のモデルとその解法を教えるというように筆者は切り分けを行っている。本学部では、オペレーションズリサーチの基礎科目が1科目、また、最適化については2科目が設定されている。さらに、関連する応用的科目も数個ある (確率過程論、応用システム解析、意思決定論など)。

オペレーションズリサーチでは、在庫管理、生産管理、輸送問題、割り当て問題などの問題が採り上げられる。これらの問題は、線形計画問題、非線形計画問題、整数計画問題などに帰着させる。オペレーションズリサーチの授業の中では、実問題をコンピュータで解くことができるよう、モデル作りに主眼を置いている。問題に対して適切なモデルができれば、Excel のデータ分析機能などを使えば数値解を求めることが可能である。なお、本学の教育用コンピュータにおいてオペレーションズリサーチ関係の問題に使えるソフトウェアとして、Excel 以外に、Visual SLAM (シミュレーション)、MATLAB (信号処理、最適化、ニューラルネットワークなど)、SPSS (統計処理) などがある。

最適化は、何かの規準を最大化あるいは最小化するという問題であって、最大化 (最小化) の対象である目的関数と、制約条件 (等式制約、不等式制約) を考慮する。目的関数およびすべての制約条件が、変数の一次式で表現されれば線形計画問題、どこかに一次式以外の式が現れれば非線形計画問

題という。製品製造に使われる何種類かの原材料がそれぞれある一定量しか使えないときに、どの製品をどれだけずつ作れば利益が最大になるかという形の問題が典型的な線形計画問題である。

多目的最適化問題とは、最大化あるいは最小化したい目的関数が複数個ある最適化問題である [4]。目的関数の中に決定変数（操作変数）がどのような形で入っているかによるが、一般に、複数個の目的関数を同時に最適化することはできず、ある目的を達したら別の目的がおろそかになるという関係になる。これは、問題の構造を変えない限り避けられない問題であって、解法の良し悪しで解決できる問題ではない。しかしながら、最適化の観点からは、目的関数をそれぞれ全部改善することがまだできる状況のもとでは、改善しなければならない。ギリギリのところまで改善して、これ以上どれかの目的を改善しようとすると、別の目的関数の値が悪くなることを受け入れなければならないようなパレート最適解は、多目的最適化における解の概念であり、一般に複数個（あるいは無限個）存在する。決定にかかわっている者がパレート最適解の間でどの解を好むか、ということは、意思決定にかかわっていることから、意思決定理論の枠組みの中で多目的最適化が論じられることも多い。また、パレート最適解は多数あり、複数個の解候補を維持しながら解を求める進化的アルゴリズムとの親和性が高いことから、この枠組みの中での研究も多い（たとえば、[5]-[8]）。

2.4 制御理論

制御は、サイバネティクスの中核をなす概念である。制御とは、対象となる動的システムがあり、その、何らかの状態をあらかじめ定める基準を満たすように、入力を行う（決める）ことである。ここでいう「状態」というものは、制御対象によって全く異なるものになることがある。たとえば、位置や速度などを制御するサーボ系の制御と、温度や圧力などを制御するプラントの制御はかなり異なる内容である。サーボ系においては、位置や速度を状態に取り、プラントでは、温度や化学的な濃度などを状態にとる。制御という視点から見ると類似しているが、応答特性は大きく異なる。

制御においては、制御対象を制御したあとの状態を見て、次の制御を行うフィードバックという概念が重要である。特に、制御システムの中にノイズが混入する場合（通常はそうである）、フィードバックが必要である。古典制御理論とは、伝達関数と呼ばれる線形の入出力システムとして表わされた制御対象を中心に、周波数応答などを評価して望みの挙動を達成する制御理論である。その中で、対象とする変数の目標値と実現値の差を用いて、比例、積分、微分の値を用いて、PID 制御が考案されて以来、産業界では長く使われている。

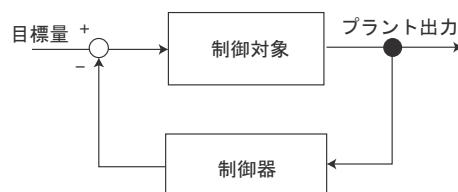


図 1: 制御の概念

一方、一階の常微分方程式をベクトルと行列の形で並べることで複雑なシステムがこのモデルで記述できる。 t を時刻とし、状態ベクトル \mathbf{x} 、入力ベクトル \mathbf{u} 、状態変数自体を変化させる外乱 \mathbf{w} を用

いた状態方程式

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = A\mathbf{x}(t) + B\mathbf{u}(t) + \mathbf{w}(t)$$

あるいはその離散システム

$$\mathbf{x}(t+1) = F\mathbf{x}(t) + G\mathbf{u}(t) + \mathbf{w}(t)$$

を基礎に置き、制御の概念をすべてこの状態方程式の応用で論じる現代制御理論が1960年代あたりからずっと研究されている。制御という多様性のある技術を、こうした、一階微分（あるいは差分）方程式系という統一された形にして発展してきた現代制御理論は、かなり特異な学問であるように私には感じられる。

状態変数を何にするかという問題は、制御目的に依存して決まるが、場合によっては、直接状態変数が観測できないような場合もある。その場合には、観測できる変数を出力 $\mathbf{y}(t)$ 、直接観測できない変数を状態変数 $\mathbf{x}(t)$ 、未知のノイズ成分を $\mathbf{v}(t)$ として観測方程式

$$\mathbf{y}(t) = H\mathbf{x}(t) + \mathbf{v}(t)$$

を設け、状態方程式とセットにして状態変数を推定するが、これをフィルタ問題という。フィルタアルゴリズムはカルマンフィルタがその中心となる²。

上記のシステムは、 \mathbf{x} に関して線形であることから、線形システムと言われるが、 $F\mathbf{x}(t)$ の代わりに、非線形関数 $F(t, \mathbf{x}(t))$ で表現されるシステムを非線形システムという。非線形システムの場合は、一見ランダムに見えるカオスが生じる場合もある。非線形システムを線形近似して制御したり推定したりすることは一般に行われているが、非線形特性を積極的に利用したりすることもあり、このあたりの話題は、知能情報学部では応用システム解析の講義で説明される。また、暗号などへの応用も可能である。

動的システムは、サーボ系やプロセスシステムにおいて物理的にモデル化できるが、このような形のモデルは、経済モデル、あるいは、環境モデルなどにも現れる。経済指標のようなものを状態変数あるいは観測値として位置づけ、政策的な決定、すなわち、公定歩合や税率のような操作量を入力として扱えば、動的システムとしてモデル化できる。環境においても、同様に、大規模な対象を、線形あるいは非線形のモデルとして構築し、それに対して、制御理論を適用して予測したり、パラメータ同定をしたり、さらには、最適制御を行った場合のシミュレーションなども可能である。

制御の問題は、もちろんロボットの制御などに大いに関係があり、マシンインテリジェンスには欠かせない重要な分野である。また、制御だけでなく、マーカやランドマークの位置を観測して、ロボットなどの位置を推定する問題への応用が、近年興味を持たれている [10]。

2.5 ニューロコンピュータ・ニューラルネットワーク

高度な知能を持つ「脳」は神経回路網であり、脳を模倣すれば高度な知的処理の機能が実現できるのではないかという考えから、生物学的神経を抽象化した形式ニューロンというモデルが考えられた

²カルマンフィルタは、ロケットの打ち上げが盛んだった1970年代頃に1つのブームがあったが、近年、ロボット等の追跡のために、2度目の静かなブームとなっている。テキストとしては、片山 [9] を薦めたい。

のが、人工ニューラルネットワークの基礎であり、外科医のマカロックと論理学者・数学者であるピッツにより考案された。爾来、神経細胞の構造や働きをハードウェアやソフトウェアで模倣し、人間の脳が行っているような高度な情報処理の実現を目指す技術は発展を続けており、ニューロコンピュータ、あるいはニューラルネットワークと呼ばれている。

初期のニューラルネットワークとしては、1957年に心理学者フランク・ローゼンブラットによって提案されたパーセプトロン (Perceptrons)[11] が重要である。視覚と脳の機能をモデル化したものであり、パターン認識を行う。パーセプトロンはS層（感覚層，入力層），A層（連合層，中間層），R層（反応層，出力層）の3つの部分からなっており，S層とA層の間はランダムに接続されている。S層には外部から入力信号（2値のみならず，連続値も可能）が与えられる。A層はS層からの情報を元に反応する。R層はA層の答えに重みづけをして，1つの値を出力する。ニューラルネットワークの最大の特徴の1つに，学習機能を持つということが挙げられる。パーセプトロンも，シンプルな学習メカニズムを持ち，学習可能であるか，また，収束するかといったことに対して，数学的に明快な説明ができる。そのため，理論家および実務家両者の興味を引き，ニューラルネットブームを巻き起こした。

パーセプトロンの場合は，入力値と出力値の間に，非線形素子（閾値関数）が2層含まれており，一見して，非線形な判別境界を持つが，S層とA層の間の重みは固定であり，この部分の構造は学習できない。従って，学習可能な，A層からの出力とR層の出力の間の関係に着目すれば線形分離であり，パーセプトロンは線形識別器と見なされている。

しかしながら，パーセプトロンは線形非分離な問題が解けないことがミンスキーとパパートにより指摘され，それが原因となってニューラルネットワークは下火になったが，ラメルハートとマクレランドらによりまとめられた並列分散処理（PDP）モデルは，バックプロパゲーションという方法を取り入れ，単層パーセプトロンが線形分離不可能なパターンを識別できないという難点を克服する方法を示すことで，その後のブームに大きな役割を果たした。

図2は，階層型ニューラルネットワークの構造である。信号は左から入力され，それぞれのパスに付随する重みを掛けた値が○で示されるニューロンで足し合わされ，シグモイド関数という非線形関数を通して出力される。最も右のユニットから出される値がネットワーク出力で，あらかじめ準備された学習データを用いて，出力の値が学習データの出力値に近くなるように重みが調整される。このことをニューラルネットにおける学習という。

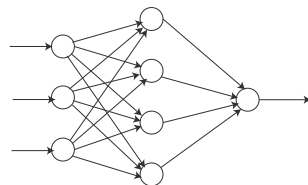


図 2: 階層型ニューラルネットワークの構造

このネットワークモデルに対する効果的な学習方法として，最急降下法をベースにした誤差逆伝播法（バックプロパゲーション）があり，さまざまなバリエーションもあって，広く使われている。なお，この学習方法は，生物的な神経回路網における学習方法とはほぼ無関係であり，むしろ，近年活

発に研究されているサポートベクトルマシンなどとともに、最適化を基礎とするオペレーションズリサーチなどの分野との接点になっている。なお、生物・生理学的なメカニズムを模倣する学習方法としては、ヘブ学習やKohonenの自己組織化マップ、CarpenterとGrossbergによるARTなど連想記憶などのモデルに多く見られる ([12])。

ニューラルネットワークは、これまでコンピュータが苦手としていた認識問題（文字認識や音声認識、画像認識など）や、非線形予測（時系列予測、信号処理など）への適用が容易であるため応用研究が進んでおり、一部では実用化している。

ニューラルネットワークは、教師データの有無により「教師あり学習」と「教師なし学習」に分類できる。さらに、教師あり学習においては、教師がカテゴリーを示すものか、実数値を示すものかにより、「パターン分類」と「関数近似」の問題に分類できる。また、教師なし学習においては、データの類似性や相違度をデータの中から学習するということが目標である。代表的な教師なし学習としては、 k -means クラスタリングやKohonenの自己組織化マップ (Self-Organizing Map; SOM) などが有名である。

2.6 進化的アルゴリズム

生物の進化のメカニズムを模倣することで、最適化問題を解くことを目的とする、人工知能の1つの分野であり、遺伝的アルゴリズム、遺伝的プログラミング、進化戦略、進化的プログラミングなど、さまざまなバリエーションがある [13], [14]。これらを特徴付ける構造としては、解の候補を個体という形で陽に表現し、複数個の個体をあたかも進化の世界のように、遺伝的なメカニズムを伴って世代を経て進化させながら環境（問題）への適合の度合いを高めていくというものである。また、コンピューターションの分野の言葉でいうと、メタヒューリスティクスという言葉が該当する。すなわち、「必ず正しい答えが導けるわけではないが、ある程度のレベルで正解に近い解を得ることが出来る方法」（ヒューリスティクス）で、特定の問題だけでなく、一般的に用いることができるアルゴリズム（メタ）という意味である。

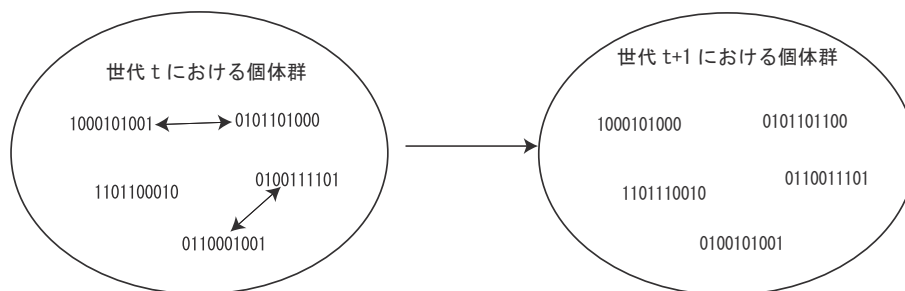


図 3: 遺伝的アルゴリズムにおける世代。実際には、もっとたくさんの個体と長い染色体（個体）の問題に対して適用する

進化的アルゴリズムで扱える問題の範囲は広い。具体的な特徴を挙げると、対象システムの物理モデルを必要としないし、離散・連続のいずれの問題も扱える。また、多目的問題も扱い可能（しかも、進化的アルゴリズム特有のメリットがある）である。デメリットとしては、厳密解が得られず、「良

い」解が見つけれられるという程度のことしかいえないというのが最大の弱点であり、それ以外に、計算量が多い、適用の際に、結構経験と勘が必要である、制約条件の扱いがスマートにできないことなどが挙げられる。

従って、線形計画法、非線形計画法、整数計画法の定式化ができる問題に対しては、最適解の得られる保証がある問題に対しては言うまでもなく理論的なアルゴリズムを適用すべきであり、大域解の得られる保証のない非線形最適化問題に対しても、問題・解の性質がわかる範囲で可能な限り分析をし、最終手段として進化的アルゴリズムを適用することが重要であると考えられる。

1970年代にホランドにより、“Adaptation in Natural and Artificial Systems”が発表された [15]。この中では、遺伝的計画 (genetic plan) という名前が使われているが、その後、このアルゴリズムが、遺伝的アルゴリズム (genetic algorithm) と呼ばれるようになった。遺伝的アルゴリズムは 1990 年あたりから盛んに用いられるようになり、現在に至っている [16]。

解の表現方法として、ちょうど生物の染色体に相当するコードを用いる。たとえば、100 個のスイッチの ON-OFF を最適化するのであれば、100 ビットの 2 進列を 1 個体として定義する。個体群の中の個体の数をたとえば 50 個とするなら、50 個の、ランダムに生成した 100 ビットの 2 進列である個体を生成する (初期個体群)。これらの個体の中で、組み合わせをランダムに作って、部分列を交換する交叉、そして、低い確率で値を反転する突然変異を用いることで、親個体の性質を引き継ぎながら新しい個体を生成する。これらの中には、良いものもあるが、悪いものも多数含まれており、「良さ」の度合いに応じて、次世代の個体をこれらから選択する。以上を、1 世代として、何百世代も何千世代も繰り返すことにより、環境に適した (ということは、問題に対して良い) 解を生成するという仕組みである。筆者らは、時間割問題に対して、遺伝的アルゴリズムを用いる試みを行ってきた [17]-[20]。

実数値を 1 つ、あるいは複数個最適化する問題においては、各遺伝子座 (コードの 1 要素) が 2 個あるいは数個の値を取り得るコード化 (バイナリ表現がその例) だけでなく、実数値そのものを使って進化的アルゴリズムを構成することも広く行われている。これを実数値 GA と呼ぶ。浮動小数点演算をする通常のコンピュータ言語の上でのコーディングにおいては、この方が少ない個数の変数を用いて最適化するため、計算も速いし、何よりも、実数値空間における意味のある交叉や突然変異が設計できる。

近年は、実数値 GA と類似した目的のために、PSO という、群れのモデルを使ったアルゴリズムが結構注目されているほか、個体が多数あるのを多目的最適化におけるパレート解のサンプルとして生成したり、対話的な多目的最適化における対話的解法に用いたりする応用がある (たとえば [5], [6] など)。

2.7 ファジィ理論

ファジィ集合は、人間のもつ曖昧な言語をコンピュータの世界に持ち込むために 1965 年にロトフィ・ザデーによって提唱された集合で、曖昧な言語概念に帰属する度合いを 0 から 1 の間の値を用いた連続値のメンバーシップ関数として表すことで曖昧な主観を表現することができる。多くの変数からなる複雑な系を扱うのに有効である。また、ファジィ集合を扱って推論するための理論を、ファジィ論理という。論理は、2 値ではなくて、0 から 1 の間のメンバーシップ値として扱われる。たとえば、 $\mu_A(x)$ を、 x が A という概念にどれくらい属しているかということを示す。 x を温度、A を「暑い」

という概念としたとき、 $\mu_A(25) = 0.6$ などとする。これは、25度が暑い度合いは0.6である、という意味を指す。なお、このメンバーシップ値には一般に普遍性はなく、どのような値を持たせるかはそのシステム固有の部分となる。

こうしたファジィ集合を用いた、ファジィ命題を考える。ファジィ命題とは、「もし～なら」の部分の「前件部」と、「～である」（あるいは「～とする」）の部分の「後件部」を組み合わせた、「もし～なら～である」という形のルールである。たとえば、「もし暑いなら冷房を中にする」といった形である。こういう形のルールを多数準備しておき、システムの中にプールしておく。たとえば、次のようなものである。

1. もし涼しいなら冷房を切にする
2. もし少し暑いなら冷房を弱にする
3. もしかなり暑いなら冷房を強にする
4. もし非常に暑いなら冷房を最強にする

そして、センサーからの温度情報を得て、たとえば現在が28度であれば、それが前件部の「少し暑い」、「かなり暑い」等に当てはまる度合いをメンバーシップ関数から求め、その度合いで後件部を混合して最終的に冷房の強度を決め、制御に移す。これがファジィ制御である。どれかのルールを選ぶのではなく、前件部の度合いで後件部を混合するというのがファジィ制御の特徴である。

いくつかの典型的なケースを作っておいて、それらを前件部によって混合するというのがその原理であって、入力に対してなめらかな非線形出力のモデルが容易にできる。なによりも、そのインターフェイスが、数式モデルではなくて、メンバーシップで設計できるという点が大きいのだろう。

ファジィでは、制御の分野の成功が著名であり、仙台の地下鉄の運転制御や、家電製品の制御（洗濯機や車のエンジン制御などが有名）などに用いられた。

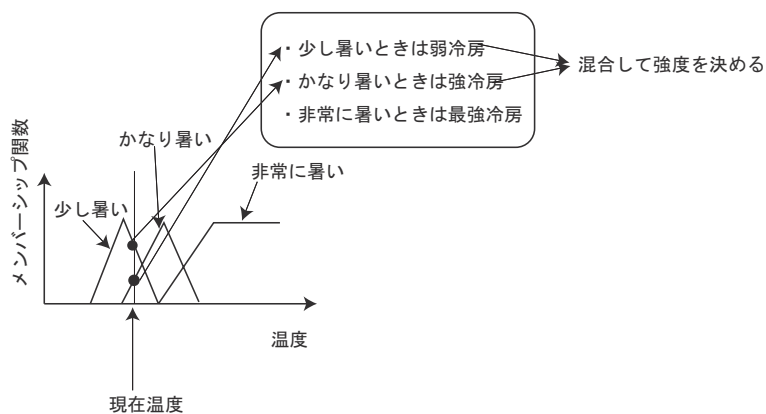


図 4: ファジィのイメージ

2.8 パターン認識

パターン認識は、視覚や聴覚の信号を入力し、そこに含まれるものを判別したりクラス分類をしたりすることである。これらの問題では、認識をする前に、画像処理や信号処理をする必要があることから、授業の中で、画像処理などを行った後にパターン認識を行うため、画像処理、信号処理をパターン認識と混同する学生があるが、本来は、それらは区別して理解すべきであろう。

パターン認識の実用化の重要なものは、多分、郵便番号の読み取り機械であろう。郵政省の指導の下、東芝では1965年、開発のためのプロジェクトが編成され、1966年、試作機が初めて完成した³。

パターン認識は、特徴量より構成されるベクトル空間を、空間中で切り分ける問題として定義することができる。一例を示そう。

いま、円に近い形状のものほど良品であるような果物の形状を画像認識したいと考え、果物の部分を画像処理によって抽出できたとする。それにより、面積 S と、最大径 r (直線距離で最長の長さ) が抽出できる。これらの特徴ベクトルと考えると、2次元ベクトルである。

この特徴ベクトルの存在領域を図示したのが図5である。

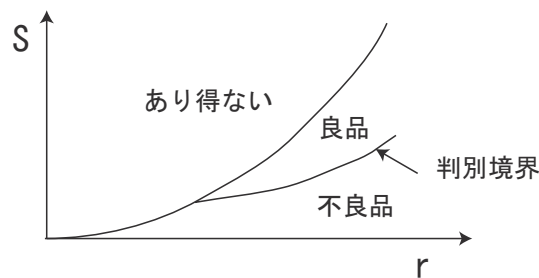


図 5: 果物の形状に関する特徴ベクトルの領域

形状が円の場合が同じ r に対して最も S の大きくなる場合であって、問題は、それよりもどれだけ形がいびつかということである。明らかに

$$\frac{S}{r^2} \leq \frac{\pi}{4}$$

である。こうした、識別境界線は、学習データを用いて、コンピュータの中で、暗黙的に(場合によっては明示的に)生成される。「暗黙的に」という意味は、モデルとしての関数が生成されているが、領域のどちらになるかは、テストデータを入れて、結果的にどちらになるかを知るという意味である。識別境界を生成するモデルとしては、超平面(2次元の場合は直線、3次元の場合は平面)、楕円などの単純な幾何学的構造の場合もあれば、階層型ニューラルネットワークなどを用いた場合には複雑な形状となる。また、固有ベクトルがなす部分空間を用いる場合もある。

パターン認識に関する論文でよく見る問題点は、学習用のデータが全部分類できたとか、どれだけできなかったということ、生成された認識システムの性能を論じることである。学習データだけ正確に分類できればよいのであれば、それらのデータを完全に記憶しておけばよい。これでは意味が少

³東芝史料室 (<http://kagakukan.toshiba.co.jp/history/1goki/1967postmatter/index.html>)

ない。必要なことは、汎化性である。つまり、学習に使わなかったデータで、同様の性質を持っているデータをどれだけ正しく分類できるかということが重要である。言い換えると、見本データが生成される「母集団」に対する認識率が問題なのである。

これは、実は非常に難しい問題である。同じカテゴリーのデータは、どのように分布しているかということを知らなければならない。そのためには、なるべくデータがどのような性質のデータなのか、物理的な考察を行うことができればそれをやるに越したことはない。しかし、いつもそれが可能とは限らない。そこで次善の策としては、なるべく単純なモデルを使うということである（これを、英語で Occam's razor（オッカムの剃刀）という。すなわち、ある事柄を説明するには、必要以上の実体を仮定すべきでない（ケチの原理）という原理である。

パターン認識のテキストとして推奨できるものとして、[21]がある。確率モデルをきちんと使って、しっかりとしたアルゴリズムを学ぶことができる。

2.9 不確実性の扱い

不確実性が小さければ小さいほど、物事は正確に把握でき、思い通りに制御でき、無駄も少ない。従って、どんな対象に対しても、まずは、あらゆる方法で不確実さをなくすように努力することが重要である。たとえば、通勤にかかる時間が正確にわかっているならば、開始時間ぴったりに到着すればよいだろう。指定席を予約する人の数が正確にわかっているならば、より多くの席を自由席に解放することができるだろう。あるいは、自分の人生の長さがわかっているならば、しっかりと細かい人生設計が可能だろう。

しかし、多くの場合、どんなに努力しても、ある程度の不確実性は避けることができないことが多い。そのために、そうした不確実性を考慮に入れたモデルが必要になってくる。不確実性を扱うための方法として、次のような方法がある。

1. 確率的な表現（コインの表の出る確率等の表現）
2. 集合による表現（unknown-but-bounded, たとえば小数点以下切り捨てにより発生）
3. ファジィ集合による表現（「温度が高い」等の表現）

そして、ある変数をどのような不確実表現をするかによって、あと導かれるアルゴリズムや式などが違ってくる。

確率によるモデルは、最も長く使われていて、情報の分野では、極めて重要である。情報量という単位が、事象の生起確率から定義されていることを見てもわかる。複数の確率変数間の関係をグラフで表現するグラフィカルモデルは、近年の人工知能において非常に注目されている。そこで、ベイズのルールに基づいた解析が行われるため、ベイジアンネットワークとも呼ばれる。筆者は、状態推定理論における不確実性を長年取り扱ってきたが、その場合に、確率的モデルを使うというのはもっともオーソドックスであって、かつ、計算上の問題も少ない。

集合によるアプローチは、確率のように、生起の重みを考慮せず、可能性がある値の集合という形で不確実性を取り扱う。集合の演算はコンピュータの上でもやっかいである。システム同定や状態推

定の分野でも、こういうアプローチは長年存在するが、あまり使われないのは、取扱いが厄介であるだけでなく得られる結果も、集合で得られるため、最後の結果が理解できる人が限られるためと思われる。しかし、このアプローチが必要な問題は確かに存在する。

ファジィ集合による表現は、ものごとの「度合」を0から1の間の実数で表現する。したがって、上記の集合による表現をさらに包括する大きな枠組みであるという見方もできる。ファジィ数で表現する対象がそもそも曖昧な概念であるため、あまり厳密にモデルを取り扱っても、得られる結果に大きな違いはないかもしれない。しかし、論理の展開にはあいまいさはない。その点はきちんと曖昧性を持たずに理解をしておく必要がある。

2.10 センサー工学

いままで知能を表現したり発現したりする理論や情報をいろいろと加工する技術等の分野を述べてきたが、実世界から、情報になる信号を取り込まなければ、空想の世界のみに終始することになる。文字情報を直接入力するにはキーボードが最も有用であり、普及しているが、万能ではない。ロボットなどのインテリジェントマシンについて考えるとき、必要性が高いセンサーは、画像センサー（カメラ）であり、ロボット以外に、通行人から犯罪者を探したり行方不明者を探したりする応用のある画像自動監視システムや、顔認証システムなどにおいて必要である。赤外線センサーや距離センサー、超音波センサーなども、それぞれの性質に合った用途に使われる。

ロボットアームなどでは、圧力センサーや加速度センサーなど、用途に応じて様々なセンサーが使われる。インテリジェントマシンにおいては、センサーを適切に選択することが成功への第一歩であると考えられる。

3 知能化技術の開花

ここでは、目に見える形で、知能化技術が応用された、あるいはされつつある分野を紹介しよう。ただし、ここに挙げる分野は必ずしも本コースで研究しているもの、あるいは実現を目指しているものとは限らない。

3.1 データマイニング

データマイニングは英語で Data Mining と書き、あたかも「データ」を鉱石、そこから取り出す「知識」を貴金属というように捉えて生まれた概念である。データマイニングは、手法そのものではない。むしろ、今の時代のコンピュータの利用の方法に起因した、新しい概念である [22]。

データマイニングでは、毎日時々刻々と蓄積していくデータを使う。たとえば銀行のトランザクションデータであったり、コンビニエンスストアの売り上げデータであったりする。要するに、どのように加工して使うかをあらかじめ意識することなく、単なる記録として蓄積していくデータを用いて、そこから、人間の知能だけでは発見し得なかったデータの構造や関係などを、統計的手法やニューラルネットワークなどを用いて発見していくという行為を指す。典型的には、IF ~ THEN ~の形の

ルールを抽出するというのが多くのデータマイニングの目的となっており、コンビニにおいて、天気と商品売り上げとの関係を見つけて、天候によって扱う商品を変えたり、同時に買う商品を見つけて、それらを並べて陳列したりという例がよく用いられる。ソフトとしては、Quinlan⁴のID3から始まりC4.5やC5.0に発展した決定木の学習システムが使われることが多い⁵。また、Weka⁶もオープンソースで提供されている優れたデータマイニングツールである。

3.2 アームロボット

アームロボットは、工業用に広く用いられている。たとえば、溶接、組立て、塗装などである。工業用のみならず、教育や遊びにも広く取り入れることは可能であり、アーム（腕）が、人間の知能の発達に役立ってきたこともうなずける。なお、危険が伴うため、どこへでも持ち込むというわけにはいかず、それが用途の広がりや足かせになっているという面は無視できない。

図6は、尼崎ロボットテクニカルセンターにあるロボットの模型である。同センターには、数社のロボットが並べて展示してあり、実演を見ながら用途を考えることが可能である。

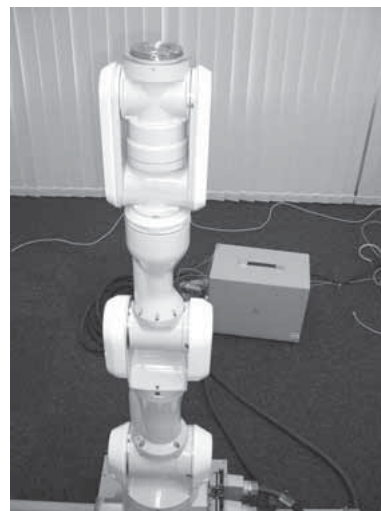
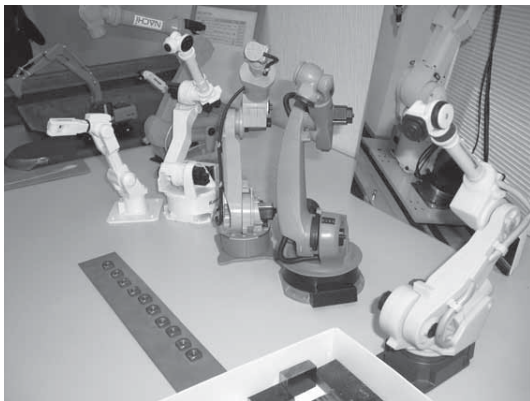


図6: (左) アームロボットの模型, (右) 本学のアームロボット:三菱重工業製 PA-10

アームロボットの応用範囲は広いが、そのうちの1つとして、手術ロボットがある。ロボットといっても、自律型ではなく、医師の遠隔操作により、離れた場所にいる患者の手術をしたり、手が入らないような細かい臓器の手術などに使う装置である。医療分野、とりわけ、手術においては将来のロボットの役割は大きいと思われる。アメリカのベンチャー企業の開発したダビンチというロボットシステムが有名である。

⁴<http://www.rulequest.com/Personal/>

⁵有償のものも含まれている。

⁶<http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/index.html>

3.3 知的自動認識機械

人の代わりに働くロボットとして、農林水産業の分野では比較的早くから応用が進んだ。無人で耕運、代かき、種まき作業などを行うことができる、「耕運ロボット」、隅から隅まで無人で効率よく田植えを行う無人田植機、半自動接ぎ木ロボット、トマト、イチゴ、なすなどの収穫ロボット、乳搾りロボットと無人監視システム、枝打ちや間伐を行うロボット、自動いか釣り機、すしロボットなどが開発されている [23]。

筆者が客員教授も務める、高知工科大学の竹田研究室では、搬送機構と画像認識システムを組み合わせた、さまざまな分野における自動認識機械を開発しており、たとえば、紙幣識別装置、いりこ選別機、米粒選別機その他が開発されてきた。パターン認識は、DSP を用いたニューラルネットワークでなされており、搬送機構は、紙幣識別機の際に作られた技術が応用されている。搬送機構を組み合わせるとするのは、竹田研究室のシステムのユニークな特徴であるが、このように、自動認識は、潜在的にさまざまな需要があるものと考えられる。図 7 は、米粒識別機の外観である。

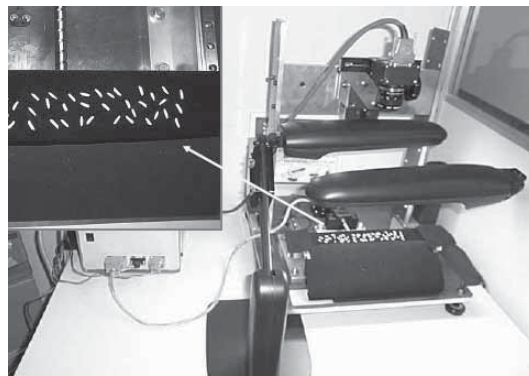


図 7: 識別機外観 (写真は竹田研究室ご提供)

3.4 ヒューマノイドロボット

人の形をしたロボットのイメージは、産業用ロボットよりも前からある。ロボットという言葉は、チェコの戯曲家カレル・チャペックが R.U.R. (Rossum's Universal Robots, ロッスムのユニバーサルロボット [24]) において、母国語の「労働者」を意味する robota(ロボタ)を用いたことが、その始まりと言われている。その後ロボットはイメージが先行し、現代の工学的なイメージではなくて、空想の世界のロボットが進化していった。その意味では鉄腕アトムもその影響を強く受けたのだろうと思われる。SF 作家のアイザック・アシモフがロボット三原則を書いて、ロボットが身近に感じられるようになったと言われている。ロボット三原則とは

第一条 ロボットは人間に危害を加えてはならない。また、その危険を看過することによって、人間に危害を及ぼしてはならない。

第二条 ロボットは人間にあたえられた命令に服従しなければならない。ただし、あたえられた命令が、第一条に反する場合は、この限りでない。

第三条 ロボットは、前掲第一条および第二条に反するおそれのないかぎり、自己をまもらなければならない。

こうした話は、技術とは直接関係はないものの、やはり興味を持って見られるのも事実である。そして、人の形をしたロボットは、そのルーツはやはりこうした文学作品にあるのではないかと考えられる。書籍だけでなく、漫画や映画という形で、ロボットのイメージは世界の人の間で広がっていった。

日本には、江戸時代から、からくり人形というものがあった。これが、ロボット同様のイメージのプロトタイプであったといってもよいだろう。1950年代から60年代頃にかけては、ブリキでできた、高さ20－30cmくらいの2足ロボットのおもちゃがたくさん現れた。移動は車輪がついたものか、静歩行の2足歩行である。

近年、非常に高度な機能を持つ人型二足歩行ロボットがいろいろと作られるようになり [25]、ロボット人気の理由が1つそこにあるようにも思われる。たとえば、ホンダのP1, P2, P3, そしてアシモ、科学技術振興機構・北野共生システムプロジェクトのPINO、富士通のHOAP、川田工業のHRP-2、ソニーのQRIO、ZMPのNuvoなどがあり、動歩行ができるものが多い。また、人型であるが、車輪を使って移動するロボットもいろいろとあり、それらは、歩行能力を特徴に持たない代わりに人との対話能力に優れた、三菱重工のwakamaru、PHSを使った遠隔操縦ができるテムザックIV号機などがある。大学での二足歩行ロボットの長い歴史を持つのは早稲田大学のWABOTである。ロボットの開発は一朝一夕にできるものではなく、長い期間の蓄積が必要である。

ヒューマノイドロボットの開発理由は、結局のところ、「人間を知りたい」ということにあるようである。人間の身体を持って初めて人間の知能を知ることができるという立場があって、そのためにロボットを作るということらしい [26]。筆者は、残念ながら経験が不足しており、それについて十分な意見をもたない。しかし、人間を知るためのロボットが人型ロボットであれば、ロボットを人間の生活に役立てるといふ、より現実的で社会のニーズも高いロボットは別の形のものがあってしかるべきであろう。既に述べた、アームロボットはその1つであるが、アームだけでなく、役に立つロボットを積極的に採り上げるべきであろう。

3.5 ペット型ロボット・癒し系ロボット

SONYが1999年から販売していたAIBOは、最初に大ヒットしたペットロボットであり、筆者の研究室にもある(図8)。産総研のアザラシロボット「パロ」は、子供や老人に癒しの効果を多大に与えるロボットとして一躍有名になり、心理的効果、生理的効果、社会的効果により、「世界一の癒しロボット」としてギネス世界記録に認定された。人型のロボットも、ペットや癒し系としての有用性は現在のものでも十分認められるだろう。ただし、価格を考慮しなければの話である。

AIBOにサッカーを行わせる研究は、当学部の中山教授のもとで行われている。

3.6 家事ロボット

真に役に立つロボットはまだ少ない中で、米国 iRobot 社の開発したルンバという掃除ロボットは量販されている。実用的な機能と、無理のない価格設定（数万円から 10 万円以下）が、功を奏したものだと思われる。家の中の防犯監視ロボットは、すでに実用化され、それによる犯罪の検知の成功例も報告されている。

3.7 パワードスーツ

1959 年に米国で刊行されたロバート・A・ハインラインの SF 小説「宇宙の戦士」でイメージが提案されたもので⁷、筑波大学の山海教授による人間が着用する衣服型の装置（ロボットスーツと呼ばれている）で有名になった。人間の行う動作を増幅して行うことができることで、通常、人間ができないような力仕事をサポートというもので、人間があたかもロボットになったような形になる。このカテゴリに入る装置は軍用および福祉用でいくつか考えられている。人間が、自分の力が増したような感覚で使えるものなので、将来性は大きいと考えている。

3.8 学習機能をもった e-Learning システム

学習者の理解度をニューラルネットワークで判断しながら、適切な教材を提示していくという e-Learning システムが、中山教授らのグループで進められている。これは、「知能をもったコンピュータ」という意味でも、マシンインテリジェンスコースの重要なテーマの 1 つである。

一方、近年、e-Learning における課題提示、解答、採点などを総合的に行える教育管理システムとして、オープンソースの moodle (<http://moodle.com/>) が広く使われるようになってきている。筆者は、それと類似した発想ではあるが、本学の教育において採点作業や集計作業などが容易になるよ



図 8: SONY の AIBO

⁷<http://homepage3.nifty.com/tompei/WorldRobots1.htm>

うなレポートシステムを、安達氏と共同で作成し、プログラミング実習や、オペレーションズリサーチなどの科目で利用している。このシステム自体に学習機能はないが、得られる成績データに対して、自己組織化マップ等を適用して学生の分類の教師なし学習を試してみたいと思っている。

3.9 バーチャルリアリティとオーグメンテッドリアリティ

バーチャルリアリティは、マシンインテリジェンスコースのみの応用分野ではないかもしれないが、大いに関係はある。すなわち、あたかも別世界にいるかのような画像を見せるヘッドマウンティッドディスプレイ (HMD) などの装置と、自分の動作をコンピュータに伝える、データグローブ、加速度センサー、触覚・力覚センサーなどの入力装置を備え、通常体験できないような世界に入り込んで、あたかもその中を動いているような感覚を得るものである。様々な訓練のためのリアルな環境の提供や、言葉で教えるのが困難な概念やイメージを、自分で操作できるイメージ空間で伝える教育において今後活発な利用が期待されている。

オーグメンテッドリアリティは、拡張現実感とも言われ、Real と Imaginary の世界をスーパーインポーズすることができる技術である。たとえば、博物館で展示物を見ていたら、その説明を HMD の中で見せるなどの技術をいう。必要な装置は、画像入力装置 (カメラ) と、HMD のような、ディスプレイの向こうに現実のものが透けて見えるものがあればよい。あるいは、工夫すれば、HMD を使わなくても実現する方法はあると思われる。

3.10 画像監視システムやバイオメトリクス

監視カメラは、映像をそのまま保存する機能にとどまるものが大部分であるが、人物を認識し、その結果に基づいて入退室を管理したり、サービスを行ったりするということは今後十分可能なものになっていくだろう。監視画像の認識は、監視社会を招くということで、プライバシーの面から十分な議論が必要な問題であり、今後どのように社会に認知されていくのかは不透明であるが、特定の目的において画像認識が必要な場面が増えていくことは間違いないものと思われる。

本学部では、渡邊教授が画像認識とその応用の分野で中心的に活動を行っている。また、筆者は、移動ロボットにおける情景中の物体認識などの画像認識、および、バイオメトリクスにおいて、タブレットによるオンライン署名認識などの研究を続けている [27]。

4 コースの特徴

前章では、当学部の今後の展開に関係のありそうな分野の解説を行った。本章では、教育カリキュラムの具体的な科目構成、他のコースとの関係などを見ていくことにする。

4.1 科目構成

知能情報学部では、卒業要件の1つとして、いずれかのコースに指定されている「コース特有の科目」12科目24単位のうちから12単位以上を取得することという条件がある。この科目名を見ることで、学生がコースの特徴を知ることが重要である。

まずは、表2に、マシンインテリジェンスコースの特有科目の名称と配当年次を示す。

表2: マシンインテリジェンスコース特有の科目

科目名称	配当時期	科目名称	配当時期
応用システム解析	2前	知能化技術	3前
最適化I	2後	最適化II	3前
センサー工学	2後	知能情報処理	3後
プロジェクト演習	2後	自然言語処理	3後
ロボティクス	3前	画像工学	3後
パターン認識	3前	データマイニング	3後

(配当年次は固定である。前後期については、一応決まっているものを示しているが、変わる可能性はある。)

マシンインテリジェンスコースを履修したい学生は、本コースの科目をなるべくたくさん履修することが望ましいと考えている。2章、3章で述べてきた、マシンインテリジェンスコースの基盤となる多くの科目がカリキュラムの中に準備されている。

ゼミへの備えについては、3年次前期に実施される、知能情報学実験及び演習で、興味のあるものを希望することで、教員ごとの具体的な研究内容のイメージが持てるであろう。そして、3年次後期から4年次にかけて、卒業研究で、いよいよマシンインテリジェンスの具体的な研究をすることができる。さらに、大学院に進学して、より深く、研究活動を進めることが可能である。

4.2 他のコースとの関係

Webコミュニケーションコースの活動で優れたマンマシンインターフェイスが提供されれば、ここにマシンインテリジェンスを実現すれば、コンピュータを使ったシステムが、より使いやすく、高度な処理ができるものになるだろうと考えられる。また、通信システムを使ってロボットを動かすネットワークロボットの概念は今後のロボットでは必須であり、ロボットが常に外界とつながり、地球規模の情報を、移動ロボットに搭載する(正確に言うと、リアルタイムで取得)させることができる。また、携帯するのに便利なコンピュータを端末として、ありとあらゆるところで知的なマシンを実現することができる。マシンインテリジェンスは、並列処理による高速演算も必要としており、Webコミュニケーションコースとの連携が模索されてよい分野であろう。

バーチャルリアリティとオーグメンテッドリアリティは、マシンインテリジェンスとの境界に属する技術として位置づけられる。ヒューマンインテリジェンスコースでは、MRIや脳波計などを用い

て、人間の身体の信号を使った脳の機能の解明を行っているので、そこで得られる知見をマシンインテリジェンスコースの人工ニューラルネットの設計に活かすこともできるかもしれない。

マシンインテリジェンスとしては、生の信号から、有用な情報を抽出したり、識別したりするという、処理内容の部分で貢献することが研究の成功につながるのではないかと考えられる。また、本学部の3コースは、教員をコースに分けるのではなく、内容でコースに貢献する形をとっているのので、コースにこだわらずに新しい研究に着手できるのではないと思われる。

4.3 産学協同など

ロボットに関しては、企業でも（というか、企業の方が）活発に研究開発を行っている。そういう中で、大学のもつ研究の目的は、企業とどのように異なるのであろうか。あるいは同じで良いのであろうか。

大学は、一般的に、生産設備や治具、詳細設計を行う技術やシステムをあまり持っていない。そういう場で、何かを試作するということが容易なことではないが、生産現場を持つ企業においては、これらの設備や技術はごくありふれたものであるため、協力により、新展開ができよう。また、製品化するようなものであるのかないのかわからない研究も大学では可能であり、そうした「遊び」は大学の方が可能かもしれない。

大学では、行っていることの周辺分野の研究等も行っていることが多いことから、技術の一般化や類似している別の対象における応用等が可能であるし、そのような視点が大学人に期待されていると感じる。また、さまざまな分野の専門家との交流があるため、情報センターとしての役割もある。数学を用いてのモデル作成や細部の検討、全く違う視点から同じものを眺めてみるというようなことも、大学の得意とすることであり、企業のほうも、そうした面で大学との連携にメリットがあるのではないだろうか。社会的背景や今後の大学のあり方を考えたとき、マシンインテリジェンスの分野を研究する我々は、社会の様々なところと協同する必要があるだろうし、そうすることで互いに発展することができると思われる。

5 おわりに

甲南大学では、ものづくりという面は、いままであまり強調されてこなかった。しかし、マシンインテリジェンスコースは、ものづくりに大きく関わるコースである。そのような、ものづくりの一環として、2008年春よりKoRo研究会というものを立ち上げた。KoRoとは、Konan Robotの略であり、車輪ロボットの土台の上に作る犬型ロボットを目指しており、毎週1回程度、若い何人かの先生と一緒にアイデアを交換している。KoRoは、キャンパスの中を自分で障害物や目的物を見分けながら移動するロボットで、主な機能としては、視覚障害者のサポートや、道案内、運搬などを想定しているが、私のKoRoでの目標は、周囲環境をしっかりと認識することである。参加している別の先生には別の目的があっても構わない。一つの協同作業の象徴としても、是非ともKoRoを誕生させたいと考えている。

最後になるが、本稿では、紙面の都合や時間の都合などにより、他のメンバーの意見は採り上げることができなかった。マシンインテリジェンスコースに関わる教員の中には、筆者の考えるものとは部分的に異なるイメージや、筆者の思いもよらない新規なアイデアもあるだろう。このように、本稿では、コースに関わるメンバーのもつ潜在的なパワーをもれなく表現することができていないことを、あらかじめお断りしておく。今後、教員間の協力を一層密にして、名実ともにユニークな学部およびコースとして存在感をアピールできるようなものにしていきたいと考えている。

参考文献

- [1] N. Wiener, *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, The M.I.T. Press and John Wiley & Sons, Inc., 1948. (池原, 弥永, 室賀訳, サイバネティクス—動物と機械における制御と通信—, 岩波書店, 1957.)
- [2] 森下巖, サイバネティクス, 森北出版, 1977.
- [3] S. Russell and P. Norvig (古川監訳), エージェントアプローチ 人工知能, 共立出版, 1997.
- [4] 中山弘隆, 谷野哲三, 多目的計画法の理論と応用, 計測自動制御学会, 1994.
- [5] M. Tanaka and T. Tanino, “An Interactive Multi-Criteria Decision Making Method by Using a Genetic Algorithm,” in *Proc. 2nd Int. Conf. on Systems Science and Systems Engineering*, pp. 381-386, 1993.
- [6] M. Tanaka, H. Watanabe, Y. Furukawa and T. Tanino, “GA-Based Decision Support System for Multicriteria Optimization,” in *Proc. IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 2, pp. 1556-1561, 1995.
- [7] Carlos A. C. Coello, Gary B. Lamont, and David A. Van Veldhuizen, *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems*, Second Edition, Springer, 2007.
- [8] 中山弘隆, 多目的最適化と工学設計—しなやかシステム工学アプローチ—, 現代図書, 2007.
- [9] 片山徹, 新版応用カルマンフィルタ, 朝倉書店, 2000.
- [10] S. Thrun, W. Burgard and D. Fox (上田訳), 確率ロボティクス, 朝日コミュニケーションズ, 2007.
- [11] M. ミンスキー, S. パパート (中野, 阪口訳), パーセプトロン, パーソナルメディア, 1993.
- [12] 坂和正敏, 田中雅博, ニューロコンピューティング入門, 森北出版, 1997.
- [13] 田中雅博, “遺伝的アルゴリズム,” *Computer Today*, no. 1997.9, pp. 40-49, サイエンス社, 1997.
- [14] 坂和正敏, 田中雅博, 遺伝的アルゴリズム, 朝倉書店 (ソフトコンピューティングシリーズ1), 1994.

- [15] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, 1975.
- [16] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison Wesley, 1989.
- [17] 田中雅博, 松尾修, 山田真理, “希望を考慮した時間割作成問題における遺伝的アルゴリズムの適用方法,” システム制御情報学会論文誌, vol. 11, no. 5, pp. 233-240, 1998.
- [18] 田中雅博, 山田真理, “希望を考慮した多目的時間割問題の解法,” システム制御情報学会論文誌, vol. 12, no. 2, pp. 90-97, 1999.
- [19] 田中雅博, 森靖之, “グルーピング GA による学会時間割編成法,” システム制御情報学会論文誌, vol. 16, no. 8, pp. 406-414, 2003.
- [20] 田中雅博, “メタヒューリスティック手法による時間割編成の自動化,” システム・制御・情報, vol. 45, no. 12, pp. 725-732, 2001.
- [21] C. M. Bishop, *Pattern Recognition and Machine Learning*, Springer, 2006. 邦訳は, 元田訳, パターン認識と機械学習 上, シュプリンガー・ジャパン, 2007 である. 下巻はまだ発刊されていないようである.
- [22] 岡嶋裕史, 数式を使わないデータマイニング入門・隠れた法則を発見する, 光文社新書, 2006.
- [23] 井上猛雄, キカイはどこまで人の代わりができるか? 職人ロボットから医療ロボットまで人の暮らしを変えたキカイたち, サイエンス・アイ新書, SoftBank Creative, 2007.
- [24] チャベック (千野栄一訳), ロボット (R.U.R.), 岩波文庫, 1989.
- [25] R. マローン, 世界ロボット大図鑑 ROBOT, 新樹社, 2005.
- [26] 瀬名秀明, ロボット 21 世紀, 文春新書, 2001.
- [27] 田中雅博, 石野由美, 嶋田裕功, 井上卓, “動的補正パラメータを用いたオンライン署名認証の前処理法,” システム制御情報学会論文誌, vol. 16, no. 11, pp. 583-590, 2003.