

No.76

March 25, 1998

 *Information*

講 演

1998年11月11日 (火)・東北・北海道地区講演会 (仙台・長陵会館)

講師・演題

山川 烈：「アナログからファジィ・ニューロ・カオスへ」

Park Chul：「独創性向けの工学教育」

社団法人

日本工学アカデミー

THE ENGINEERING ACADEMY OF JAPAN

社団法人 日本工学アカデミー

東北・北海道地区講演会

1997年11月11日 (火)

講師 山川 烈 九州工業大学情報工学部教授
財団法人ファジィシステム研究所理事長
Park Chul 東北大学大学院工学研究科教授
(航空宇宙工学専攻)

司会 (星宮 望 東北大学教授・日本工学アカデミー会員)

定刻でございますので、日本工学アカデミー東北・北海道地区講演会をこれから開催させていただきたいと思っております。私、司会を担当させていただきます東北大学大学院工学研究科の星宮でございます。よろしくお願いいたします。

初めに開会のごあいさつを、日本工学アカデミーの理事で、東北大学総長の阿部博之先生をお願いいたします。

阿部 博之 (東北大学総長・日本工学アカデミー理事)

ただいまご紹介いただきました東北大学の阿部でございます。

理事を仰せつかっているんですが、1年前から理事会もかなり欠席がちで、大変申しわけなく思っております。しかし、この会は工学部長の四ツ柳先生あるいは星宮先生、この方々は会員ですが、会員でない先生方にもいろいろお手伝いをいただいて、きょうは仙台から出ている副会長の西澤潤一先生に加えて、東京から副会長の堀先生もお見えいただいておりますので、これも幹事さんの熱意によるものと思っております。

ちょっと申し上げさせていただきますと、きょうご講演いただく最初の山川先生ですが、情報で著明な方であります。東北大学は5年前に、西澤総長の時代に情報科学研究科という大学院に独立研究科をつくりました。来年の4月から多分、京都大学に同じような独立研究科ができる予定でございますが、非常に数少ない独立研究科として、これから情報科学の分野で頑張っていたいただかなければいけないんですが、学部に関しましては九州工業大学が先鞭をつけられて、設立から情報工学部の充実に大変なご尽力をいただいたその山川先生にきょうはご講演をいただくことになっております。

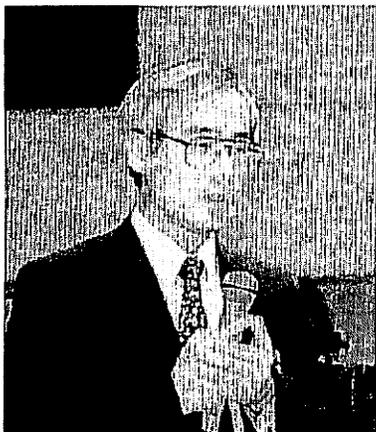
それからもう一つは、チュル・パーク先生ですが、パーク先生はまだお見えになっていらっしゃるかもしれませんが、日本の教育に対して大変強い危機感を持っておられる。私も大変危機感を持って時々しゃべるんですが、私の10倍ぐらい厳しくて、画一的教育に対するご批判をお持ちの方で、きょうご講演いただくことを大変楽しみにしているわけでございます。

いずれにしても大変有意義な会になることを期待いたしまして、簡単でございますが、ごあいさつにかえさせていただきます。どうもありがとうございました。(拍手)

司会

阿部先生ありがとうございました。それでは早速ご講演いただくことにいたします。

アナログからファジィ・ニューロ・カオスへ



山川 烈 (やまかわ たけし)

司 会 初めの演題は「アナログからファジィ・ニューロ・カオスへ」ということで、九州工業大学の情報工学部教授の山川烈先生においでいただいております。

まず山川先生のご紹介をさせていただきたいと思いますが、山川烈先生は1969年3月に九州工業大学電子工学科をご卒業になり、引き続き東北大学大学院工学研究科電子工学専攻、修士課程、博士課程を修了されまして、1974年に工学博士を取られております。引き続き東北大学工学部の助手をされて、そのあと熊本大学工学部助手、助教授をされ、1989年4月に九州工業大学情報工学部の教授になられました。そのあと、1993年4月から今年の3月まで情報工学部長をなさっておられました。

研究分野は、今日お話いただくようなファジィ関係を系統的にやっておられて、日本のパイオニアでございます。1979年ころからたくさんの成果を上げられまして、1983年には世界初のファジィチップを開発されましたし、そのほか次々とファジィやニューロのようなソフトコンピューティングに関する研究を系統的にやられ、世界でリーダーシップをとっておられる先生でございます。例えば1990年にはファジィ・ニューロ・ハードウェアと、それをういた手書き文字認識装置の開発、それから1992年にはカオスチップの開発等々でござ

いますが、これをご紹介していると時間がなくなってしまうので、このぐらいにさせていただきたいと思いますが、特許も国内73件、米国特許が11件等々たくさんお取りでございます。なお、ファジィ学会の理事、ファジィ関係の国際会議の組織委員長もしておられます。それから、西日本文化賞を1988年に受賞しておられまして、その他にも賞を受賞しておられますが、時間の関係で省略させていただきます。なお、現在はファジィシステム研究所の理事長もしておられます。

山川先生、どうぞよろしく願いいたします。山川 皆さん、こんにちは。ただいまご紹介いただきました九州工業大学の山川と申します。今日は日本工学アカデミーの東北・北海道地区の講演会にお招きいただきまして、大変光栄に存じております。この中には私も久しぶりでお会いする方が何人かいらっしゃいまして、大変うれしい気持ちであります。

今日私がお話しさせていただきましますのは、先ほど星宮先生からちょっとご紹介がございましたが、いわゆるソフトコンピューティングと呼ばれている分野の話であります。一応タイトルにあります「アナログからファジィ・ニューロ・カオスへ」という話をさせていただきますが、これはちょうど私がたどってきた道そのままです。

1. プロローグ

コンピューターが頻繁に使われ始めましたころは、厳密な条件のもとで厳密な式を厳密に解いて、時間はかかってもいいから正確な答えを出すという時代がございました。しかし、対象とするシステムが非常に複雑になってまいりますと、そのモデリングも非常に難しくなりますし、また条件が十分に与えられないこともあります。つまり、あることをコントロールしようとする時、そのために必要な情報をセンシングできない場合が出てきます。そのような条件下でも、何とか帳尻の合う答えを出したいという場合があります。例えば自動車の車庫入れをお考えいただきますと、厳密

に壁とか障害物と自動車の間の距離を測らなくても、目算でその距離を見ながらある程度方向の柔軟性を考えながら車庫入れしていく。そこには細かい数値計算とか厳密なモデリングはないわけがあります。こういう問題解決の方法もあるんだということのできたのが、ソフトコンピューティングという計算パラダイムであります。それに比べて、それ以前の厳密な数式を解く方法はハードコンピューティングという言い方をしております。

このソフトコンピューティングというのは、ソフトウエアを使った計算という意味ではなくて、柔軟かい計算という意味であります。今、申し上げたように、条件が不整備な場合、あるいは欠落ある情報のもとで妥当な答えを出すための一つの方法であります。その中にはファジィシステムとか、ニューラルネットワークとか、カオスとかGA（いわゆる遺伝的アルゴリズムで、生物の進化の過程を模擬した最適化の方法）などがありますけれども、こういうものを全部ひっくるめてソフトコンピューティングと言われております。

その“ソフトコンピューティング”という言葉は、ここ数年来使われだした言葉でありますけれども、その前からニューラルネットあるいはカオス、ファジィは単独にはございました。私が研究をやってきた足跡はファジィからスタートして、ニューラルネットワークあるいはカオスという歩みをしてまいりましたので、それをご紹介しながら、これからどういう方向に私あるいは情報工学の先生方が目指しておられるかという話をさせていただこうかと思っております。

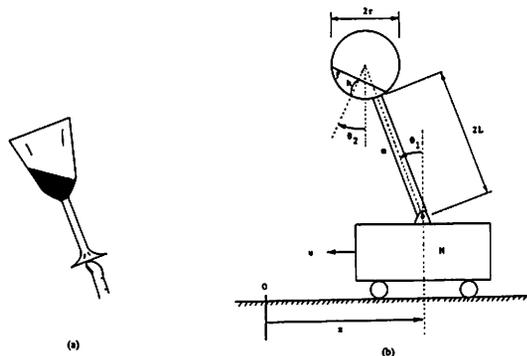
今日は、ここにおもちゃみたいなチップを幾つか持ってきておりますが、これらについて話をさせていただきます。

2. 問題提起

まず最初に、問題提起をしてみたいと思います。図1(a)に示しますようにワイングラスにワインを入れて、これを指の上で立てられますでしょうかという問題です。「棒立て」は皆様小さい頃、よくおやりになったことと思います。制御を専門とされる方はいわゆる倒立振り子という言葉で馴染

みがおありかと思いますが、こういう固いものですと立てるのはそう難しくないんです。これは重心がちゃんと1点に集中しておりますので問題は比較的簡単です。ところがこれが、柔軟かい茎の花や、ゴムのクニャクニャした棒みたいなものや、ステンレスの薄い板みたいなものや、あるいはここで問題としているようなワインを入れたワイングラスでありますと、ポンと突ついて外乱を与えたときにワインが揺れますので、重心が揺れるわけです。そうしますと、非常にコントロールしにくい。これを何とか立ててみようじゃないかという問題提起であります。

この問題を従来のサイエンスで解くときに最初にやることは、図1(b)に示すモデリングです。つまり図1(a)に近似的な物理モデルをつくります。グラスの代りに半径rの球を用い、密度ρの液体を深さhまでその球に閉じ込めて、長さ2L、質量mの棒に取り付ける。これを質量Mの台車にピボットで取り付け、台車が動いて球のバランスをとり、これを立てるといふモデルをつくるわけです。図1(b)は、図1(a)とは似てもにつかないものでありますけれども、一応これを近似的モデルと考えて解かざるを得ないわけです。



$$\begin{aligned}
 B\ddot{x} \cos \theta_2 + B(r+2L)\{(\ddot{\theta}_1 - \ddot{\theta}_2) \cos(\theta_1 - \theta_2) - (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2^2) \sin(\theta_1 - \theta_2)\} = 0 \\
 (C + Lm)\ddot{x} \cos \theta_1 + \left\{ \frac{2}{3}mL^2 - 2C(r+2L) \right\} \ddot{\theta}_1 - Lm + 2C(r+2L)g \sin \theta_1 \\
 - B(r+2L)\{\ddot{\theta}_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) + \dot{\theta}_2^2 \sin(\theta_1 - \theta_2)\} + D\dot{\theta}_1 = 0 \\
 (2A + M + m)\ddot{x} + (C + Lm)(\ddot{\theta}_1 \cos \theta_1 - \dot{\theta}_1^2 \sin \theta_1) - B(\ddot{\theta}_2 \cos \theta_2 - \dot{\theta}_2^2 \sin \theta_2) = u
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{2}\rho\pi(-\frac{1}{3}h^3 + rh^4 - \frac{2}{3}r^2h^2 + r^3h^2) \\
 B &= \frac{1}{2}\rho\pi(\frac{1}{3}h^4 - 2rh^3 + 2r^2h^2) \\
 C &= \frac{1}{2}\rho\pi(rh^2 - \frac{1}{3}h^3)
 \end{aligned}$$

(c)

図1 問題提起。(a)ワインの入ったワイングラスを指先で立てられるか？ (b)「ワイングラス立て」のモデリング。(c)「ワイングラス立て」のダイナミクスを表わす微分方程式。

ところが、相当な数学の力、物理の力がないと、図1(c)のように数式(微分方程式)で力学系を表現することは非常に難しいわけでありませう。これがいわゆるヨーロッパ科学といたしましうか、数理科学の世界であります。

しかし今日は、自然現象を記述するのに数式だけが全てではないということを申し上げたいわけです。言葉を使ってでもそれはできます。ただし、それは言葉の持つ意味をしっかりと理解できていなければなりません。数式でも同じことです。数式の表わす物理的な意味を考えない限りは、いくら数式で表現し、それを展開してもそれは意味の無いことでもあります。ですから、数式や言葉の裏に隠れている意味を取り扱うことが最も大事であると思ひます。今日のお話は数式を一切使わないで、言葉だけで問題解決をしようという試みであります。

化学プラントなどの場合は、その中で起こっている反応が非常に複雑ですので、反応物の量や生成物の量と反応速度との因果関係は、単純な線形の式では表わせません。ですから、コンピューターを使ってコントローラを構成しようとしても、そう簡単ではありません。これは化学プラントに限らず、鉄鋼業の分野などでも同様であります。それは、そのシステムが複雑過ぎて、モデリングができないということの意味をします。しかし、そのプラントの制御に何年も携わっている人間エキスパート(オペレータ)は、長い経験の中から得た知恵(ノウハウ)を持っているわけです。その知恵はどのようにして獲得されるのか、どのようにしてできるのかということをおちよつと考えてみたいと思ひます。

3. 知識の獲得とファジネス

1,000球も10,000球もバッティングの練習をしてノウハウを獲得する場合のことを考えてみましょう。いろいろなバットの振り方を試みて、ちよつと当たったとか、よく飛んだとか、あるいは空振りしたとか、チップになったとか、それこそいろいろなケースが有り得るでしょう。これらの全ての経験を、そのまま頭に中に入れるということは、人間にとってはほとんど不可能であります。

そういう時、どういふことをやるかというとき、「要するにあのときはこうだったんだ」と、要約します。つまり、典型的なケースを見つけて、その周りに類似のものを全部集めてくる。これをグラニューレションと言ひますけれども、そうすることによって覚えなければいけないノウハウの数をぐつと減らすことができるわけです。その代り、それぞれのノウハウの輪郭がぼやけてきます。なぜならば、そのノウハウを輪郭の明確な言葉で表現したとしますと、それは過去に経験した多くの事例の中のどれか一つしか表現できないからあります。一つの典型的な例をコアにして、その周りに99個の類似の例を集め、100例を一まとめにしてあいまいな表現で一つのノウハウを記述するわけです。典型的な例だけではなく、必要に応じて例外的なケースもいくつか記述しておきます。そうやってでき上がったノウハウは、非常に数少ないものとなりますので、これならば記憶容量に限界のある人間の頭脳でも、容易に覚えることができるわけです。そして、そのノウハウは、「IF~THEN~」という形式で記述され、条件と結論の関係を表わします。

この場合に、「~」の部分に「大きい」とか、「小さい」とか、「速い」とか、「明るい」とか、「重い」とか、「危険」とか、「美しい」とか、輪郭のぼやけた、つまりははっきり定義されないような言葉を使って表現したものを「ファジィIF-THENルール」と言ひます。一方、「~」の部分にイエスカノーかではっきり答えられるようなもの、例えば厳密な数値であるとか、あるいは日本人、アメリカ人、男性、女性などを使った場合には、「クリस्पIF-THENルール」と呼ばれます。従来の人工知能では、このクリस्पIF-THENルールを使ひていました。

カリフォルニア大学のバークレー校の教授で、Lotfi A. Zadeh(図2参照)という方がおられまして、この方はもともと制御の専門家で、コンピューターを使ってプラント制御をやろうとなさっていたんです。しかしどうもうまくいかない。先ほどお話ししたように、例えば不均一反応ですと非線形性が強くて、因果関係が単純な式で表わせない。それで、AI的手法(クリस्पIF-THEN



図2 ファジィ理論の提唱者であるカリフォルニア大学バークレー校の Lotfi A. Zadeh 教授

ルール) を使っていたんですが、膨大なデータ量になってしまったのです。そして、うまくいかない。長年の経験を持つ人間エキスパートに制御のノウハウについてインタビューをしてみると、例えば「チェンバーの内圧が高く、温度が上昇中であれば、バルブの開度を大きくして、燃料をドラスチックに減らす」という言い方をします。そこで、Zadeh 教授は、輪郭をぼかしたあいまいな言葉を用いると、複雑なシステムも比較的簡単に効率よく表現できると考えたんです。つまり、先ほどの「知識の獲得」のところでも申しましたが、効率よくノウハウを表現しようとする、どうしても言葉の輪郭をあいまいにせざるを得ないということになります。そして、「内圧が高く、温度が上昇中」とか、「大きく」とかいう言葉をどのようにコンピュータに入力すればよいかが問題となります。

あいまいな言葉をコンピュータに入力するためには、次の2点を考えなければなりません。まず第一に、あいまいな言葉は他の言葉と区別するための機能を持つ必要があります。つまり、記号処理のできる資質が必要です。「大きい」、「小さい」、「中ぐらい」などのお互いに区別するための呼称を「ラベル」と言います。

第二に、あいまいな言葉の持つ物理的な意味を示す何かが必要だということで、メンバーシップ関数というものが Zadeh 教授によって定義されました。これは一種の特性関数であります。

他の言葉と識別するラベルと、物理的意味をあらわすメンバーシップ関数という、この二つの情報を同時に処理するのがファジィ情報処理の特徴であります。ちなみに従来の AI (人工知能) で

は、ラベルだけのいわゆる記号処理が主体であります。

次にメンバーシップ関数についてお話しします。図3 (a) をご覧ください。「煮沸温度」という言葉があります。これは日本語、それも漢字で書いてありますが、これがラベルです。英語のラベルは、Boiling Temperature です。このラベルの持つ物理的な意味をグラフで示してあります。横軸に温度、縦軸に0から1.0までのグレードをあらわす目盛がつけてあります。そして、0をノーに、1.0をイエスにそれぞれ対応させます。これは一種の可能性測度であります。

例えば100°Cという水温はパーフェクトに煮沸温度に属しますから、これは1.0です。一方、40°C以下は、完全に煮沸温度に属さないということで0です。それでは、90°Cとか、95°Cとか、あるいは80°Cというのは、どうでしょうか。例えば化学の教科書に、「煮沸温度で数分間加熱すると、赤褐色の沈澱が生ずる。」という文章(ノウハウ)が

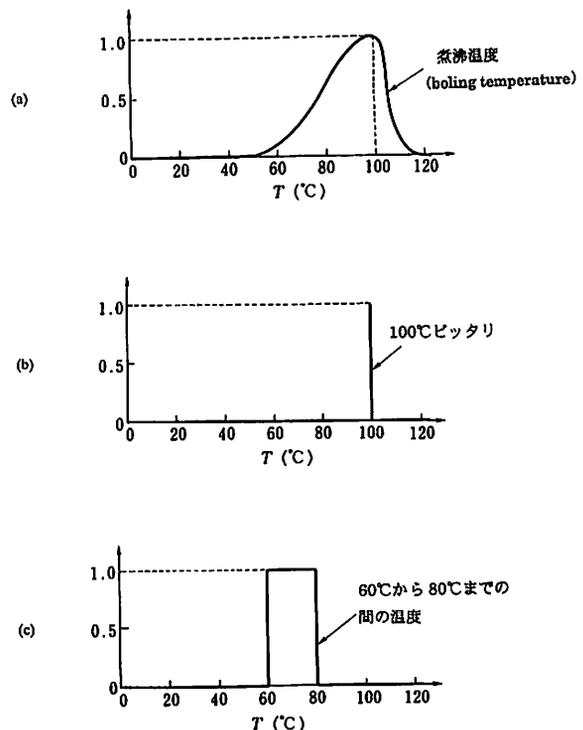


図3 メンバーシップ関数。(a)「煮沸温度 (boiling temperature)」というあいまいな言葉。これはファジィ集合と呼ばれる。(b)「100°Cピッタリ」。これはシングルトン (singleton) と呼ばれる。(c)「60°Cから80°Cまでの間の温度」。これはクリस्प集合と呼ばれる。

あったとします。ここで著者の考えを今一度思い起こしてみます。著者が100°Cだけを示すつもりであったのであれば、「煮沸温度」という言葉を使わずに、ストレートに「100°Cで」と言えば済むことです。しかし著者が煮沸温度とわざわざ言っているのは、100°Cの周りで、ある分布をなした温度全体を言いたかったからなのです。つまり、90°C、95°C、あるいは80°Cでも、幾分この反応が起こるのだということを著者は言いたいのです。たとえば、100°Cでおこる反応が80°Cでは60%ぐらい、90°Cでは90%ぐらい起こると考えるのです。このようにして、すべての温度について0から1.0までのグレードを割り当てるのです。そうすると連続的なグラフが描けます。このグラフの中では、イエスとノーの中間的な値が存在します。これをメンバーシップ関数といいます。数学的にはまさに特性関数でありますけれども、100°Cとか90°Cとか80°Cという物理的数値が、煮沸温度という区分にどれだけ帰属するのかというのをしめすので、メンバーシップ関数という名前がつけられました。

それでは、「100°Cピッタリ」はどのようにとらえるのでしょうか？(図3 (b) 参照) 100°Cという単一のポイントだけが「100°Cピッタリ」という言葉に当てはまります。この値からちょっとでもずれますと、たとえば99.99999°Cというのは「100°Cピッタリ」ではないので、ノーですね。つまり100°Cという唯一の値だけがこれに該当しますので、これをシングルトン (singleton) と言います。

このシングルトンのグレードは1.0でありますけれども、普通のシングルトンのグレードは必ずしも1.0とは限りません。0から1.0までのグレードを持ったシングルトンをたくさん集めると先程のあいまいな言葉「煮沸温度」になります。ですから、あいまいな言葉はシングルトンの集合体であると解釈できますので、ファジィ集合 (厳密にはファジィ部分集合) と呼ばれます。

また一方、区間を言う場合もあります。60°Cから80°Cまでの間というのを表現する場合は、シングルトンのグレードが1.0のものをたくさん集めたものですから、これも集合です。これは輪郭がはっきりしています。イエスからノーヘドラスチック

に変わりますので、これをクリस्प集合と言います (図3 (c) 参照)。

従来のサイエンスはシングルトンかクリस्प集合を扱っていたわけですが、我々はファジィ集合を扱おうということです。

ファジィ集合で物事をあらわしますと、例えば水温について、「低い温度」、「中ぐらいの温度」、「やや高い温度」、「高い温度」、「非常に高い温度」、「高くない温度」というのをメンバーシップ関数であらわしますと図4のようになります。これはどうやって決めるかといいますと、その言葉を使う人がまず最初に定義すればいいわけですので、主観あるいは直観で定義します。直観で定義するなんて、そんないいかげんなことでもいいのかとおっしゃるかもしれませんが、それでいいんです。それでもほとんど妥当な答えが出てきます。

「高くない」というのは、「高い」という言葉の論理補、すなわち反対の言葉ですから、1.0からそのグレードを差し引いてやればいいわけです。

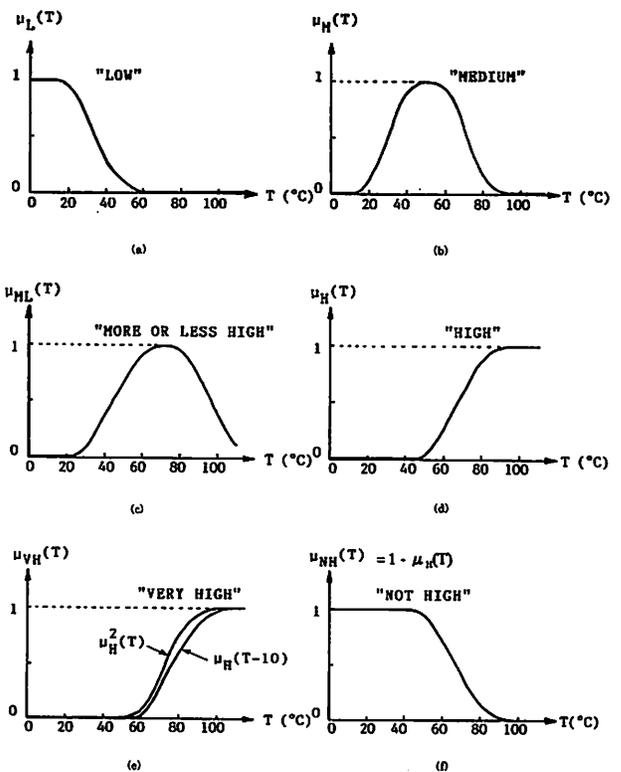


図4 水温に関するファジィ集合。(a)「低い温度」、(b)「中ぐらいの温度」、(c)「やや高い温度」、(d)「高い温度」、(e)「非常に高い温度」、(f)「高くない温度」。

二値論理では、「高くない」は「低い」なんです
が、ファジィ論理では、図4 (a) と (f) から分
かるように、「高くない」は「低い」であるとい
うのは成り立ちません。つまり「高くない」と「低
い」は違うわけです。「高くない」の中には「中
ぐらい」も、「やや低い」も、「低い」も全部含
まれています。ファジィ集合ではこういう細かい
情報の表現ができます。

もちろんこれをソフトとかハードで表現する
ときには、こんな滑らかなカーブでなくても構いま
せん。図5のような折れ線で表現することもでき
ます。角があることがだめだとか、丸いからいい
とか、そういうものではありません。グレードの
0と1.0の間が連続的であることが大事であります。
あるいは滑らかな部分の幅、が問題です。この幅
が広いほどあいまいさが大きいことを表わします。

0から1.0までの真理値を使うのであれば、それ
は確率でいいじゃないかということ、よく私は
今まで聞かされてきました。それは違うんじや
ないかということをお話をさせていただきます。不
明確さには何通りかございますけれども、ここ
で特に強調したいのはランダムネス（確率）とフ
ァジネス（人間の持っている直観的なあいまいさ）
です。この二つの違いを比較してみたいと思
います。

ランダムネスはどういうときに議論されるか
といいますが、例えばサイコロを振る場合を考
えていただきたいと思ます。サイコロを手を持
っている間は、次に3の目が出る確率は幾らか
というの

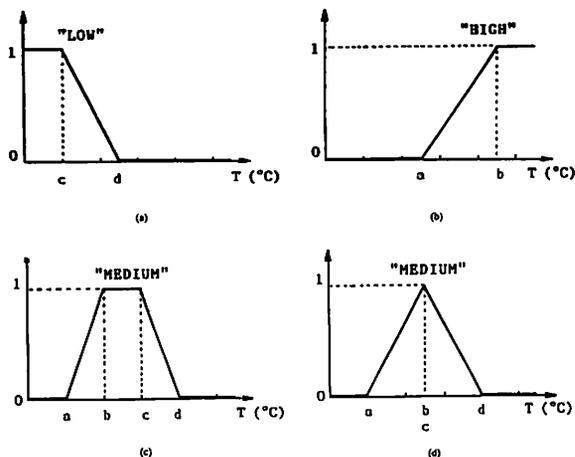


図5 折れ線グラフで表現した水温に関するファジィ集合。

を議論していてもいいわけです。ところが、これ
を一旦投げちゃいますと、5が出たら3ではな
いわけで、3が出たら3です。だから、イエスか、
ノーかが時間がたてばはっきりするわけです。し
たがって、ランダムネスというのは、事の真偽が
必ず時間とともに明らかになります。あるいは2
値の概念に基づく統計的な表現方法でしかあり
ません。

ところが、ファジネスは、人間の直観によるあ
いまいさで、例えば「美しい」とか「危険」、「大
きい」、「スピードが速い」というのは、時間
がたてば明らかになるというものではないわけ
です。この会場にも女性が何人かいらっしゃい
ますが、ある女性をここにお連れして、この方
は美しいですかと問われて、明日になれば美
しいかどうか分かりますというものではないわけ
です。明日になっても、明後日になっても、
やはり主観でしか分からないものであって、
その判断は通常時間とともに変わらないもの
です。こういうものはファジネスと言いま
す。ですから、これは主観によるところが
非常に大きい。

ところが、ランダムネスには客観性があり
ます。したがって、これに関しては試験問題
もつくられるわけです。例えばサイコロを
1,000回ぐらい振りますと、だれがや
ってもそれぞれの目が出る確率というの
は6分の1ずつ並びます。

それから、ランダムネスは確率密度関数
というもので特性づけられますけれども、
その確率密度関数を積分しますと、これは
1.0になります。しかし、先ほど定義し
ましたメンバーシップ関数の場合は、積
分しても1.0にはなりません。たと
えば、「背が高い」というメンバーシ
ップ関数を積分しても1にはならず無
限大になります。このように、数学
的な構造も互いに違うわけです。

我々がエキスパートシステムを構築する
ときに大事なものは、ランダムネスで
なくて、ファジネスだということであ
ります。ですから、確率とファジネス
は違うということをご理解いただきたい
と思ます。

ファジィという呼称はどこから来ている
のかといいますが、ファジィはfuzzy
の日本語読みですけど、そのもとの
名詞はfuzz（桃の表面につ

いている産毛や、ヒヨコの産毛)です。その形容詞が fuzzy で、ふわふわとしたとか、輪郭のぼやけたとか、あいまいなという意味です。日本語読みをする時に「ファジー」とか、「ファジ」とかいろいろな言い方があり、随分混乱を来した時代がありました。新聞、雑誌などでは外来語をカタカナで表現する時のルールがあるとのことで、それによりますと「ファジー」と伸ばすべきだと言うのです。ところが、「ファジー」と伸ばしますと、アクセントが後ろに来まして、どうも外国人には分かりにくいのです。「ファジィ」と書けば、そのまま発音してもアクセントが前に来ますので外国人にも分かりやすいのです。したがって、1年半の議論の末、日本ファジィ学会では「ファジィ」のように「ア」は小さく、「ジー」と延ばさないで、「ィ」と小さく書くように決めました。ですから、もしファジィという言葉が使われるときは、ぜひそういう使い方をさせていただきたいと思っています。

4. ファジィ推論

続きまして「ファジィの推論」についてお話します。これは、あいまいな言葉を使って推理、推論をするというものでありまして、結果としては近似的な答えしか出ませんが、浅い論理で信頼性の高い結論がストレートに出ますので、有用性は高うございます。

図6にそのメカニズムを示します。エアコンをコントロールする場合をちょっと考えていただきたいと思ます。このエアコン自体(図6(a))は非常に原始的なエアコンで、このダイヤルをセットすれば、それに対応した温度のエアが出てくるだけのものであると考えてください。ですから、部屋の温度をセンシングして、自動的にエアの量を変えたり室温を変えらというフィードバックはかかっていないものと考えて下さい。人間が温度計で室温を測り、それに応じてエアコンのダイヤルをセットし、エアコンから吹き出すエアの温度をコントロールしながら室温を一定に保つ。そういう状況を想定してください。室温をT、設定したい温度を T_0 としますと、その差 $T-T_0$ が大きいか小さいかによって、人間はダイヤルの目盛

りを左に回すか、右に回すかを判断します。右に回すと温風が出てくるし、左に回すと冷風が出てきます。それも、大きく回すほど高い(あるいは低い)温度のエアが出てきます。

エアコンのスイッチを入れても部屋の温度はすぐに望みの温度になるとは限りません。例えば寒いときにスイッチを入れた場合の典型的な過渡応答を図6(b)に示してあります。室温は下から上がってきて設定温度を通り越しますが、やがて設定温度に落ち着きます。ここで縦軸は設定温度からのずれをあらわしております。

この図において、まずaの状況を考えてみましょう。部屋の温度そのものは設定温度に非常に近いのですが、時間的な変化が正方向に非常に大きいので、早く冷風を出してやらないと、どんどん温度が上がっていってしまいます。したがって、何回かの経験から次のようなノウハウが生まれるわけです。「もし設定誤差($T-T_0$)がおよそゼロ(ZR:Approximately Zero)で、かつ室温の時間変化($y=d(\Delta T)/dt$)が正の大きな値(PL:Positive Large)であれば、ダイヤルは左へ大きく回せ(NL:Negative Large)。」このような制御ルールを英語で書いたものを図6(c)中のRule1に記してあります。ここで、NMはNegative Medium、NSはNegative Small、ZRはApproximately Zero、PSはPositive Small、PMはPositive Medium、PLはPositive Largeの略称です。

それから、bの状況では、室温が設定値から正方向に大きくずれていて(PL)、そのときの温度変化はあまりない(ZR)わけですから、中ぐらいの冷風(NM)を出せばよいわけですから、ダイヤル目盛りを左にいっぱい回さなくても程々に回しておけばよいということです。この制御ルールは図6(c)中のRule2に対応します。

それから、cの状況では、室温が設定値から正方向に少しだけずれていて(PS)、そのときの温度変化は徐々に減少している(NS)わけですから、何もしないほうがよいわけ(ZR)ですので、エアを止めるか、部屋のエアをただ循環させるだけでよいわけです。したがってダイヤル目盛はおよそゼロにセットします。この制御ルールは図6(c)

に意味処理も同時に行うということを申し上げました。先にお話した制御ルールは全てラベルのみを使って記述しましたので、それらのラベルを全部メンバーシップ関数で置き直してみます。それを、図6 (d) に描いてあります。各メンバーシップ関数はコントローラのデザイナーが、制御対象の複雑さや使用する言葉のラベル数等も勘案して決めます。

メンバーシップ関数で表現された各ルールに部屋の状況に関する事実情報 ($\Delta T = +2.5^\circ\text{C}$, $y = -1^\circ\text{C}/\text{分}$) を照合し、どのルールにどの程度合致するかを求めます。例えば、 $\Delta T = +2.5^\circ\text{C}$ と $y = -1^\circ\text{C}/\text{分}$ が、Rule2の条件部 (前件部ともいいます) の2つのラベル PL と ZR にそれぞれ所属する度合 (適合度) を図から求めてみますと0.1と0.3です。またこのルールの前件部2つの変数は「かつ (and)」で結ばれていますので、この接続詞の解釈として、今得られた2つの適合度のうちの小さい方をもって、事実情報 ($\Delta T = +2.5^\circ\text{C}$, $y = -1^\circ\text{C}/\text{分}$) が前件部に所属する度合とします。つまり、現時点での事実情報は少なくとも0.1だけはRule2の前件部を満たしているということが言えます。したがって、この度合でRule2の結論部 (後件部ともいいます) のメンバーシップ関数を切り落とし、残りを推論結果として採用することになります。こうして得られたメンバーシップ関数が、事実情報とRule2から推論して得られた結果です。

同様に、この事実情報をRule3に照合して推論結果が得られます。それは、Rule3の後件部メンバーシップ関数を0.6で切り落としたような形をしています。

事実情報をRule1の前件部に照合してみますと、 $y = -1^\circ\text{C}/\text{分}$ が前件部の2番目のメンバーシップ関数 PL にまったく適合していませんので、 $\Delta T = +2.5^\circ\text{C}$ の適合度をみるまでもなく、事実情報のRule1の前件部への適合度は0です。したがって、この場合は後件部メンバーシップ関数は一切採用しません。つまり、Rule1からは結論が出てこないのです。

このようにして、全てのルールに対して現時点での事実情報を照合して少しでも前件部との適合度が存在するルールがあれば、それらから得られ

た推論結果を全て統合しなければなりません。各ルールは「また (also)」という接続詞で結合されていますので、各推論結果のメンバーシップ関数を重ね合わせてそのエンベロープ (包絡線) をとることにします。こうやって得られたメンバーシップ関数が最終的な推論結果で、図6 (d) 右下に示してあります。これは、左右非対称で、しかも最大値が1.0ではありません。このようなあいまいな意味合いを持つ自然言語で適切な言葉はなかなか見つかりません。しかし、あえてラベルをはりつけるとすれば、「ほんのちょっと冷やせ」という程度かもしれません。

ただ我々は、ダイヤル目盛を具体的にどこにセットすればよいのかを知りたいのですから、ダイヤル目盛に関する確定的な数値が欲しいのです。そこで、この最終的な推論結果のメンバーシップ関数の重心を求めてみることにします。つまり、重みつき平均をとると、-0.2という値がちゃんと出てまいります。このように、メンバーシップ関数からその重心の位置を求めることを非ファジィ化 (defuzzification、デファジフィケーション) と呼びます。

したがって、部屋の状況が過渡応答 (図6 (b)) のd点 ($\Delta T = +2.5^\circ\text{C}$, $y = -1^\circ\text{C}/\text{分}$) である場合には、ダイヤル目盛りは0からちょっと左のほうに回したところ (-0.2程度のところ) にセットすればよいということが分かります。そうすれば、室温はd点から徐々に下がってきて、やがてc点近くにきます。そうすると、Rule3がフルに採用されて、次の時刻ではダイヤル目盛はおよそゼロの位置にセットせよということになります。このようにして、いくつかの妥当なルールに現在の時点での情報を照合しながら、刻一刻とダイヤル目盛の数値を求めて、そのとおりにセットすれば、室温はやがてちゃんと設定値になります。

ファジィ推論の特徴としては、次のようなことが言えます。

- (1) 数式で表わすのと異なり、非常に複雑な局面、あるいは複雑な因果関係を簡単な I F - THEN ルールで表現できます。
- (2) これらの I F - THEN ルールは互いに独立ですので、因果関係 (入出力関係) を示

す曲面を部分的に変更するのが極めて簡単で、該当するルールの後件部を変更するだけでよいのです。また、局部的に変化の激しい曲面を作ることも容易です。

- (3) IF-THENルールは自然言語で記述されますので、我々人間にとって意味の理解が容易です。
- (4) IF-THENルールに使用される言葉はあいまいで、そのラベルの数も少ないので、知識として表現しやすく、覚えやすく、また常識的なメンバーシップ関数で表現されるので理解しやすいのです。

5. ファジィチップ

先にお話しましたように、ファジィ推論を実行するにはファジィ推論を実行するハードウェアと非ファジィ化を実行するハードウェアが必要です。そこで、私はこれらのハードウェアをアナログ方式でチップ化しました。

電子回路にはアナログとデジタルがあり、アナログには線形アナログと非線形アナログがあります。各々、どのような得失があるかということをごちゃと考えてみます。電力損失の面では、デジタルの方がアナログよりはるかにいいんですけれども、センサとかアクチュエータとの相性はアナログのほうがいいのです。それから、実際に使うときのダイナミックレンジは、デジタルの場合はビット数を増やせば増やすほど大きくなりますけれども、線形アナログというのはせいぜい80 dBぐらいでしょう（これはS/N比と考えていただいて結構です）。ところが、非線形アナログ、例えばファジィの場合は20 dBあれば十分です。この

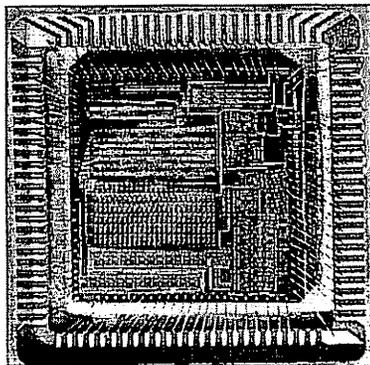


図7 BiCMOS プロセスで作ったルールチップ。

点がすごいところです。リニアリティに関しても然りで、線形アナログの場合は60 dBはないとだめですけれども、ファジィの場合は20 dBで十分であります。ですから同じアナログでも、例えばアナログコンピュータに使っていた線形アナログと、ファジィやニューラルネットを実現するのに必要な非線形アナログとでは、意味が全く違うわけでありまして。私は非線形アナログの方に注目して回路設計をやってきました。

図7は、BiCMOS プロセスで作ったルールチップで、これ1個で1つのファジィ推論を実行します。大きさは8ミリ角で、10年近く前につくったものです。トランジスタが600個、抵抗が800個組み込まれています。前件部変数の数は、ファジィPID制御を念頭に置いていたので、3つで、後件部変数の数は1つです。このチップの中で実現される前件部メンバーシップ関数の形は、図8のように折れ線関数表現です。外部から与えられるアナログ信号もしくはデジタル信号で、ラベルやあいまいさ（メンバーシップ関数の傾き）を変えられるようにしてあります。このチップは、1マイクロ秒以下で一つのファジィ推論を実行します。通常は、複数のルールを用いるので、このチップが並列にルールと同数だけ接続されることとなります。したがって、全ルールの推論時間は、1個の推論時間と同じ1マイクロ秒以下です。

それから、得られた最終的な推論結果から確定値を求めるチップとして、デファジファイアを作りました。推論結果のメンバーシップ関数は図9(a) (次頁) に示すように25本のアナログ信号ラ

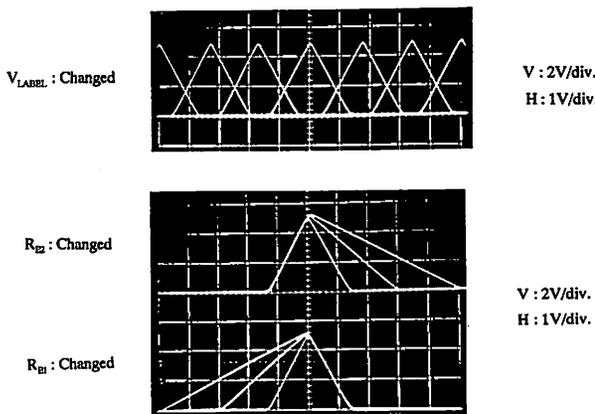


図8 ルールチップの中で採用されている前件部メンバーシップ関数。

インに乗せられた電圧分布として出力されます。その重心を求めるのがデファジファイですから、図9 (b) に示すように、25本の信号ラインの電圧分布を重み加算する回路と、単純加算する回路があって、その割り算を実行する回路があれば、これで重心が求められます。このチップは1988年に作ったものですが、当時は割り算器が簡単にはできませんでしたので、既成の割り算器を使いました。したがって、図10に示すように、数個のオペアンプ、抵抗アレイ、割り算器、コンデンサ等で構成したハイブリッドICとして実現しました。非ファジィ化に要する時間は5マイクロ秒くらいです。当時としては一番速かったんですが、現在はもっと速くなっております。

6. ファジィ制御の実際

ーウィングラスの安定化ー

今お話しました2種類のチップ(ルールチップとデファジファイチップ)を使って、初めに問題提起をしましたウィングラス立てをやってみる

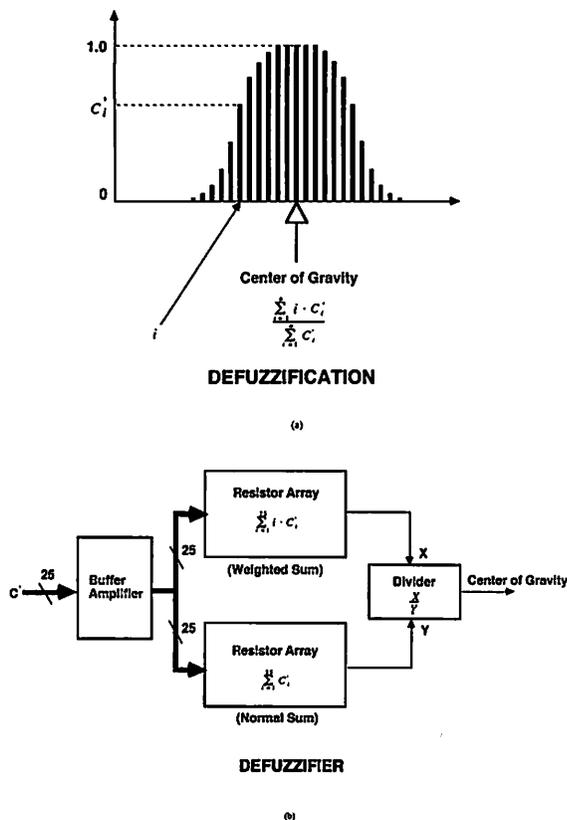


図9 推論結果のメンバーシップ関数。(a)25本のアナログ信号ラインに乗せられた電圧分布。(b)メンバーシップ関数の重心を求めるデファジファイ。

ということにします。そのときに考えなければいけないことは制御戦略であります。制御目標は二つあります。一つ目は、倒れようとするウィングラスを立てるということで、たてる場所は問いません。とにかく、どの場所でもよいから立てるということです。二つ目は、外部から指定した場所(目標地点)にウィングラスを移動するということです。これらの二つの制御目標がありますが、最優先すべきはウィングラスを立てるということであって、それが立ったら目標地点に動かしてほしい。目標地点に移動するのは制御目標ではありますが、これはあくまでも二次的な目標です。このように複数の制御目標があった場合には、時として、それらが互いに相矛盾する制御目標となる場合が生じますが、そのときは優先順位を考慮して最終的な制御出力を作り出さなければなりません。そして、ファジィ制御ではそれができます。たとえば、図11に示しますように、ウィングラスが目標地点の左側にあり、しかも左側へ倒れようとしている場合には、ウィングラスを立てる(姿

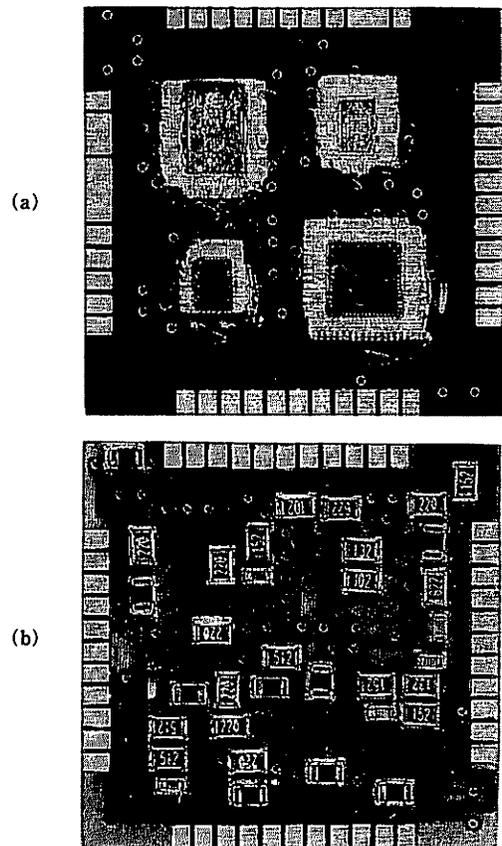


図10 ハイブリッドICとして実現したデファジファイチップ。(a)表面と(b)裏面。

勢を回復する) ためのアクションと、目標地点に移動するためのアクションとは互いに逆ですので、二つの制御目標が矛盾していることとなります。このとき、もし目標地点に台車を引きずり戻そうとすれば、目標位置に移動はできても、結果としてワイングラスは決定的に倒れて破損します。

(もちろん、目標地点の右側で、ワイングラスが左側に倒れようとしている時には、姿勢回復のためのアクションと目標地点への移動のためのアクションは同じですので、問題はありません。) このことはちょうど、体をこわしてでも仕事をやり通す、体をこわすと家庭の中がおかしくなり、やがては家庭の破綻をきたしてしまうことによく似ています。やはり、まず先に体を治して、それから仕事もうまくこなし、その結果家庭も幸せになるというように、優先順位がちゃんとあるわけですから、それを考えるべきなのです。物理的な意味を考えて、頭の中でイメージを描きながら制御戦略を立てるとするのがファジィ制御の大事なところであります。

制御ルールを作ってみましょう。先ほどの例(図11) から得られるルールは、次のようなものです。

ルール1: 「もし、ワイングラスが少し左方向へ倒れようとしていて、かつ、その位置が目標地点からやや左方向であるならば、指(台車)を中程度のスピードで左方向へ動かせ。」です。この状

もし、ワイングラスが 少しく左方向へ 倒れようとしていて、
かつ、その位置が目標位置から やや左方向 であるならば、
指を 中程度のスピードで左方向へ 動かせ。

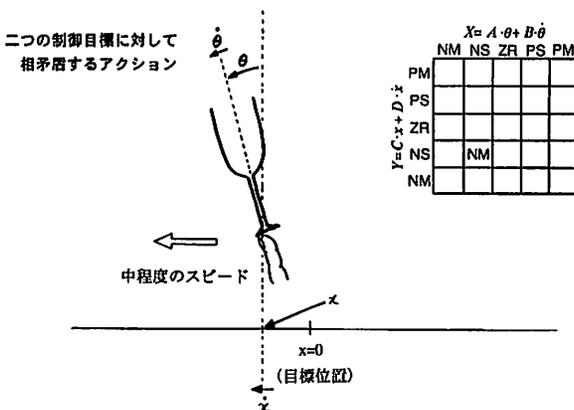


図11 「ワイングラス立て」の制御戦略を求めるための説明図。

況を頭の中でイメージしますと、このルールは極めて自然に思いつくものです。それは、我々がこれまでの長い人生の中でいろんなことを経験してきたことから、容易に常識的に考え出されるルールです。

図11のようなワイングラスの姿勢が、もし目標地点の右側で起こったのであれば、先ほどお話ししましたように二つの制御目標は矛盾しません。この場合、次のようなルールが得られるでしょう。
ルール2: 「もし、ワイングラスが少し左方向へ倒れようとしていて、かつ、その位置が目標地点からやや右方向であるならば、指(台車)をゆっくりと左方向へ動かせ。」

このようにして、あらゆる状況を想定して、それに対するルールを考えていきますと、11個~13個のルールができ上がります。それを表にしたのが図12です。表中の(PL)と(NL)は、大きな外乱が入ったときに有効に制御を実行するのに必要なルールで、通常の場合は不要です。

このようにしてルールを完成させますが、ここで用いたメンバーシップ関数は三角形の相補型をしたものです。

実験用のハードウェアは図13(次頁)に示すようなもので、台車の上に角度センサーが固定されており、その角度センサーの回転軸に台のついた棒がとりつけられ、この台の上にワイングラスが乗せられています。この図では単に球だけを描いてあります。その棒の角度がアナログ的に検出されて、微分回路や係数回路を経て「倒れ具合X」が求められ、コントローラの入力に入ります。他方、台車の位置は、ポテンシオメータによってアナログ電圧として検出され、角度と同様に微

$$X = A \cdot \theta + B \cdot \dot{\theta}$$

	NM	NS	ZR	PS	PM
PM					
PS					
ZR					
NS					
NM					

$$Y = C \cdot x + D \cdot \dot{x}$$

	NM	NS	ZR	PS	PM
PM	NS		PS		(PL)
PS		NS		PM	
ZR	NM		ZR		PM
NS		NM		PS	
NM	(NL)		NS		PS

図12 「ワイングラス立て」の制御戦略をまとめた制御ルールマップ。()内のルールは、大きな外乱が入りそうときに必要なルール。

分回路、係数回路を経て「離れ具合 Y」が求められて、コントローラのもう一つの入力に入ります。コントローラの中には11個のルールに基づくファジィ推論が並列に実行されるように、11個のルールチップと1個のデファジファイアが搭載されており、入力された X と Y に対して、しかるべき台車のスピードをアナログ電圧で即座に出力します。このフィードバックによって、たとえ外乱を与えてもワイングラスは全く倒れず、指定された位置に落ち着こうとします。

それでは、ちょっとビデオを見てみましょう。
(ビデオ)

これは実はもうすでに立っているんです。念のため、コントローラのスイッチを切りますとこのようにパタンと倒れてしまいます。スイッチを入れますと、棒が倒れようとするのを補償するように台車が動きます。

次にこれにワイングラスを乗せます。このように重さが変わっても安定性はあまり変わりません。目標地点の目印としてこの棒を置いておきます。グラスにワインを入れます。そうしますと、ワインがグラスの壁に当たって入りますので、それが外乱となってワイングラスがゆれると、それによってワインもゆれ、重心がずれます。それを補償するようにこの台車が動いています。

これではほんとうに立っているのか、あるいは外乱に対してどれくらい強いのか分かりませんので、少し意地悪をして外乱を与えてみます。外乱としては、場所の外乱とスピードの外乱と、そし

て力あるいは加速度の外乱がありますが、ここでは場所の外乱を与えることにします。つまり、ワイングラスを指で左のほうへずうっと持っていき、ぱっと放してみます。そうすると、このように安定性を保ちながら、だんだん目標地点に近づいていきます。ワインの液面が揺れても、それに合わせて台車が動きます。これで24時間でも何時間でもじいっと立っていますから、見ていると退屈しません。

今度はちょっと変わったことをやります。ワイングラスを取り除いて、代わりにネズミを乗せてみますと、ネズミはあちこち動き回りますから、重心も大きく動きます。それに合わせて台車がちゃんとバランスをとっています。もう皆さんお気づきかもしれませんが、この実験のモデリングができないんです。つまり、この動きを表わす微分方程式が作れないのです。なぜならば、ネズミは生き物で、自分自信の意思であちこち動き回り、その動きに規則性がないので、その行動が定式化できないからです。最初にお見せした図 1 (c) に相当する数式をつくる前段階の物理モデルができないんです。ですから、このワイングラスやネズミの安定化の問題を数理科学で解決しようとする、デッドロックに乗り上げて、全くお手上げ状態になってしまいます。ところが、あいまいな言葉を使ったファジィ IF-THEN ルールに基づくファジィ推論を利用すれば、いとも簡単に解決できました。今お見せしましたデモの間中、全くルールは変更しておりません。つまりそれくらい頑健

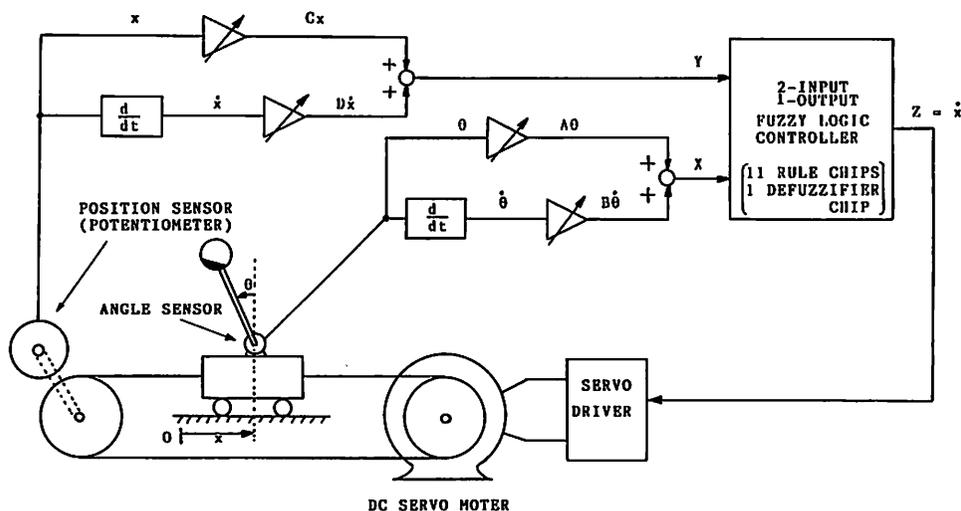


図13 「ワイングラス立て」の実験用ハードウェア。

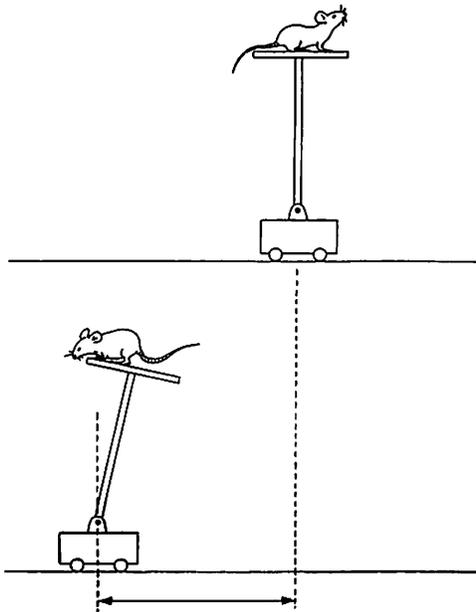


図14 ネズミが動くと、目標地点への設定精度を犠牲にして、姿勢を安定化するという第1目標を達成する。

(ロバスト)であるということがいえるのです。それでも限界はあります。台車を動かすこのバーの長さは今120cmしかありません。またモーターのパワーにも限界があります。そして上にのせるものの重さですね。猫や犬を乗せたりすると、この実験装置では安定化はできません。ネズミやヒヨコぐらいだったら十分この実験装置で安定化できます。

この動きをよく見ていてください。ネズミが動きますと重心の位置が変わります。そこで、棒を斜めにした状態で安定化しようとしていきます(図14参照)。そのために、目標地点への設定精度を犠牲にして、姿勢を保つという第1目標を達成しています。

以上がファジィを使ったお話です。

7. ファジィとニューロサイエンスの融合

ファジィとニューラルネットとの違いについてお話します。ニューラルネットは解剖学的知見に基づいて作られた数学モデルです。ニューロンと呼ばれる神経細胞があって、その数理モデルを作り、それらを組み合わせてネットワークを構成します。ニューロンそのものの機能は単純で、ゲートアレイのように、同様のものをたくさん用意しておけばよいのでハードウェアを設計する立場と

しては大変楽です。このネットワークの働きは各ニューロンの閾値やニューロン間の結合係数など、分布するパラメータの値によって特定されます。これらのパラメータの決定は解析的に行われるものではなく、そのネットワークが満たすべき入力と出力との関係をたくさん与え、全ての入出力関係について最も誤差が小さくなるように、学習というプロセスによって全ての閾値と結合係数を決定します。したがって場合によっては、与えられた入出力関係とニューラルネットワークの入出力関係の間の誤差が小さくならない場合があります。これをローカルミニマムと言います。また、たとえローカルミニマムを回避できたとしても学習が終了するまで時間が非常に長いという欠点があります。さらに、入出力関係が与えられた時に、ニューロンの数をいくらにしたらよいかも分かりません。試行錯誤で何度もやりなおして、一番よい結果を採用するといった感じです。このように設計性のないのが、ニューラルネットワークの唯一の大きな欠点です。1880年初頭から続いたニューラルネットワークの新時代も、振り返って見ると研究に携わった人口が多い割には、実用された例がすくないのはこの乏しい設計性のためだと思えます。

一方、ファジィ理論というのは、人間が頭の中で何を考えているかという思考過程を数学的にモデルリングしたものであって、その機能を特定するものはファジィIF-THENルールとそこに使用されているメンバーシップ関数です。これらは、一応デザイナーが設計できるものです。すなわちプリプログラマブルであるということです。ですから、応用システムが作りやすいという特徴があります。

ニューラルネットワークは設計性に乏しいけれども、システムの構造とその要素自体は非常に汎用性を持っています。ファジィは汎用性はありませんが、設計性がよいという特長を持ちます。そこで、ニューラルネットワークの汎用性とファジィの設計性をうまく融合させられないかと考えたわけです。

図15(a)(次頁)は通常ニューロンのモデルです。各入力信号に重みをかけたものを加算し、

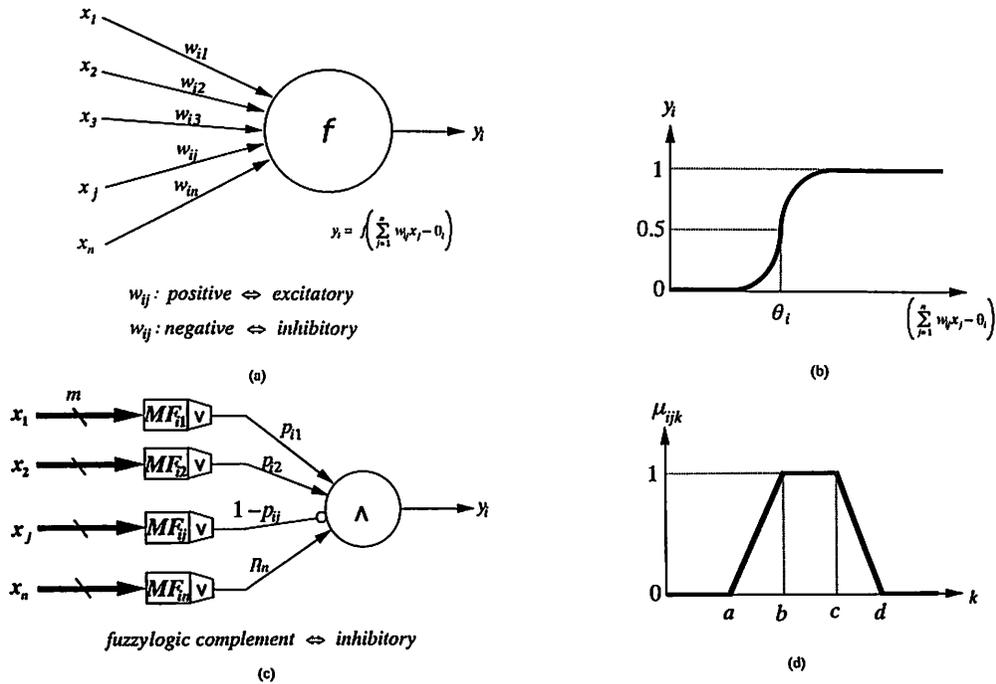


図15 ニューラルネットワークの汎用性とファジィの設計性をうまく融合して得られたファジィニューロン。(a)通常のニューロンのモデルと、(b)シグモイド関数。(c)新しいニューロンモデルであるファジィニューロン。(d)ファジィニューロンのシナプスを特性づけるメンバーシップ関数。

それが閾値より高いか低いかによって出力として1もしくは0に近い値を出します。各ニューロンの非線形性は図15 (b)のように単純なシグモイド関数であらわしたのですが、重み係数そのものは入力信号の大きさに依存しません。いわゆる、線形シナプスであります。また、この重み係数が正か負かによって興奮性あるいは抑制性のシナプス結合を表現しています。

一方、これからお話しするニューロンモデルは、図15 (c)に示すように、各入力信号がベクトルであり、これと同じ次元のベクトルで表現されたメンバーシップ関数との内積を取ったものをシナプス入力とすること、興奮性および抑制性の結合をそれぞれファジィ論理積 (MIN) およびファジィ論理補 (NOT) で表現する点が特長です。いわゆる、非線形シナプスニューロンモデルに属します。ここでいう内積は、通常の内積と異なり、代数積和ではなくファジィ論理積和 (MIN-MAX 合成演算) を意味します。したがって各シナプスは、入力されたベクトルと、予めメンバーシップ関数の形で与えられたあいまいな情報との類似性をスカラー量として求める機能を持っています。このニューロンモデルを用いると、二つのパターン (たとえば、予め与えられたあいまいな辞書パターン

とバリエーションの多い手書き文字パターン) が互いにどの程度似ているかを容易に求めることができます。

例えば「3」という文字を認識する場合についてお話しします。図16に示すように、字を書くフレーム内に交叉検出ライン (cross-detecting line) を設定し、その上に境界のあいまいな通過域 (crossing region) と禁止域 (forbidden region) を設定します。それらの領域はメンバーシップ関数で特定されます。そのフレーム内に「3」という字を書いたときに、「3」が交叉検出ラインと交わる点が存在します。手書きのラインが明確であれ

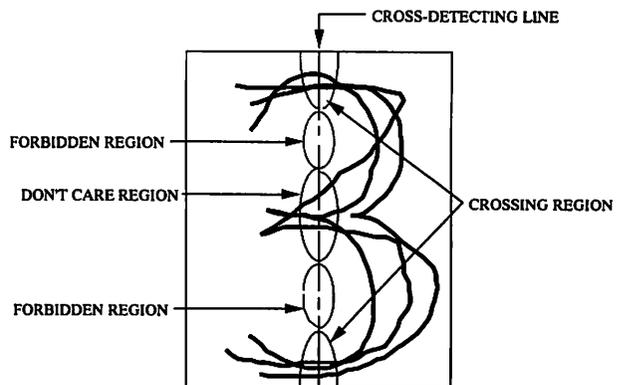


図16 手書き文字「3」を認識するためにフレーム内に設定された交叉検出ラインと、それに設定された通過域と禁止域。

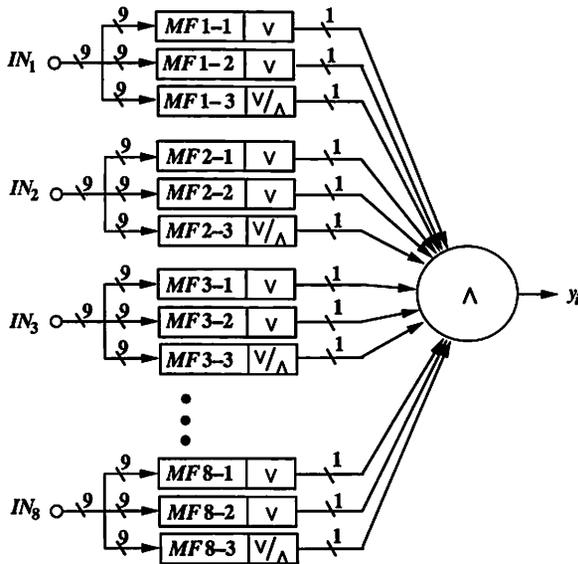


図17 試作したファジニューロン・チップのアーキテクチャー。

ば交叉検出ライン上の交叉箇所はクリスプ集合となり、入力ベクトルは0もしくは1.0のみからなるバイナリのベクトルとなりますが、グレイレベルの手書き文字の場合は0から1.0までのグレードからなるベクトルとなります。各通過域のメンバーシップ関数が、各興奮性シナプスとして埋め込まれます。また、絶対に通ってはいけない禁止域を特定するメンバーシップ関数が、抑制性シナプスのメンバーシップ関数として埋め込まれます。図16に示すように、手書き文字「3」が交叉検出ラインと3ヵ所で交叉していますが、これらの点が通過域を満たす割合は1.0に近い値となります。一方、禁止域は全く通っていませんので、メンバーシップ値は0となりますが、禁止域シナプスの出力は論理補をとって 1.0となります。したがって、図16に示された1本の交叉検出ラインから得られる「この手書き文字は「3」に似ているという割合」は、1.0に非常に近い値となります。このようにして、フレーム内に縦横あわせて7~10本の交叉検出ラインを設定し、しかるべき通過域と禁止域のメンバーシップ関数を設定します。それぞれの交叉検出ラインに関する「3」との類似性の最も小さな値が、総合的に判断した「3」との類似性になります。したがって、図15(c)のファジニューロンの出力は、辞書文字の特徴と手書き文字の特徴を比較して得た類似性を示すこととなります。このように、1個のニューロンで、1個の

手書き文字認識を実行します。

図17に、試作したファジニューロン・チップのアーキテクチャーを示します。各シナプスは9エレメント（それぞれの信号ラインはアナログ量運びますので9ビットとはいわず、9エレメントといいます）からなり、交叉検出ラインに配置された9個のセンサから送られてきた信号を受けます。この試作ファジニューロン・チップは8本の交叉検出ラインまで対応できますが、もっと複雑なパターンを認識するためにより多くの交叉検出ラインを必要とする場合には、このファジニューロン・チップを並列に複数個使用することによって対応できます。

細かいことは省略しますが、このファジニューロン・チップは2層アルミ配線の2ミクロンBiCMOSプロセスで試作しました。チップの規模で言いますと、CMOSトランジスタが17,000個、バイポーラトランジスタが700個、それから抵抗は全体で大体11,000KΩです。チップサイズは7.5mm角で、100ピンのパッケージに入れてあります。

このファジニューロン・チップを使って、図18に示しますような手書き文字認識装置を作りました。「0」から「9」までの数字を認識できるシステムです。「2」、「3」、「5」、「6」、「7」および「9」については、バリエーションを考えて、それぞれ2種類ずつファジニューロン（辞書に相当）を用意してあります。「4」については、多くのバリエーションに対応するために、字を分解し、各部位ごとの類似性を求め、それらのMAX（ORに相当）とMIN（ANDに相当）をとること

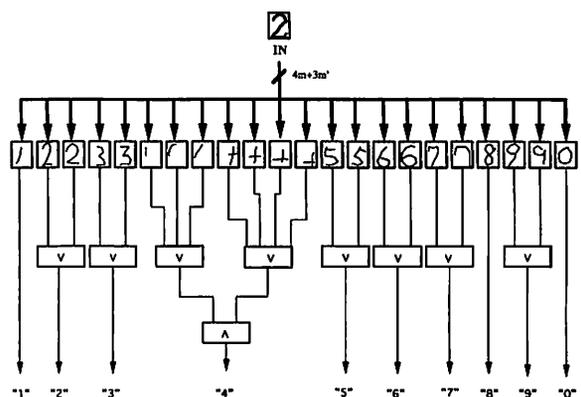


図18 手書き文字認識装置の構成。

Correct	Mistaken for ()
1111111	7 ^(a) 1 ^(b) 1 ^(c)
2222222	2 ^(a)
3333333	3 ^(a)
4444444	9 ^(a)
5555555	5 ^(a) 5 ^(a)
6666666	6 ^(a) 6 ^(a) 0 ^(a)
7777777	7 ^(a) 7 ^(a)
8888	8 ^(a)
999999	9 ^(a) 9 ^(a)
0000	0 ^(a) 0 ^(a)

図19 手書き文字認識結果。

により、最終的な類似性をとるようにしてあります。つまり、7個のファジィニューロンで「4」を認識します。

このようにして、22個のファジィニューロン・チップを使って、「0」から「9」までの文字を認識するようなシステムができました。

実際に文字を認識させてみますと、図19のような認識結果が得られました。表の左側は正解の認識結果で、右側は括弧内の文字と誤って認識した結果です。ここではわずか22個のファジィニューロンチップしか使用しておりませんが、もっと数を増やすことで認識精度を上げることができます。

普通のニューラルネットは、学習というプロセスでのみシステムが構築され、あらかじめそれを設計することはできませんが、ファジィニューロンは、目的に応じて設計できるという特長を持っています。それから1個のニューロンモデルで1個のパターン認識ができるということです。また、



図20 文字の重複。これらの文字を分離するのは、容易ではない。

これをチップ化したところ、1 μ秒以下でパターン認識ができました。このチップの応用としては、手書き文字認識装置のほか、X線画像の認識、特殊な波形の認識に使えます。

8. 重複パターンを分離できるカオスネットワーク

ちょっと話は変わりますが、図20のように、いくつかの文字の重なったものを見せられると、我々人間は「A」、「B」、「C」が重なっていると理解し、即座にこれらを分離できますが、これをニューラルネットなどを使って分離しようとすると非常に難しいです。これをなんとか工学的手法で分離できないかと考えました。カオスを利用することでそれが可能になりました。

虫の行動をよく観察しますと、非常に考えさせられるところがあります。例えばミノムシの成虫（ミノガ）です。雄は羽化して飛んでいきますけれども、雌は羽が生えないで、ずうっと一生ミノムシのままで終わってしまいます。子孫を残すためには、雄が木の枝に下がっている雌を探して交尾しなければなりません。そういうときに何を頼りに雄が飛んでくるかといいますと、雌が大気中に放出するいわゆるフェロモンという臭いの一種です。これを雄は触角のところで分子単位でキャッチし、濃度の変化を感じながら風下から風上に向かって飛んできて、雌を探し当てて交尾します。このような虫や小動物の持っている超能力にも似た機能を見ますと、これまでのコンピュータをどれだけ高性能にしても追い付かない何かを感じます。感度が高いだけではなく、選択性もきわめて優れています。ミノガには脳なんかは無く、あるのはただ神経節と呼ばれる非常に小規模な神経の集合体だけです。その中でどうしてこういう情報

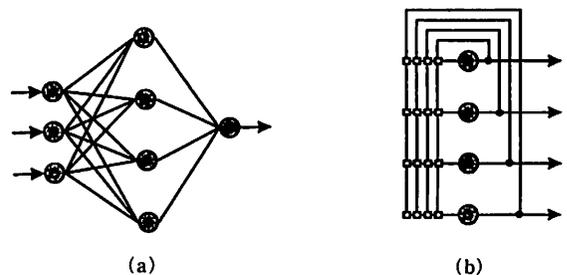


図21 (a)多層フィードフォワードネットワーク (b)相互結合型ネットワーク。

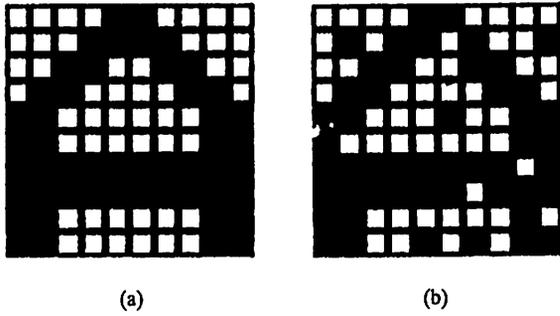


図22 (a)100画素で表現した「A」と、(b)崩れた「A」。

処理ができるかということ、多層のニューラルネットワークで情報処理を行う代わりに、神経同士にフィードバックをかけて、情報をその中でぐるぐる回しながら、ダイナミックな情報処理を実行しているんじゃないかということが推定されるわけです。

図21に (a) 多層のフィードフォワードネットワークおよび (b) 相互結合型ネットワークが示してあります。多層ネットワークでは入力を与えるとそれに対応して即座に出力が現われ、ダイナミックな挙動は発生しません。例えば図22 (a) のパターンを見てください。このパターンは $10 \times 10 = 100$ 個の画素からなるパターンですので、100ビットもしくは100エレメントのベクトルとみなせます。このベクトルを図21 (a) の多層ニューラルネットワークに入力し、「A」というラベルのついているニューロンの出力だけが1になって、それ以外のニューロンの出力はゼロになるように、繰り返し繰り返し、ニューロン間の重み係数や各ニューロンの閾値を定めてやります。つまり「学習」をします。その後、図22 (b) のような崩れた文字を入力しますと、「A」というラベルの付いたニューロンだけが1に近い値を出力し、他のニューロンはこれよりもずっと小さな値を出力します。したがって、入力された文字は「A」だということがわかるわけです。一方、図21 (b) の相互結合型のネットワークでは、例えばAからZまでの26文字に対応するネットワークの重み係数を指定した後、図22 (b) のような雑音を含んだパターンを、先程と同じように100エレメントのベクトルとして相互結合型ネットワークに与えてやりますと、やがてそのパターンに最も近い図22 (a) のようなきれいなパターンが現われます。入力パターン提示後ある時間が経つと、ある特定のパターンに収束

しますので、この挙動は、動的挙動ではなく静的な挙動と考えられます。そこで、このネットワークで何とか動的挙動を引き起こし、例えば重なった「A」、「B」、「C」の3文字を時間的に分離することができないかと考えたわけです。

もっと詳しく説明します。図21 (b) をより詳しく描いたものが図23 (a) (次頁) です。各ユニットは遅延要素Dと非線形要素gと重み係数 w_{ij} と加算要素を持ち、相互にフィードバックがかかっています。1時刻前のすべてのXの値にそれぞれ重み係数を掛けて加算されたものが内部値uと呼ばれるもので、これに非線形写像を施すと現時刻の出力Xが得られます。

各重み係数は次式のヘブ則というものに従って求められます。

$$w_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^M s_m^{(i)} \cdot s_m^{(j)}$$

ここで、 $sm^{(i)}$ 、 $sm^{(j)}$ は、それぞれm番目のパターンのi番目の画素とj番目の画素であり、Nはユニットの数であります。つまり、これらの重み係数は、記憶するパターンによってあらかじめ定められます。例えば、もし $10 \times 10 = 100$ 個の画素からなるフレームに、「A」、「B」、「C」、「D」、・・・、「Z」26文字をネットワークに書き込もうとすれば、Nは画素数ですから100、Mは書き込むパターン数ですから26で、一つのユニットjから他のユニットiへの結合の重み係数 w_{ij} がこれで求められます。

非線形関数として図23 (b) のようなシグモイド関数を採用し、欠陥のあるパターン（雑音の含まれたパターン）を入力してみます。そうすると、信号はこのネットワークをぐるぐると何回か回って、あらかじめ定められていた重み係数に対応するいくつかのパターンの中で最も類似したパターンだけが出力に現われます。これを、入力パターンに似た何個かのパターンを交互に読み出せるようにしたいということです。

そのためには、図23 (b) のシグモイド関数を同図 (c) に示すような非線形関数に置き換えます。そうしますと、あらかじめ重み係数の形で書き込んでおいたいろんなパターンを、かなり不規則で

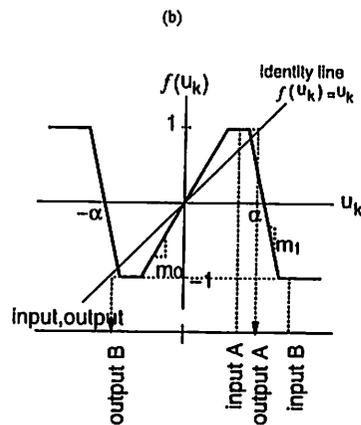
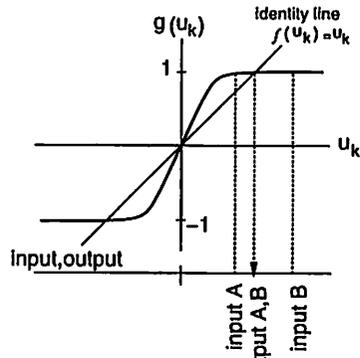
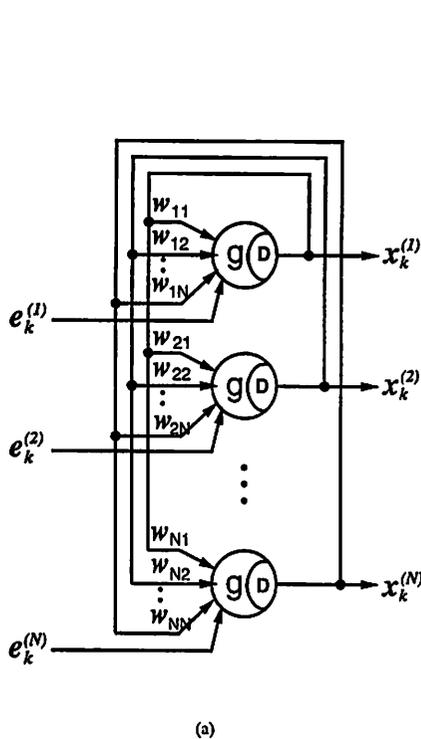


図23 (a)相互結合型ネットワーク。(b)シグモイド関数。(c)飽和逆N型関数。

はありますけれども、読み出してくれます。シミュレーションによってこういうことがわかったわけです。ですから、このような実験を行うために非線形関数を自由に換えられるようなカオスチップをつくりました。

そのカオスチップは、非線形遅延回路と線形遅延回路と加算器からなります。非線形遅延回路は、一番単純なN型の非線形関数を実行するためにオペアンプと抵抗とダイオードを使った回路を基本とし、それに遅延回路を付加してあります。アナログとは言ってもスイッチング回路で動く離散的なアナログ回路ですので、クロック発生回路も入れておきました。4ミリ角ぐらいのチップをセミカスタムICとして設計し、28ピンのDIPタイプのパッケージに入れました。このカオスチップ1個だけを使ってカオスを発生させますと、図24のように、時間軸上で離散的なアナログレベルのカオスが発生させることができます。

このカオスチップを使って、図25のような5×

5 = 25個のカオスユニットからなるネットワークを構成します。左側の5×5個のスイッチ(画素)アレイは文字パターン入力用で、右側の5×5個の画素からなるディスプレイは結果表示用です。画素1個に対応して1個のカオスチップを使用しておりますので、25個のカオスチップを使用しています。このほか、抵抗25×25個の抵抗からなる抵抗アレイを用意して各ユニット間をつなぎます。「A」を崩したようなパターンを左側のスイッチ

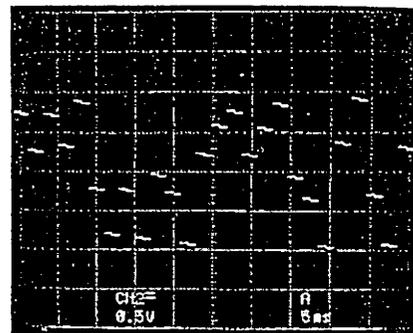


図24 カオスチップ1個を使って発生させた離散的アナログのカオス信号。

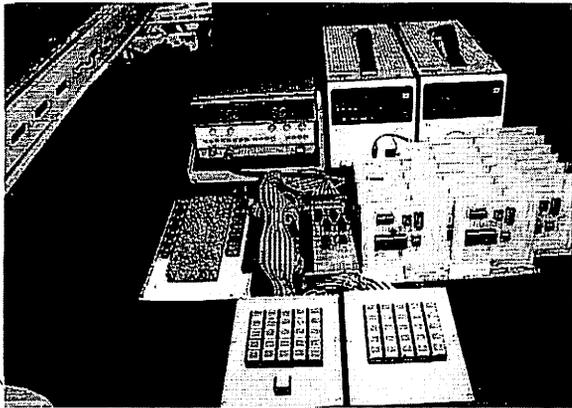
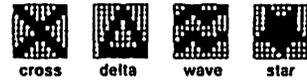


図25 5×5=25個の caosユニットからなる caosネットワーク連想メモリ。

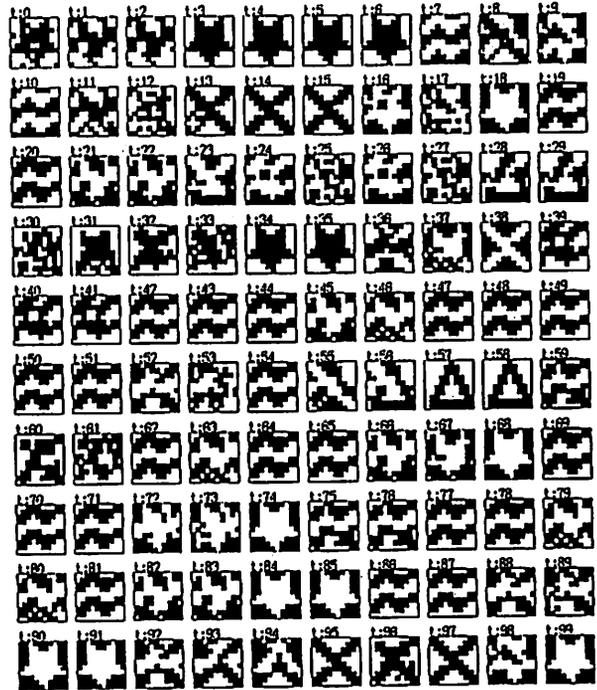
アレイから入れてやりますと、しばらくして歪や雑音のない「A」が右側のディスプレイに出てきます。また「A」と「B」を重ねたような文字パターンを入れてやりますと、右のディスプレイには「A」が出てきたかと思うとしばらく崩れていて、今度は「B」が出てきて、再びこれも崩れて、今度はまた「A」が出てきて、というようにぐるぐるいろんなパターンが読み出せるようになりました。それを caos 遍歴と言います。

図26は10×10=100個の画素からなるパターンの例を示したものです。(a)に示しますような「クロス」と「デルタ」と「ウェーブ」と「スター」、この4パターンを重み係数の形で書き込んでおきます。そして同図(b)の一番左上のようなパターンを入力してやると最初「スター」が出てきて、次に「ウェーブ」の白と黒の反転した裏パターンが出てきます。しばらくするとクロスが出てきます。しばらくするとまた「スター」が出てきて、「クロス」の裏パターンが出てきて、再び「ウェーブ」が出てきてというように、ちょうど走馬灯のように人間が記憶を思い起こすのと似た形で記憶されたパターンが読み出されます。このような記憶・検索のメカニズムがつかれるようになったわけです。

今研究しておりますことは、入力したパターンに最も近いものだけを残して、あとは全部つぶしてしまうようなメカニズムを考えています。そうすると、四つのパターンを書き込んでいても、そのうちの二つのパターンが重なった、例えば「クロス」と「デルタ」が重なったようなパターンを



(a)



(b)

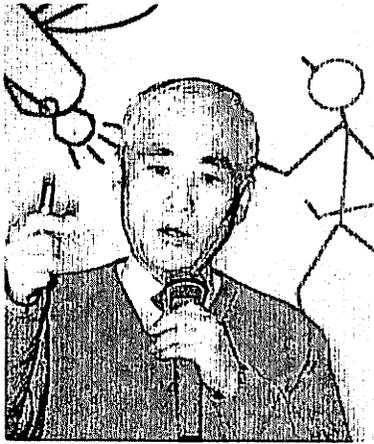
図26 10×10=100個の画素からなるパターン。(a) caosネットワークに書き込まれた「クロス」「デルタ」「ウェーブ」「スター」の4つのパターン。(b) caos遍歴によってネットワークが、読み出したパターンの時系列。時刻は、左上から右上へ、さらに一段下がって、左から右へと移動する。

入れますと、「クロス」と「デルタ」だけが交互に読み出されてくるようになります。シミュレーションでは、それができることが分かりました。ですから、caosネットワークを使うことによって、パターンの分離が実現できるということがわかってきたわけであります。

以上、私がやってきましたことをベースに、ファジィ、ニューロ、caosのお話をさせていただきました。ちょっと散漫な話になってしまいましたので、お聞きづらかったかと思いますが、いろいろとご批判を願えればと思います。どうもありがとうございました。(拍手)

司会 ありがとうございます。時間も制限されておりますので、引き続きまして第2演題のほうに移らせていただきます。ご質問等は、あとでまとめてお願いしたいと思います。

独創性向けの工学教育



Park Chul (パーク チュル)

中 橋（東北大学教授） 航空宇宙工学専攻の中橋と申します。

それでは、パーク先生のご講演に先立ちまして、先生のご略歴などを紹介させていただきます。

パーク先生は、ソウル国立大学におきまして航空工学の学士及び修士の学位をおさめられたあと、ロンドン大学（インペリアルカレッジ）の大学院に進まれまして、博士課程を昭和39年に修了されております。そのあと、すぐに米国に渡られまして、以来、米国航空宇宙局、我々は通称NASAと呼んでおりますけれども、NASAのエイムス研究所におきまして人工衛星の地球再突入、あるいは惑星探査に関連した極超音速飛行、いわゆる音速の10倍、20倍のスピードでの飛行における広範囲な問題につきまして、理論と実験の両面からの研究を進めてこられました。そして、平成7年1月から東北大学の教授として来ていただいております。研究の活動はますますご活発でして、来年1月にネバダで米国航空宇宙学会の会議がありますが、そこにもパーク先生の研究室から10名ほどの学生を率いて、大挙して参加されると聞いております。パーク先生がアメリカから日本に移られましたことを極超音速流研究に関して、その中心がアメリカから日本に移ったと言ったアメリカ人もいたわけですが、最近のパーク先生のますますのご活躍を聞いて、私自身も非常に驚い

ている次第でございます。

当然のことながら数多くの賞を受賞されております。特に1994年に極超音速流の学問分野への顕著な貢献ということで、米国の航空宇宙学会からタームフィジックスアワードという非常に名誉ある賞を受賞されております。

さて、きょうはパーク先生に「独創性向けの工学教育」という題目でお話いただくわけですが、パーク先生は3人の娘さんをお持ちです。お2人はカリフォルニア大学パークレー校、それからお1人はハーバード大学を出られたと伺っております。そういうことで、きょうはご自身のアメリカでの子育ての経験、それから日本にいられてからのこちらでのご経験をあわせて、アメリカと日本の教育制度の比較に関してのようなことをお伺いできると聞いております。それでは、よろしくお願いたします。

パーク ありがとうございます。

私の肩書といいますと、一番大切なのが子供を3人そこで育てたということですがけれども、実は一つ抜けたのは、私の家内は子供を育ててサノゼステートという大学に入って、そこを卒業して、今、会計士になっています。その大学は二流ですが、一流大学と二流大学は私も直接知っているということです。

まず、私がなぜこんなことに関して考え始めたかということ、いつも教授会で独創性のことを話しますね。そして、独創教育をやれというので、実は創造工学というのをつくったんです。そこで私は模型飛行機をさせたらいかかと思って、それを始めたところ、工学部の機械系の5科の半分の学生が私が始めた模型飛行機をやったんです。普通の模型飛行機じゃなくて、ロケットプレーンと申しまして、材料を与えて、ロケットエンジンを与えて、「おまえ、つくれ」と言うんですけども、実は大変難しいので、独創力がとても必要です。

それをやってみて二つ感じたことがあります。まず、学生はとっても熱意があるんです。それで、

1組当たり三、四回だと思ったら、平均12回飛びました。1人1人が飛行機を四つ作りました。そこがまず感銘が深かった。ところが、この学生たちはほんとうに飛行機をやりたいと思ったんだけれども、小、中、高校でやったことがないんです。アメリカでは、航空科に入るなら既に模型飛行機はたくさんやっているんです。そんな学生たちが来るんです。実は英国などでは大学に入るときに、航空工学の試験にパスして入るんです。私はそんな点をちょっと思ったことがあって、こんなことを考え始めました。

〈独創性向けの工学教育〉

それでは、本論に入りまして、独創性向けの工学教育ということをおお体このような順序で話しましょうと。それで、今アメリカでどうやっているか。小、中、高校教育での独創性教育、大学での独創教育、卒業がどうなるか、社会問題はようになって、日本はどうするかという、そのような順序で申します。

〈独創性の必要性〉

独創性の必要性というのは言うまでもないのですが、ただレビューしてみると、今のインダストリアルソサエティからテクノロジカルソサエティに変わっていくと。テクノロジカルソサエティは独創性に依存する。今のアメリカの新しい製品などを見ますと、すべてが独創性によるものだということがつくづく感じられます。ところが、インダストリアルソサエティはアジアの国々が既に工

業国家として、日本に今かわっていくんです。そのように見えます。ですから、このままでいくと日本の立場が難しくなる。最近のアメリカの活動は独創性が発展力になっています。それから、最近の日本の生産組織は非効率ですが、その改善がまた遅いんです。これは日本の特殊な問題でしょう。アジアのほかの国よりもこれが一番遅いかもしれないと私は思っています。そんな意味で問題がある。

〈日本人の一般的独創性の欠乏は本当か〉

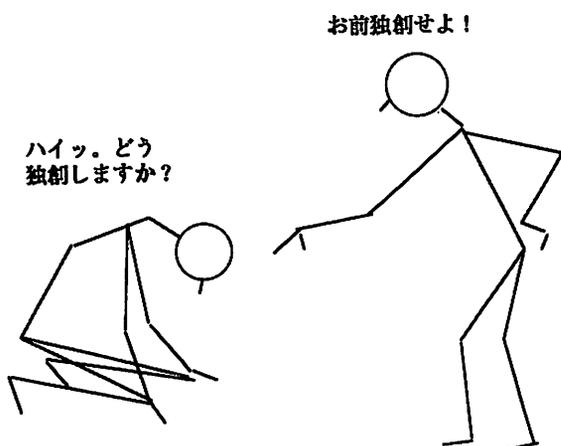
では、ほんとうに日本人に独創性が欠乏しているか。西澤先生はいつもそうじゃないとおっしゃいます。統計的に言いますと、独創的3次産業、アメリカが近ごろ発展したのは3次産業です。サービスでした。それは独創性によるものです。大きな会社でやるんじゃないで、1人1人の個人の独創でやるのですから、3次産業の開発が実は遅い。でも、ないのではなく、日本でもたくさんあります。

それからもう一つは、欧米で日本人の学生とか学者がどう振る舞っているかを見ると、そんなによくはないんです。いわゆる最優秀の学生などがアメリカで大失敗している例があるんです。そのかわり優秀と思われなかった学生がアメリカで成功している。それはなぜかという、日本のやり方が違うんでしょうね。ただし、顕著な例外はあります。西澤先生がいつもおっしゃっているように、いろんな独創的な歴史がありますし、私が3年教えた経験から、私は信じます。あるんですよ。持っていますよ。それから、頑張りますし、優秀です。何が抜けているかという、指導が足りないと思います。学生は優秀だという評判はあるようですが、成績が優秀ではないんです。大学の成績というのとはほんとうの優秀さというのは一致してないというんです。だから、問題があるんです。

〈なぜ独創性が足りない？〉

では、なぜ独創性が足りないか。独創というのは、自由な人間が、自由意思で、自由な行動をとった結果です。だれかがさせたものじゃない。この自由な人間というのは教えることはできないんです。これはワーグナーのオペラからのクォーターションですが、全能の神様が自分でつくった

職場での独創性強調



世界がゆがんでいるんです。不完全なのでそれをぶち壊して、新しい世界をつくるためには独創的、自由な人間が必要です。ところが、いくら神様がつくろうとしても独創的人間はつくれないんです。そのことを自分の娘であるワルキューレに説明している話です。これは自由な人間は自分自身を独創しなければならぬからだと言っているんです。神様はもちろん東北大学の教授よりもっと偉いでしょう。その偉い神様もつくれない独創的人間を我々がつくるとするのは不可能です。だから、我々の仕事というのは、西澤先生の言葉をかりますと、我々のDNAが持っている独創性を発達させる。それを使って発達させるしかないです。それができているかということ、そうじゃないんです。幼いときから服従を要求されている。私がいつも日本というときは、私の故国の韓国もみんな入れての話です。同じですから。抑え、服従を要求されている。それで、道徳的教育内容で、日本は今、優秀な子供たちを別にして教えてはいるが、その内容が違うのではない、同じことをただ別のクラスに言っているだけで、結局、平等的教育内容です。それから、もちろん詰込式教育法です。また、試験が個人の特性を認めない。すぐれた子がいても、その子が特に点数がよくなるようにつくないんです。それから、雇用主が従業員の独創性などを認めないというのは東洋の一般的な問題でしょう。

〈米国のやり方-1 スプートニック事件〉

今からアメリカの話します。アメリカも1957年以前は日本の現在と同じだった。というのは、そのときまではジョン・デューイの教育論というのがありました。それは平等教育の理念です。それはなぜかということ、1930年代のアメリカの貧困、不正、不平等からだったのが、民主主義が実は行われなかった。そこから民主社会を築くための教育論というのは、社会のために教えるべきだと言っているんです。どうするかということ、そこで優秀な学生が出ますと困るんです。だから、みんな勉強がよくなったら一番できない、例えばこの子は頭はいいけれども、バスケットができないとか、フットボールができないというときはわざとそれをさせるんです。そして、「おまえ、フットボー

ルやれ」と言うんです。そして、彼のエネルギーを全部抜いてしまうのが学校の任務だったんです。それが最もあらわれたのに、ロバート・ハッチンソンのフィフティ・グレート・ブックスというのがあります。彼はこの理論の最高の学者でありまして、では大学は何かというと、これを習うんだと。そして、自分で50の本を選んだんです。そして、その中にはホーマーの本もありますし、カントもありますし、種の起源もありますし、アダム・スミスもある。自然科学、心理学、そんなものが全部ある。それを習えば大学を卒業したと言って、その人は30代でシカゴ大学の総長になりましたが、それでほんとうにやりました。私はアメリカへ行ったときに子供にまずその本を買いました。実は全然台なしですけど。

50年代まではアメリカの科学技術は欧州に確かに劣っていました。ところが、57年にソ連でスプートニク人工衛星が発射されています。それで大きなショックを受け、いろんな議論になって、そのときアメリカの教育制度の再検討が始まりました。なぜ私はこんなことを知っているかということ、7歳になった子供を学校に連れていったら校長先生に説教されました。「あなたたちはジョン・デューイとロバート・ハッチンソンで育ったでしょう。今は違いますよ」と言われたんです。

〈米国のやり方-2 4組編成〉

そのときに教育心理学者が、同じ年でも8年の精神年齢の差があるということ言っていました。というのは、例えば中学校3年生でも、進んだ子は高校3年生と一緒にやってもいい、または小学校6年生ぐらいにしかならない子もいるということです。それを認めてそれに別々の教育をするべきだということで、それを4組編成に徹底してしました。アメリカの幼稚園に行きますと、部屋の中に色がはってあるんです。緑、黄色、赤とかはあって、あなたはここの組ですよと言っています。もし日本人がアメリカに行ったら、遊んでいるのかなと思うでしょうが、そうじゃないんです。これはA、B、C、Dです。そして、成績を見て6カ月ごとに全部変えるんです。それで、徹底的にこのようなシステムをやっています。

次には、個人の特技を発達させるというんです。

いくらでも発達させると。それから、試験制度が発達した。これは州によって違いますけれども、田舎を除いた大きな州は大体同じです。小学校3年生から全科目に対して一斉考査をしています。そして、個人の結果はどうなっているかということ、おまえは何年生の何%に当たると書いてあるんです。小学校6年生に、おまえは中学校2年生の真ん中辺にあるとか、そんな点数が書いてあります。さらに、学校の平均値を全部新聞に出しています。

おもしろいことに、この試験はどこから来たかということ、試験をつくる研究所がたくさんあります。それは私立、公立全部あるんですけれども、そこで専門につくっていて、彼らの試験は大変いいです。違う問題ですけども、同じ人が何回受けても点数は同じです。今度は違う会社がつくったという問題があるんです。これを受けても全部同じです。もちろん点数のやり方は違う。ここは100点満点、ここは1,000点満点になっていますけれども、これは換算すれば全部わかります。どっちでも通用するんです。それで、この試験結果によって入ってしまう。ですから、徹底的な選抜、偏差値的な教育制度になってしまった。

〈米国のやり方-3 その実際〉

では、実際どうなっているかということ、小学校3年生からこのプロジェクト式をやっています。3年生になると、まず宿題としてレポートを書けというんです。最後のレポートは何かということ、アラスカのイヌイト族の教育制度のいいところは何か、悪いところは何かを調べる、これが小学校3年生のレポートです。その子を連れていくと小学校用のインデックスがちゃんとあります。今はもちろんコンピューターでやるんですが、このときはただ本でした。本で調べて、そこでここにあると。彼らにフィットした記事を見るんです。そして、それをコピーして書いて、それでイントロダクション、本論、写真などと書いて、最後に結論としてリファレンスと書いています。今度は学校に行き、それをオーラルプレゼンテーションするんです。それをさせています。それから、個人の成績はクラスに行くと、名前と自分の成績が張り出してあって、知らされているんです。でも、中央政府はこれに関係なくて、州政府でやっ

ています。とてもこれはすごい。

ところがこうなりますとどうなるかということ、いい学校と悪い学校というのがわかってくるんです。すると、いい学校はものすごくよくなるんです。それで、その学区の家の値段が高くなります。値段が高くなるから、それを払う親たちが、熱意のある人だけが来る。そうすると、もっとよくなるんです。ぐんぐんよくなってしまふ。いい学区と悪い学区の家の値段の差ですが、5倍あります。というのは、それほどアメリカの親たちは教育にお金を使っているんです。それは塾に通わせるぐらいのお金じゃないんです。

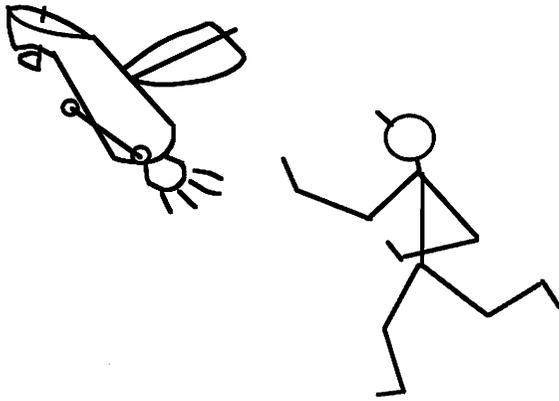
特殊学校というのは、大きな都市では公立学校が20校ぐらいありますと、そのうちの一つを選んで特殊学校とします。ここは成績のいい子だけが入るということにしています。とっても差があるんです。ものすごいです。そのまたトップ1%は証書が出てくるんです。おまえはこの学校に行っても特殊教育を要求する権利があるという手紙をもらいます。さらに、0.5%には学校に出てこなくてもいいという証書が出てきます。

〈米国の英才教育〉

これは学校でなくて、学校のほかに特殊教育機関がありまして、私は有名なシリコンバレーに住んでいましたから、そこにはライシウムという組織がありました。私の娘がトップ0.5%というその証書をもらってきました。それで行ってみましたら、そこは表は何もないけれども、いろんな人の家とか教会などに行き、教わるんです。そこでは親たちが全部教えるか、または事務をするんです。それで私が行ったときに、私に何か教えることができますかと聞くから、科目を見せてくださいと言ったら、航空力学があるんです。これはできますと言ったら私は名前を書いた。それで、私は呼ばれますかと言ったら、「いやあ」と言いました。なぜかと言ったら、私の前の20人ほどが航空力学を教えますというので名前がちゃんと書いてあります。そこに海洋学もある、天文学もある、心理学もある。そんなものを全部中学校でやっているんです。

私の子供はサラトガ高校というところに入った。この学校を見ますと、この平均点数が98.5。だ

中等教育での独創性奨励



から、新聞に出る平均値が98.5です。カーブをかいて98.5%に合うというんです。それでもカリフォルニアでは10位ぐらいでしかない。一番いい学校ではなかったわけです。だから、一番いいというのはこれよりもっといいんでしょう。

ところが、そこで4組にしますとどんどん進んで、高校卒業の1、2年前に既に教科は全部終わってしまうんです。どうするかというと、いろんなチョイスがあります。一つは、大学の科目を勉強することができる。すると、大学から教授が来ます。その学生の60%が大学1年生の勉強をしていました。40%が2年生の勉強をしていました。私の娘たちが卒業するときの数学を見たら常微分方程式、微分幾何、線形代数、ベクトル、複素数、偏微分方程式、境界値問題、固有値問題までやっています。この子がハーバード大学に行ったら、そこで入学した後に試験を受けるんです。いわゆるプレースメントテストといって、何年生かということを決めるんです。そのときに自然科学系の3年生だと言われました。

そこでおもしろいのは、この学校には教育や科学のオリンピックのメダルがざあっとあるんです。あそこの高等学校の生徒達は、オリンピックのメダルの数で競争しているんです。なぜかというと、オリンピックメダルもまた高校の点数に入るんです。

それで、最終の1年、2年は暇だから、そのときには国立研究所とか、ヒューレットパカードなどのいい会社に行って研究するんです。そんなことも全部可能になっています。

〈米国の英才教育の実例〉

私自身もそんな学生を引き受けました。数回やったんです。75年のときのダイオードレーザーというのは液体ヘリウムを使いまして、とっても難しかったんですが、そのうちの1人にこれをさせたんです。この子はUCバークレーに入って2年半で卒業して、MITに入ったときにそこで特許を2つ取って、今は大学の教授になっていますが、相当の特許とか何かをやっています。

もう1人は光吸収特性を。だから、これは分光ですよ。だけど、その分光のすぐ前にまず物質をつくらなくてはならない。それも独創です。吸収特性をやって、その結果を科学競争会に出しました。そして、カリフォルニアで1等を取りましたけれども、全国では20等しかならなかった。ちなみにその表彰で、1等から10等は普通ただ1つの学校が取ります。それはニューヨーク市にあるスティーブンス・ハイスクールというところです。そのうちの半分が東洋人です。こんな話があるんですが、カリフォルニアで一番いいという学校は幾つかありますが、そのうち1人は10等ぐらいに入っているんです。

例のライシウムで私の同僚の一人が教えたとき、レーザーホログラフィーを入れたばかりのときですが、それを中学生にやらせていました。私の同僚が高校生に天文学を教えました。高校生が天文台をつくりました。というのは、建物も建て、自分で旋盤を回してつくりました。それから望遠鏡をつくったんです。というのは、ガラスを旋盤で回して切って、磨いて、こんな大きなのをつくって、ちゃんとベイエリアの山の中に置いています。それはベニンシュラ・アストロミカル・ソサエティの財産になっています。彼はカルテックの天文学科に入りました。カルテックの天文学科には入るとき、既に全部星に関して知っているんです。あそこの教科では天文学は教えないんです。天文学科には天文学を教える必要はないんです。何を教えるかという計測学、星をはかるにはどんな計器が必要か、その設計とか、または物理などを教えるんです。私の娘の同級生が中学校のときソフトウエアをつくってお金を大変もうけまして、16歳のときに自分でもうけたお金でフェラーリを買っ

たんです。そのほかにも例がありますけれども、とにかくそれぐらい。

ほんとうにこのようなことが起こっているんです。このようなことが1957年に起こり始めて、この教育を受けた人は今50歳になっているんです。だから、今、効果が出ています。

〈米国の大学選抜〉

大学の選抜で、高校の何年生でも大学に入れます。飛び級とは言わないです。ただ、自然に入ります。それからアプティチュードテスト、アチーブメントテストは大切です。これは1,600点満点で、一流高の生徒は大体1,200点あたりです。ところが、年5回あるんですが、何回受けてもいいんですが、点数は全然上がらない。初め2回ぐらいはちょっと上がりますが、その後上がらない。3度目から下ります。というのは、あまりなれてくるとアドレナリンが出ないんです。だから、落ちてしまう。それで、講習会があります。全部念のためにとっているんですけれども、いくらとってもしょうがないんです。

それから、大切なのは、アチーブメントテストは範囲が広くて、大学の科目が全部入っているんです。相当広範囲にしているんです。だから、そのうちすぐれた子は、科目一つだけでぐんと点数を取るようになっていきます。

最後に一番大切なのはこれです。個人特技点数というのがあります。個人特技点数は最高250点ぐらいあり得ますが、私の子供たちは大体200点を取っていました。大学に差はありますが、この点数をここに足すんです。そうしますと、最大100点の差しかないのにここで個人の点数が200点を足しますから、決定的です。一流大学に入った子は全部これで入っているんです。だから、個人特技点数は何かという、これこそがほんとうにアメリカの秘密、いわゆるシークレット・ウェポンはここです。

〈高校卒業時の個人特技点数〉

これはこうなんです。すべての科目には競争会があります。まず、校内でする、その次は市内で、そしてずんずん上がってきて、最後には全国でやります。出場したときに出場したという証書をもたらうんです。そこへ点数がついているんです。勝

つとまた勝ったという証書をもたらう。そこへまた点数がついている。この点数の数え方は学校によって違うんですが、これは外国人はよく知らないでしょう。これを一番よく知っているのは高校のカウンセラーです。ちゃんと知っている。あの大学ではこれを何点と数える、あの大学は何点と数えるというのを全部知っています。彼に聞かないとわからない。文部省の役人が行ってもわからない。

それから、社会団体に参加しているんです。いろんな団体があります。アメリカには犯罪とか環境、政治の団体があるんです。ここに入ってお手伝いしながらきっちり。それもまた点数が上がる。なぜかという、これは若者に政治とか経済、社会、犯罪を教える機会ですから、これは大切だと思っているんです。だから、そういうふうな点数がついているんです。

このようなものは全部、学校の科目です。それを選択科目としているんです。午前は読み書きをするんですが、午後はこれをしているんです。そして、先生にちゃんと与えられているんです。

また、競争会などをする団体があるんです。そうした団体は全部だれがやっているかという、親たちがボランティアでしているんです。日本の親たちは神社に行って神様に祈りますけれども、アメリカでは車を回しながらああやって行くんです。そればかりじゃない。アメリカの学校は、クラス一つ一つに親が2人いつもついていて、それは順番で回ってきます。だから、それをしますと、1人の親が1週に1回ぐらい学校に行かなければならない。それを全部あわせると親が大変です。だから、このような競争する団体は政府が認可して、これを厳重に監視しています。だから、アメリカの政府は直接大学にこうせいとか、そんなことは言わないが、実は最も肝心なところをコントロールしているんです。アメリカの政府は力が強いんです、その意味では。ここでは、我々みたいに国から給料をもらう人たちには威張り散らすけれども、ほんとうに肝心なところは政府の力が入ってない。

〈個人特技点数稼ぐための努力〉

ですから個人、特に点数を稼ぐための努力というのが、まずあるんですよ。それで、念のため

に2つぐらい入っているんです。そうしますと、夜遅くまでするんですよ。学校からはまあ、4時に帰ってくるでしょう。普通、バスがないと親が行って連れてくる。そして御飯食べさせて、7時ぐらいにまた連れて行きます。そうしますと11時までやるんです。そして、親たちが11時に行くと、まだ終わっていないんです。教室で、みんな議論しているんです。すると、ずっと外で親たちは車で待っているんですよ。

次に1つの例として、模型飛行機競争に関して話します。模型飛行機競争はもちろん、たくさんあります。模型飛行機で結構いい点数をとると、もちろん大学入学に有利なんです。私がいたNASAに大きな格納庫があります。その格納庫が室内模型飛行機競争に使われるんです。それが年に3回ありますが、いっぱい子供たちが来てやっています。屋外の場合は、もちろんですね。だから、これぐらいの努力は実際に行っているということを私は申します。

〈米国の大学のやり方〉

一流大学では、新入生は1年生以上の教科を既に高校で終えています。それで、卒業のときのクレジットは高校から数えるんです。これが大学の科目だということをちゃんと示されているんですね。APといいアメリカ共通です。この最終の必修科目を終えれば、いつでも卒業できますね。普通、どこの大学でも、最短2年となっています。公立大学は新入生を定員の2倍受け入れる。なぜかという、運が悪くて貧乏な親を持った子供たちは、ろくな高校に通えなかったから、ちょっと成績が悪くても入れてくれというので入れるんですよ。だから2倍とりますが、それを振り落とししちゃうんですよ。だから、振り落とされまいと、ものすごく勉強するんです。1年生のときから、夜、朝2時ごろまで勉強するんですよ。日本人ももちろんできますよ。私の学生たちは朝3時まで行っています。それで、私とのジョークは何かというと、朝2時に帰るときには、「お先に失礼します」と言って帰るんです。

ところが、振り落とされたらどうなるかということ、その大学の一段下の大学にも行ける。というのは、ちゃんと値段が書いてありますよね。デパー

トみたいなものですね。三越で買えなかったらダイエーに行けばいいとか、そんなふうに、いつでも値段がちゃんと書いてありますから、それは転学とも言わない。

それから、この卒業にはGRE試験があります。これもまた大変科学的につくってあって、何回とっても同じです。それから政府や協会はもちろん試験があります。ですから、この大学を出ますと、GREが何点だとか、そして、この大学からは、政府の試験、協会の試験が何点だとか、全部ちゃんと書いてあるんです。それで、ここにAを受けたら、ここにパスします。ちゃんとエバリエーションができる。だから、学校で点数を上げて、全然効き目がないんです。というのは、アブソリュートエヴァリュエーションが全部あるんですから、この換算ができます。それで正確ですよ。私はこの方法ね。いろいろな面で正確だと私は思います。

〈企業の態度〉

企業の態度は、大学の成績によります。企業で試験を受けるというのは、これはとんでもない話です。試験問題を出すというのは難しいんです。だから大学も自身でせず専門家に頼んでいるのに、企業などですというものは、もう話にならないんですよ。

おもしろいのは、政府の規制があるんですよ。政府の階級が1級から16級まであります。それで、大体、1級上がるのに5年の差が必要です。学士だと、Cを受けた学生は5級、Bは6級、Aは7級。修士は7、8、9。博士は11、12、13となりますから、学士のCと博士のAとは8級違うんですね。そうすると40年の差が出てきます。そればかりじゃないんです。ここに特殊資格とかありまして、ちょっと自慢しますが、私の家内は、この学士を取ったときに、公認会計士の試験をパスしました。そうしますと、すぐ修士と認められる。さらに、そこで試験を受けたときに、全科目を1回でパスした。そうしますと、それまた1級高いんです。その点数が全部85%以上だと、また1級。そして、それを全部数えて級数を与えるんです。これが全部基準になっているんです。

その規制はだれがつくったかということ、アメリカには、パーソネル・オフィサーズ・アソシエー

ション（人事協会）というのがあります。彼らが集まって、これを決めているんです。それで、どこで聞くことになるかという、もし私が成績がいいのに給料が低ければ法廷に行って訴訟します。そうしますと、法廷では協会の人を証人に呼んで、おまえの協会でどんなルールがあるかと、それはこうですと、それならこうです。というのは、実はルールは協会がつくっているんです。会社では、そんな協会の人を使わなくて、自分たちでやりますと、そうするとどうなるかといいますと、その従業員が訴訟する、会社が負けます。ですから、このメンバーに人事協会の人を使わなきゃならない。だから、人事協会が、この教育のスタンダードを決めているんです。大切ですね。

それから、解雇になりますと、法律によってバンピング・ルールが使えます。というのは、数を減らすとなりますと、リストラといいますか、自分が階級を1つ下ることをとったとすれば、そこに座っている人を追い出して、自分がそこに座ることができます。それがバンピング・ルールです。これは法律によって保障されています。ですから、卒業するときの成績がよかったら失業しないんです。

おもしろいのは、このベイエリア。ベイエリアというのは、今のサンフランシスコあたりです。だから、パークリー、サンノゼ、パロアルト、全部これを合わせてベイエリアというんですが、ここに700万人が住んでいるんですが、そこに7,000の会社があります。その7,000の会社の半分の社長が博士号を持っています。実は、この人たちが研究するんじゃない。研究は修士を持った人がその下でやっている。博士号を持っている人は社長です。なぜかという、銀行でお金を借りるには博士でないとできないんです。評判が何かというと博士たちはコンサーバティブだと言うんです。まず、というのは、できないことは絶対にできると言わないんです。だから、言葉を信じる。まずそこが大切です。それから、もう一つは、博士ぐらいになりますと、その人に関してのすべてがどこかに入っているんです。ちゃんと調べます。私は1964年にアメリカに最初に行きました。それでロッキードを訪ねましたら、その社長さんが、「ああ、

パーク・チョルさん」、とか、お世辞言うんですよ。あなたに関してよく知っていますよ。この人、今、私のスピーチなどをどこかで見たのかと思った。後で、その人の後ろの部屋にいっぱいあるのが何かと見たら、人の情報です。それが全部本になっているんです。今ごろは全部、もちろんコンピューターですから、これは今のところは問題じゃない。1人1人に関して、すべての役割が全部入っているんです。ここの教授になるときに、いわゆる調査があるんですね。あれを、アメリカでは、すべての人にやるんです。そこに載っている。だから、調べることができるんですよ。だから、博士にならなくちゃなりませんね。というのは、勉強する価値があるんです。

実は、ここの学生たちは、勉強する価値がないんです。だから、ほんとうに独創的な学生が、住むことができない。

私はMITに1年いましたけど、そこでこんなことを言いました。もし今ごろトーマス・エジソンが生まれたら、大学に入れるかと。実は、日本ではどこの大学にも入れません。だけど、MITだけは入れます。MITは、まず希望者が少ないんですよ。なぜかという、あえて恐ろしくてMITには志望しないんです。だから数人は除いて、志望した学生のほとんど全部を夏に招待するんです。そして夏休みに、そこに住ませて、そしてプロジェクトをします。そして、プロジェクトの後で決めるんです。ですから、このトーマス・エジソンが生まれたら、MITとか、パークレーとか、幾つかの大学には確かに入れると思います。

もう一つ、私はMITの機械科にいたんですが、あそこには厄介なことがあるんです。1年生に入った子は、自分は永久運動の機械を発明したと言っているんです。そして、ある子は製図、図面を持ってくるんです。50枚の図面を持ってきて、ここはどこが悪いかわせてくれと言います。これがいくら見てもわからないんですね。この手に余している。そこで、その先生とコーススタッフと大学院の先生に配るんです。この学生は、おまえの責任で、これはできないということを説明せよと言います。そうすると、この学生達はこう言うんです。もしこれができなかつたら、あなたが説明

できなかつたら、私、学校やめますと言うんです。そして、これをつくってお金をもうけるつもりだと言うんですよ。だから、熱力学の第2法則だと言っても聞かん。それで、とてもおもしろかったですね。では、その数がどれぐらいかというのと、永久機関を発明したと言う学生が半分以上です。この機械科に入ってきた学生の。

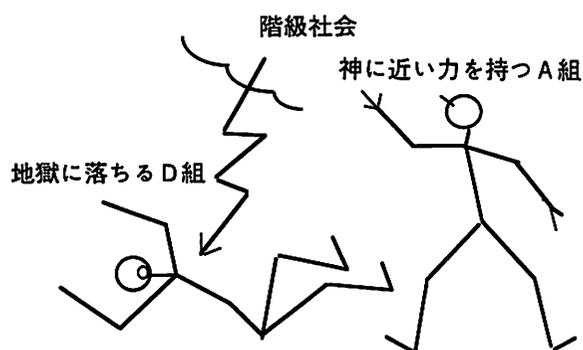
〈米国の大学の研究組織〉

それから、もう一つは、奨学制度がいい。そのお金は、実は政府から出ているんですね。ハイテク企業が助成金をたくさん出していますが、それから従業員も大学院に送っているんですが、その75%の費用は実は政府が出しています。いろんな特殊税があって、その特殊税で集めたお金でそれを払っているんです。

それから、企業から教官の募集がしやすいですね。ここでは難しい。それから、大学の質が透明で、質の評価、基準が透明で、換算率がまた正確である。それで、このような制度を40年やって、結局、世界中の科学技術の王者になりました。これをどうすれば習えるのかと聞くんですが、教えてくれないんですね。技術保護というのがある。

〈米国の社会問題〉

しかし、ここで悪い点をちょっと言いましょう。この点は実は西澤先生と同感ですが、結局、アメリカはこの制度を使ったので、できる子と、できない子との差が大きくなってしまって、それがこの能力による階級制度になってしまったんです。それで、それをソリットクラシと言っているんです。下に属する子は勉強しないんです。というのは、もともと、そのような4組編成にする根本理念というのは、自由に、願えばいくらでも助けてやるということですから、同じ理論でやりたくな



い学生たちには強制しないということになってしまう。だから勉強しないのです。

ただし、18歳までは学校でキープしなくてはならないから、彼らを入れるリフォームスクールというのがあって、そこに、監獄みたいなところに入れてしまうんです。そこをとにかく出たら、そこでみんな悪いことを習って、ほんとうに悪いこととして、監獄に入ってしまうんです。そして、そこでまた悪いことを習うんです。それで出てきたら、もっと大きなことをして、今度はもっと厳しい監獄、いわば犯罪大学院に入ります。今、犯罪を犯して監獄にいる数と一流大学の大学生の数と同じです。1人当たりの予算が大体同じです。だから、トップ1%は政府のお金で大学に送る。そして、ボトム1%も、また政府のお金で別の大学院に送るんです。両方とも教育機関です。

一番重要なのは、アメリカ人はこの制度が正しいと思っていることです。それが、いわゆる保守思想の一部です。保守思想というのがあるんですが、その点では今の共和党と民主党と違うんです。共和党は、あくまでもこれが正しい方法だということです。自分の能力があり、努力すれば、ちょっと頭が悪くても、自分で補うことができるようなシステムです。ですから、ちょっと頭が悪いならしょうがないけど、努力すれば、またおまえも人並みにできると、このようなものだから、これが公平だと思っているんです。だから、今、この社会問題が重要なのです。

では、黒人の問題。黒人が問題だと言っていた中曽根元首相などは、実は何も知っていないんです。黒人の問題ではない。実力の問題です。いわば能力のある人は能力のない人に、雷を落とすこともできるという仕組みです。なぜO. J. シンプソンが無罪になったかということ、彼はこのクラスに属するからです。法律も実は同一じゃないんです。同じだと思ったら全然間違い。

〈日本の創造性教育には〉

米国のやり方のいいところが見えますね。日本では、そのままアメリカのやり方のいいところだけを取り入れればよい。いいところというのは、大学選抜に個人特技を優先に考慮すること。それから試験制度を合理化し、強化することです。そ

して結果は公表するべきです。大学選抜は、広範囲で個人特殊才能を評価すること。それから学年の制度をゆるめて学生が自由に動くことが自由にできるようにすること。大学の募集人数は自由にすること。それでもお金がもうかると思っている私立には、させればいいんじゃないですか。個人特技の競争組織の発展と政府の役割も変える必要があります。米国では政府が個人特技教育をほんとうの意味で指導しているんですね。学校はすべてが透明です。透明性というのは、今、日本で政府や企業に求めているんですけど、学校が透明になるべきですね。

それから、最後に、ハイテク特殊税を賦課して、助成金や奨学金に使うべきだと私は思います。アメリカが WELFARE といいまして、下の15%の人に今までお金をたくさん払いました。その結果として、この下の人はもっとも悪くなった。ところが、トップ1%に使うお金は、とても効き目があるんです。お金の使い方として、トップ1%を助けることはやっていない。なぜ下のほうばかりにお金を出しますか。上の人も人間ですから同じように政府の補助を受けるべきです。その上の人の1%に使うお金はほんとうにいいんです。産業を興して、みんな雇用を増やすんじゃないですか。

ここで終わります。(拍手)

司 会 パーク先生、どうもありがとうございました。

司 会 それでは、少し時間もございますので、山川先生とパーク先生の御講演につきまして御質問をいただきたく存じます。まず、初めに山川先生に対して、何かご質問等。多分、ベンチャービジネス・ラボの江刺先生、ちょっとご都合悪くておいでにならないで残念なんですけど、去年は学生科学センターがオープンしたということもあって、徳田先生にお願いしました。今年はベンチャービジネス・ラボができたということもあって、それに近い山川先生にお願いしております。こんな経緯があったんですが、ちょっとその辺を踏まえまして、何かご質問ありましたら、お願いしたいと思います。いかがでしょうか。学生の方でも結構だと思えますし、いろいろ関連のことをやっている人もいます。まず、山川先生へ。

司 会 じゃあ、よろしいですか。私も、実は同じ研究室の出でございまして、旧電子工学科、松尾研究室の、ちょうど山川さんが大学院のマスターに来たときに、私が助手だったですね。一応、そんなことで。そのころ、ちょうどファジィが出たところだったと思います。それで、集積回路に関しては、もちろん西澤先生なんかのご指導をいただいてやったところ、大変劇的にうまくつないだということ。その後、山川先生が熊本に行かれてから大展開をしたわけですので、その辺のところ、非常にある意味でタイミングよかったところに先生もよくて、すごいなと思ったんですが、どういったきっかけから、そういう転換をされたかというようなことを、ちょっとお話をお伺いできればよろしいかと思っておりますので、お願いしたいと思えます。

山 川 ファジィを始めたきっかけといたしましては、他の方の研究のお手伝いをするのでした。研究協力のお誘いに乗った理由は、やはりアナログで何かをやりたかったというのがありました。先ほど、比較しましたけれども、リニアのアナログですと、拡張性という点で非常に厳しいところがあるし、いろんな方が既に研究をおやりになっているので、そういうところは自分はやりたくないと思えました。まだあまりやられていないところといたしまして、ノンリニアのアナログであります。そういうところにファジィの共同研究の話が

タイムリーに来たことも、研究をはじめたきっかけとなりました。

それに、ファジィはもともと概念ですので、コンピュータの中にそういうファジィの概念を取り込むということは、あくまでもソフトウェアによるファジィ処理が主体でした。またファジィ処理は、スポーツ選手や音楽家などのように、人間の持つノウハウをもとに、瞬間的な判断をできることが特長ですので、ソフトウェアでは不十分でした。そこでファジィ専用のハードウェアを作ればよかろうと思ったわけです。もともと自分のバックグラウンドが電子回路なので、やれるのではないかと思いました。ただ、半導体に手を出したのは、盲人蛇におじずの諺通りでした。今思い起こしてみますと、とんでもないことに首を突っ込んでしまったと思うぐらい、ぞっとすることがたくさんありました。でも、東北大からいろんな技術をいただきまして、ほとんど手づくりのチップではありますけれども、準備を始めてから半年ぐらいで最初のチップを完成することができました。それがファジィの集積化のきっかけになったわけです。

その後、ファジィのハードウェア化についてはデジタルでもアナログでも随分いろんなところで研究がなされるようになりました。ひところは、日本の独壇場であったファジィに関する研究も、現在ではヨーロッパやアメリカの方が盛んなくらいです。この前、ヨーロッパの国際会議に行きましたら、知らない人がたくさん、ファジィの回路を作っていて、私は自分が浦島太郎になったような気がしました。日本ではアナログファジィの研究をやっている人は非常にマイナーなのですが、ヨーロッパではごく当たり前前に研究をやっておりました。いささか寂しい感じがしております。

話がいささか横にそれましたが、熊本大学時代にアナログ技術を使ったファジィの集積化ということ考えたのは、そういうノンリニアのアナログをやりたいかっただということがきっかけであったのは事実です。

司 会 ありがとうございます。

じゃあ、もう一つ、よろしいですか。

もう一方で、先ほどご紹介しましたように、ファ

ジィのほうの研究所の理事長をしておられて、非常に早くから産学共同のセンター的な格好のもので、最先端のものをやっている。そういう意味では、今ここでも先端科学技術の共同研究センターの構想があって、非常に大きな格好でやろうというのを、阿部総長先生をはじめとして、大学のガイサンとしてやっているわけですが。そういう意味で、産学共同的な、今、理事長をしておられるところのご苦労と、それから、そういうところでのよさ悪さみたいな経験、多分、大変お持ちだというふうにお伺いしているので、ちょっとその辺のことを教えていただければ大変参考になると思います。

山 川 このファジィシステム研究所という財団は、文部省と通産省の共管で1990年に設立いたしました。私が1988年に飯塚市で初めて国際会議の開催を担当し、その準備をしていたときに、新聞記者と一杯飲みながらファジィの普及のことで話をしていました。そのときに、ファジィの普及や共同研究の推進には、いっそのこと財団をつくった方が速いのではないかということを行ったところ、そのことが「山川がファジィ財団設立を表明」という形に変わって新聞の一面記事になったわけです。私としても、何だか引っ込みがつかなくなってしまい、いろいろ考えておりましたら、次第にこれは可能じゃないかなと思い始めました。いろんな方のアドバイスを受けながら、毎日毎日企業の会長・社長に基本財源の寄付をお願いしました。その数は、合計すると名刺の数から100人位に上ります。一方で、時代の要請も強かったものですから、通産省や文部省からも積極的にご協力頂きました。その結果、私が財団設立の口火を切ってから1年半ぐらいで認可が降りました。

そのころ、ファジィを広めるために1人で講演して回っても限界がありましたし、共同研究や受託研究等の活動を考えても、1人でやるには限界がありました。やはり財団をつくり、お金の受け入れ態勢を整えて、そこで組織的に活動しなければとてもできないと思います。財団設立に際しては、仙台市青葉山にあります半導体研究所を手本にさせていただきましたが、西澤先生のご苦労が今やっと私にも分かってきました。

ファジィやニューロサイエンスに関する国際会議を財団の主催で隔年に開催しております。おかげさまで、これも次第に定着してきました、一応、ファジィの研究者の間では「飯塚に行ったか？」というのが挨拶言葉になってきて、非常に有難く思います。また、大学だけでは、地元の企業を牽引したり、新技術を企業に移転して活性化したりというのが、なかなかスムーズにはいきませんが、財団が存在することで、そのあたりがうまくできているように思います。

しかし一番厳しいのは、企業のニーズと、それから我々の持っているシーズを合わせ、そこでお互いが利益を得て繁栄するということが、口で言うほど簡単ではありません。私自身、武家の商法で財団の運営をしておりますが、やはりその道の専門家が財団には必要かなと感じております。

また、私たちの大学では、学生達特に大学院生がベンチャースピリットに少し目覚めてきましたので、ファジィシステム研究所を拠点にして、今、若者による会社づくりとか、あるいはベンチャーのネットワーク作りをやっておりますので、これまでとは異なる形で研究所が社会に貢献できるのではないかと期待しております。

司 会 いかがでしょうか、何かご質問等。よろしゅうございましょうか。

あと、山川先生の趣味をご紹介するのを忘れたんですが、昔、大学の大学院生のときに、青葉山の電気系の屋上から尺八がずっと聞こえたというのは、5年間ぐらい続いたわけですね。尺八とか三味線の師匠の資格を持っておりまして、空手5段という、非常に日本人としてのいろいろな素養をお持ちの、大変ユニークな方でございますので、また懇親会で盛んにいろいろディスカッションいただけますので。

山川先生、どうもありがとうございました。

それでは、第2席のパーク先生のほうのご講演に対して、またいろいろご質疑、ご討論いただきたいと思います。いかがでしょうか。

西 澤 こんなおもしろい教育の話のを伺ったのは初めてです。大変いいお話を聞かせていただきました。

ただ一つ心配なのは、ちょっと最後のほうに出

てきたかと思うんですけども、やはりアメリカ人の人間性というものが少し崩れているんじゃないか。あまりにも激しい競争といますか、それがヒューマニズムをむしろ少しつぶしているんじゃないかという感じがするんですが、いかがでしょうか。

パーク 私の子供たちを育てるのを、学校では社会主義をたくさん教えているんです。中学校に入りますと、アメリカで一番はやっているのはスタインベックの書いた『怒りの葡萄』ですが、あれを高校卒業するときまでに3回レポートを書かせるんですよ。社会人としての自覚を教えているんですけども、学生達は競争社会で勝つのが一番得だということを見ながらも、社会主義というのは、やっぱり教わっているんです。

私の子供のうち一人は、自分は社会主義者といって、今その方面で、大学の講師ですけども、社会主義者になった。彼女は高校のときに、社会活動を個人活動としてやりました。そして、一生の仕事として大学に行って専攻をしたんです。

そんなこともあるんです。心配なのは、保守思想というのが正しいかというのは、私はそれは疑問を持っております。

近ごろ、クリントン大統領が教育に関してちょっとばかり、平等教育を、今から昔に変わるようなことを、ちょっと口にしたんです。そうしたら、共和党のほうでぐわーんと反対をとって、このやり方は正しいんですよと、1%の人を監獄に送る、これが正しいんですよと言ったんです。

司 会 宮城先生、どうぞ。

宮 城 東北大学工学部の宮城と申します。大変興味あるお話を伺わせていただきまして、ほんとうにありがとうございました。

先生のお話ですと、日本はこれからやるとすると40年、アメリカの後だということでも、それでもやはり創造性をはぐくむとか、それから能力のある人はどんどんその能力を発揮させていただくということは非常に大切なことだと思うんですね。

それで、東北大学の工学部でも、そういうような試みは少しずつやっているというふうに私は思っているわけなんです。先生のお話の中で、日本とアメリカでの違いが、そういう能力のある人は

どんどん引き出していきましょう、そういうことでは比較的、お互いに、日本でも受け入れると思うんですが、能力のない人をドロップアウトさせて、どんどん下にやりましょうというのは、なかなか難しいような気がします。それで、その点について、先生のお考えをお聞かせいただければと思うんですが。

パーク 私もそこは嫌ですね。そんな、アメリカのやり方が正しいとは私は思っておりません。やっぱり、私は社会主義がいいところもあると思いますよ。これは有名な話ですが、コーテーションしてもいいですか。白人がアフリカかどこか未開のところに行ったそうです。そして見たら、そこに原始社会があって、そこで狩りをするんですよ。男たちはみんな弓と矢で獲物をとった。ところで、そこで矢に全部名前が書いてあるんです。それで、その名前を書いた、その人がこの獲物を配るんですよ。いや、これは競争社会だなと思えたんですよ。だから、これは強者が一番褒美を得るといふ社会だと思った。

ところが、その次、2回目に行っているときに調べてみると、同じ人がいろいろな違う人の名前を書いた矢を持っているんです。というのは、実は、社会主義ですよ。だから、この社会が維持できるのは、競争社会か、社会主義か、それは実はわからない。そのうちで一番よく射ることができる人がだれだということは、もちろんわかっているでしょう。その人がいないと、その社会を維持できない。だから、その人にはもちろん褒美をするわけですよ。だけど、この社会としては、わざと社会主義をしている。私は、もちろん専門じゃないからわかりませんが、いろいろ考えるべきですよ。

司会 よろしゅうございますか。

柳沢 柳沢と申します。大変おもしろく拝聴したんですが、一つだけわからないところがあったので教えていただきたいんですけども、大学の卒業時の試験、GRE試験というお話をされたんですが、これはどこが、どういうふうなシステムでやる試験なんですか。

パーク いやいや、そのセンターでつくっているんですよ。一カ所で作っています、研究所で。

それで、同時に出すんです。

柳沢 それで、ほかにもいろいろな協会があると言ったんですが、それは大学が。

パーク GREはただ一つです。

柳沢 一つですか。

パーク それで、一カ所つくって、希望者にだれでも送ってくるんですよ。日本の学生たちも受けていますよ。私の学生たちも受けてみた。悪い。成績悪いんですよ。私はそう思います。実は、われらがほんとうにわれらを評価したいんだったら、GRE試験問題を取り寄せてやってみる。というのは、学生の評価じゃなくて、われらの、先生の評価のためにする必要があるかと思います。

柳沢 それは、オブリゲーションじゃなくて。

パーク オブリゲーションじゃないです、自分、もちろん。

柳沢 自分たちで。

パーク 自費でやるんです、もちろん。

柳沢 わかりました。ありがとうございました。

パーク 大学院に入るときに、それがないと入れませんけど。

四ツ柳 せっかくですから関連して、ちょっと技術的なことをお尋ねしたいんですけども、何回受けても同じ成績が出てくる試験というのは、どうやってつくるかという。

パーク えらいですね。これは、教育心理学者たちは、そればかり研究しているんですよ。ですから、自分の試験問題を自分たちが評価しているんです、いつも。だから、学会などで、いつもそれを討議して、それをつくったんですね。だから、その点、もし習おうとすれば、アメリカへ行って習えばいいんでしょう。

四ツ柳 確かに試験問題の研究というのは、日本はやっていないですね。

パーク そうでしょうね。

西澤 前に、その試験問題をくれと言ったんですけどね。私がアメリカ人に試験問題をくれと言ったら、そんなもの渡せるかと、大変な元手がかかっていると言ったんですね。だから、それは、今のお話のとおりで、その辺が日本人が全然だめなんですよ。

ちょっと余計なことを言うと、私就任したとき

に、文部省に行って、これから試験のやり方を研究する必要があるから、東北大学教育学部に1講座くださいと、試験問題の研究をやるからと言ったんですよ。そうしたら、意地の悪い局長さんでしてね、にやりと笑ってね、日本じゅうに1つだけ試験法の講座があります、どこにあるかご存じですかと言うんですよ。さあ、知りませんねと言ったら、あなたの大学ですよ。（笑）どうなっていたかという、試験法の講座をもらってきて、試験法の研究をしていないんです。

パーク 彼らの試験、それから人事協会、パースネルオフィサーズ・アソシエーションが決めたルールがいいですね。尊敬しますね。あんなのがあって、法律がそれを支えているんですよ。彼らは、労使関係が起ったとき裁判になりますと、協会の証言で決まるんですね。そんな組織が整ってこの制度を支えている。

井口 金属工学科の井口ですけれども、ほんとうにいろいろお話をいただきましてありがとうございます。

質問というのはいっぱいあるんですけども、一つだけお尋ねしたいんですけども、アメリカはやはり富もあり、自由もあるということで、次々世界からいろいろな方たちが来られていると思うんですけども、先生も含めてだと思うんですけども。先ほど、ちょっとニューヨークの高校の50%ぐらいが、ハイレベルのは東洋人だよと、こういうお話をお聞きして、トップの1%と一番最後の1%がオリジナルに、かなり長くアメリカにいる方がどのくらい占めるかという、なんとかなしに、下の1%はかなりアメリカにずっといる人で、上のほうのかなりは、次々に新しく入ってくる人たちの子供さんとか、そういう方が占めているような感じを受けるんですけども、そういうことはないんでしょうか。

パーク 確かにそうです。2代、3代になりますとずんずん落ちていく、平均されてしまいます。ですから、民族による差とか、それはちょっと、あるにはあるんですが、それはプロセスが違うからです。日本人が入ってきたのは、100年前、百姓さんが入ってきた。中国人はクーリーとして入ってきた。私の故国の韓国の人は、ほとんどがウォー

ブライトしてきたんですよ、アメリカ人の兵士の妻として入ってきた。ところが今、アメリカで一番成績のいい民族は何だと思いませんか、インドです。インドは、平均より30%高いんです。インドが一番高く、それは135ぐらいですよ、その次が日本人と中国人が100.7ぐらいですね、ユダヤ人が100.6ぐらい、韓国人が100.5ぐらいかな。収入と平均でそうです。インドが一番高い。なぜかという、インドの人たちは特殊な理由じゃなくて、これは全部選ばれた人たちです。ほかの人たちは選ばれた人じゃない。だから、人種の差というのは実は、私たちは、アメリカの保守の思想の中には、人種というのはインシデンタルです。だから、これは自分たちの信じている心情の中には、これはインシデンタルに、こんな統計になっているけれども、それで民族の優劣というものではないと思っています。信じています。

司会 私、ちょっと一つよろしいでしょうか。

先ほどの話で、中学、高校ぐらいのレベルですと、父母なんかが大変、ボランティアの格好でいろいろ学校教育に寄与しているというお話ですが、例えば大学の場合、例えば、非常に卒業生なんかが社会的に成功すると、いろいろな意味でドネーションで建物あるいはいろいろなものをやるというようなことはあるんですが、そういう形じゃなくて、さっきの中学、高校のような形に近く、ボランティアに近い格好で大学のいろいろなものにコミットするようなことというのは何か。

パーク 中学、高校のようにコミットする。

司会 ええ、というようなことはいかがでしょうか。卒業生なんかが、例えばいろいろなところの、例えば共同研究のプロジェクトのときに参加するのも、多分あるんだろうと思いますし、それから教育とか試験とか、何かそういうところにコミットするというのもありそうに思うんですけども、その辺はいかがでしょうか。

パーク 私の子供たち、98.5%の学校には、先生が3種類あります。ほんとうにいい先生がいる。

まず、基本組織として、いい学校は給料が低いんですよ。なぜかという、政府から助成がないんです。どうしてかという、地方地方によって、この地方の財政、税源がこの学校の維持費が払わ

れるかを計算して、そこで払われなかったら、その差額を政府が出すことになっているんですよ。それで、その税源というのは、財産税ですから、土地や家の値段が高いところは財源が高いと認められるんですね。実は、私たちみたいな貧乏ではないが収入がそんなに高くないんですけども、だけど、政府で見ると、この学校は税源が高いからと思って一つも援助しない。だから、予算は一番貧乏。というのは、いい学校が一番貧乏です。

それで、給料が払えないから、そこで教えてもいいと思ういい先生が3分の1、もう一つの3分の1はウォッシュアウト、ほかの学校から一番無能力で一番下の人が3分の1、それから3分の1は無資格の先生です。というのは、安い値段で大学を卒業した人を連れてくるんです。あそこでも、もちろん先生になるには何かちゃんと教育を受けなきゃならないんですけども、教育を受けていない、フレッシュカレッジ卒業生を連れてくるんです。その3組ですね。だから、実は学生たちがいい教育を受けているんじゃない。先生がよいんじゃないんです、先生が悪いのに。その最後の3分の1が、卒業生たちがどんなものかということ、歳が22、3ですね。4、5歳上の兄さんみたいで、もちろん教育の仕方は未熟ですけども、彼らは情熱があるんです。あれが伝わるんですね。だから、学生たちにモチベーションになる。勉強はもともと自分がするものであって、環境でそれをつくるという、そのモチベーションするのがわれら先生たちの任務、それができるんですね。そんなところで貢献する。

お金と教育とはあまり関係がありません。お金と教育とは関係がない。今までアメリカで、このような政策を70年もやった結果としては、政府がお金を使った学校ほど悪いんです。使わなかった学校ほどいいんですよ。(笑)

司会 というようなお話ですが、どうもありがとうございました。

あと、いかがでしょうか。よろしゅうございますか。

最後に謝辞を工学研究科長、四ツ柳先生にお願いしたいと思います。よろしくお願いします。

四ツ柳(東北大学工学研究科長・日本工学アカデミー会員) 本日は、山川烈先生、それからパーク・チョル先生に大変感銘深いお話を伺いまして、ありがとうございました。

山川先生のお話の中で、輪郭をぼかした言語を用いて、比較的簡単に記述できるという言葉から始まって、最後は昆虫のフェロモンに対する応答まで、我々、日ごろ、いわゆるソフトコンピューティングの真髄の、いかなるあたりにどんな問題があるかというのを考えながら、ほかの領域でも遠くから見ておったんですが、きょうは大変明快なご説明ありがとうございました。

それから、パーク・チョル先生には、ワルキューレの、自由な人間は自分自身でつくらなければならないという大変ショッキングなテーマをスタートに用いられて、その後で、アメリカの大学には勉強する価値があるという、我々には大変耳の痛いお話。それから、州の予算と監獄の予算が同じになってしまったというアメリカの社会問題まで、非常に多岐にわたる、私ども、日ごろ遠くからアメリカを見ておられて、どうしてあんなことができるんだろう。どこにあの学生たちのインセンティブがあるんだろうというのを見ておりました中の幾つかの問題を、納得して聞くことができました。大変ありがとうございました。

大学もこれからいろいろと国際競争の中で生き残っていかなければなりませんし、その中から、次の世代を担う重要な人材を育てていかなきゃならないわけですが、きょうはお二人の先生方に、これからの指針の重要な部分を教えていただいたような気がして、拝聴いたしました。どうもありがとうございました。(拍手)

星宮 ありがとうございました。

大変いいご講演二つ、それから、いいディスカッションがありました。心から御礼申し上げます。お二人の講演者に、改めて拍手で御礼を申し上げたいと思います。(拍手)

それでは、少しお休みいただいてから、1階のロビーで懇親会をいたします。

1998年3月25日

編集発行

(社)日本工学アカデミー

〒100-0005 東京都千代田区丸の内1-5-1

新丸ビル4-007

TEL : (03) 3211-2441

FAX : (03) 3211-2443