

JNNS NEWSLETTER

Supplement No.1
(July, 1991)

座 談 会

AI・ニューロ・ファジィ

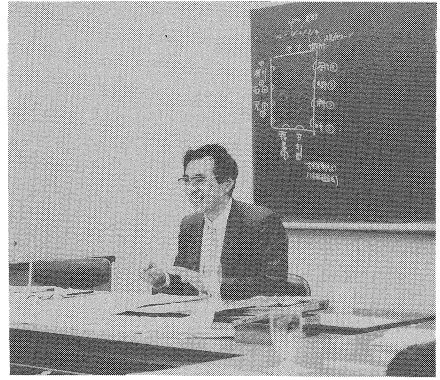
神経回路学会

AI・ニューロ・ファジィ*

1990年11月25日(於:池袋サンシャイン集会室)

〈司会〉

堂下 修司
Shuji Doshita
京都大学工学部情報工学教室教授



〈出席者〉

(社)人工知能学会

有川 筋夫^{†1} 西田 豊明^{†2} 元田 浩^{†3}
Setsuo Arikawa Toyooki Nishida Hiroshi Motoda
†1 九州大学理学部附属基礎情報学研究施設教授
†2 京都大学工学部情報工学教室助教授
†3 株式会社製作所基礎研究所主管研究員

神経回路学会

甘利 俊一^{†1} 田中 啓治^{†2} 福島 邦彦^{†3}
Shun-ichi Amari Keiji Tanaka Kunihiko Fukushima
†1 東京大学工学部精密工学教室教授
†2 理化学研究所国際フロンティア研究システムチームリーダー
†3 大阪大学基礎工学部生物工学科教授

日本ファジィ学会

馬野 元秀^{†1} 片井 修^{†2} 菅野 道夫^{†3}
Motohide Umamo Osamu Katai Michio Sugeno
†1 大阪大学工学部精密工学教室助教授
†2 京都大学工学部精密工学教室助教授
†3 東京工業大学総合理工学研究所教授

司会(堂下) それでは「AI・ニューロ・ファジィ」と題する座談会を始めさせていただきます。この座談会は、最初人工知能学会の創立5周年記念行事の一環として計画されましたが、どうせやるならば Inter-disciplinary な分野についてかつ Inter-society なものとして行いたいと考えたわけでありませう。それで、相互に深い関係があると思われませう三つの学会、つまり人工知能学会、神経回路学会、日本ファジィ学会が、共同して企画をして実現したものであります。通常我が国では、それぞれの学問とか技術分野のルーツはそれぞれ別々に外国に求められている場合が多く、外国との分野ごとの交流はあっても、分野相互の交流が我が国の内部では必ずしも十分だったとはいえませう。また、学会組織もそれぞれ独立しているために、こういった共同企画と

いうのはかなりの困難さを伴うわけでありませう。しかしながら、今後のこれらの方面の研究がよりいっそう進められるためには、一つの観点からの見方ではなく、ぜひとも広い複眼的な視野からの探求と討論が必要であると思われるわけでありませう。この企画は、このような趣旨で行うものであり、各分野について3名のメンバーをそれぞれの学会に選んでいただいたわけでありませう。異分野の討論はある意味では非常に難しい側面があります。それぞれの拠って立つ基礎盤が異なるため、議論がかみ合わず、対立点だけが強調されるとか、または我が国における通常の議論のように、お互いが寄り添うような形で、それぞれの独自性がぼやけてしまうという点があるかと思われませう。この議論ではそれぞれの分野の独自性を尊重しつつも、相互に関連して協調すべき点、共通的な面を、あるいは異なる点、独自の面を、なるべく明確にして、お互いの立場から他の分野に関する見方をも述べるというふうな相互性のもとに進めていきたいと思われませう。紙面の都合もあり、議論

* 今回の座談会は、「人工知能学会誌」1991年7月号および「日本ファジィ学会誌」1991年8月号にも掲載される予定でありませう。なお、この「座談会」の著作権は、人工知能学会、神経回路学会、日本ファジィ学会の3学会が共有するものとします。

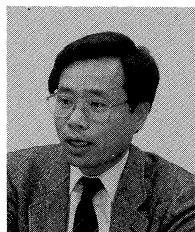
が十分に行えないかもしれませんが、このような方面の今後の研究の発展に対して何らかの意味での参考になれば幸いです。

本日話題とする分野は一言でいうとどうなるのかを考えましたが、一つ概念でこれらの3側面をまとめるという言葉はなかなか見つかりませんでした。しかしながら、これらの分野が広い意味での情報科学の流れの中にあって、かつその一つの先端的な分野であるということは論を待たないと思います。そこで、歴史的な流れの一つの見方をごく簡単に述べさせていただきます。1935年頃から、計算機とか、情報という概念が近代的な意味で確立して参りました。そして1945年頃には、計算の装置としてフォン・ノイマン型の計算機が出来上がって参りました。その後計算機はしだいに情報の意味を扱うようになり、さらに理解や推論の問題が論じられるようになりました。これらは主として記号論理というふうな立場から行われて参りました。しかしながら、記号論理がすべてでないことは当然であります。シャノン・ウィナーの流れを汲む情報の量と、制御概念つまりエントロピーの概念と、それらをベースにしたパターン認識、神経回路網、神経モデル等の研究もずっと行われてきました。いずれにしても、一側面からだけでは今後のブレイクスルーは非常に困難だと思われまふ。「それでは、今後どのようにすべきか」が本日の非常に重要なテーマかと思ひます。情報の意味はどのように理解されるかという問題を、人間と機械という総合的な立場から論じることについては、AI、ニューロ、ファジィいずれにも共通していると考えます。

まず、それぞれの学問的立場から、立脚点は何か、他の分野との関係はどうなのかということ、ひととおり述べていただきたいと思ひます。まず、人工知能の立場から、お願いいたします。

人工知能研究の立場

有川 私は、数学的に人工知能の研究をやっています。したがって、論理とか推論とかに必然的に関係があるわけです。ですから私の立場は、さまざまな概念等をなるべくフォーマルに定式化することです。また、定式化されたものを計算機にのる形にすること、そのアルゴリズムをどうすれば本



当に効率化できるのか、その限界がどのへんにあるのか、つまり、できる種類の問題とできない種類の問題とを明確にしまして、今後の基礎となるような概念にもっていきたいわけです。それから、なぜ推論にこだわるかと言ひますと、例えば知識が大量にあれば推論はいらなないと言われることもあります。知識は完全であることはあり得ない。知識が足りないから何らかの推論をして結論を出すわけです。数学では、公理があつてそれから推論されたことは正しいと信じられていますが、知識の場合はどちらかという信念みたいところがありまして、それ自体は正しかどうかはわからないわけです。ですから、例えば演繹を使った結果も、完全に信じられるものではない。まして不完全なデータあるいは知識からの推論では、その結果もかなり曖昧であることがあるわけです。しかしながら、そういったことをもとにして人間は判断をしているわけです。知識の不足を補う意味での推論は大事です。また、それを支える論理は何か、といったことも大事であると思ひます。

西田 私の場合は、まず人間があつて、人間は非常に知的な振舞いをしてるように見えたので、それと同じような振舞いをするプログラムを作ってみようというのが出発点でした。まず、あまり数学的な制約を受けない記号系を使って、人間の知的挙動をまねするからくりを作ってみようという観点から始めたのですが、これはやはり限界に達しました。記号論的な道具だけでは設計がうまくできないといった問題がはつきりしてきて、曖昧な情報の取扱いや学習能力の実現などの他の分野に興味が移動してききました。

元田 私は人間あつてのAIという立場をとっています。したがって、機械が単独に勝手に何かを処理するのではなくて、処理の過程が人間の理解に沿った形であつてほしいと常に思っています。お互いに理解しあえるにはあるレベルがあり、理解できる何らかのprimitiveがあるに違いなく、そのレベルでいろいろなものを記述すればよいのではないかと考えます。そして、それに最も整合した表現形式、推論形式があり、それを実現するのに一番便利なのがたぶん記号ではないかと思ひます。自分はどうかしているかということをもつとも出発点にして、いろいろなモデルを考えるようにしています。ですから、学習するにしても、自分ならこういふときにどう考えるであろうか、それをプログラムにしたとすれば、どうなるであろうかと。

また、ゼロからの学習というのはほとんど絶望的だという気がしており、すでに我々が知っていることは積極的に利用すべきであるとの考えを持っています。知っていることを効率的にレベルの高いもので表現しようとする、記号が今のところ一般的かなと思います。それで、記号を用いたいろいろな推論とか、学習・知識獲得などをやってみたいと思っています。

有川 人間あつての AI と言われましたが、私もまったくそうでして、バックグラウンドは数学ですが、人間のそうした活動の定式化からスタートするという点であります。ですから、その点に関しては共通です。

司会 人工知能の研究者に共通しているのはやはりどちらかというと記号をベースにした処理という点かと思います。「人間あつての」ということは、他の分野にも共通しているかと思います。それでは、次にニューロ関係の立場をお話してください。

ニューロ研究の立場

福島 ニューロというような立場で研究している人たちはたくさんいますが、ニューロという言葉の意味することは、研究者ごとにかなり違っていると思います。私自身の研究の手法は、生物の脳の中での情報処理の仕組みを解明し、解明された仕組みをもとにして、新しい情報処理システムの設計原理を得るといふ二つの目標を同時に狙っていくことです。このためにはまず、脳の神経回路がどうなっているかを知らなければなりません。神経回路を調べるのに、田中さんがやっているような生理学的な研究手法もありますが、私は神経回路のモデルを仲介にして、合成的な立場で脳のメカニズムの解明を目指しています。つまり、生理学とか心理学で得られた断片的な知識をもとにして、わかっているところはできるだけ忠実に脳の生理学や心理学の知見を取り入れまして、脳と同じような働きをする神経回路モデルを作ることを試みます。わからないところは、逆の見方をしまして、「出来上がったモデルが脳と同じ働きをするためにはどんな原理がなければならぬだろうか」ということを考えて、大胆な仮説を立てながらモデルを組み立てていきます。モデルができますとモデルがどう働くかということ計算機あるいは数学的な解析によって調べます。そのモデルの動作の仕方と、同じ刺激を実際の生物の脳に与えるときの脳の動作の仕方とを比較して、違いがあれ

ばモデルのもとになった仮説を修正しています。そういうことを繰り返すことによって、だんだん脳と同じような働きをする神経回路モデルというのが出来上がっていきます。もちろん、モデルができてそれが脳と同じ働きをしたからといって、脳がモデルと同じ仕組みで働いているかどうかはわかりませんので、もう一度生理学とか心理学に立ち戻って、実験的にそれを実証してやる必要があります。しかし、両方が同じ反応を示すのですから、両方が同じ原理で働いているという可能性が非常に高いということが言えます。

また、モデルを作るときにはいろいろな事象を非常に単純化し、抽象化していきますから、神経回路のモデルがいったんできると、モデルの中で基本的な情報処理に何が役に立っているかが非常にはっきりわかります。したがって、モデルを作るといふことは、新しい情報処理システムの設計原理そのものの開発に直接つながります。このような立場での研究を発展させるためには、脳の解明とその応用という二つの目標を同時に目指していくことが非常に重要になります。

具体的には、視覚系における情報処理機構の神経回路のモデルであるとか、あるいは記憶学習とか自己組織化とかいうようなメカニズムに関する脳の神経回路のモデルを作り、それをもとにして視覚パターン認識システムの設計原理を得て、文字を読み取るシステムを開発する研究などを進めています。このようなモデルを、さらに発展させて、音声のような時間的に変化するパターンの認識を行う研究も進めています。

司会 今の「モデル」は生理モデルよりも機能モデルということでしょうか？

福島 我々は神経回路モデルと言っていますけれども、まあ、機能モデルと言ってもいいでしょう。あまりそういう言葉を使ったことはないのですが。

甘利 私の専門は数理工学

であります。数理工学とは、工学の学問分野を研究する数理的な方法論のことですが、その中で特に情報に関する部分、例えば、通信・制御、統計・確率、計算・算法などから、認識や理解などの人間の高度の情報処理まで広く興味があります。現在の興味の中心は情報幾何学を建設して、情報科学の分野に新しい方法論を導入することです。一方、直接情報幾何学とは離れても、



脳の情報処理には大分前から興味を持っています。では、どういう立場でニューロをやっているかと言いますと、脳というのは非常におもしろいですから、その仕掛けは一体どうなっているのか、まずこれが素朴な第一感です。ところが、脳は複雑怪奇でよくわからないというのもまた本当のところ。そこで立場を変えてみて、脳でこんなうまい情報処理ができるからには何か基本的な原理があるに違いない。平たく言えば、情報をニューロの上に分散表現する。そのうえで並列のダイナミクスを働かせる。そういうプロセスの中に情報処理を埋め込む豊かな可能性がある一方、その方式にはいろいろな限界もある。そこを数理工学的な方法で、学問として把握したい。つまり、脳をまねしたモデルを作るのではなくて、並列分散情報処理の原理を解明するためのモデルを作りたい。本当の脳は進化のプロセスでその原理をやっと実現できたわけで、本当の脳を調べるのも結構だけれども、ニューロ方式を可能にした本当の原理を数学的な体系としてつかまえていくことが必要である。そうすることが、本当の脳を解明するうえでも、ニューロ技術を活用するにも役に立つ。そんなことを考えているわけです。

司会 そうすると、神経システムの計算論的モデルということでしょうか？

甘利 そうですね。本当の脳のモデルは複雑すぎて難しい。むしろ一番単純に原理をつかまえるための最小限モデルを作ってみたい。

司会 今「数理」と言われましたが、論理は数理の中に含まれていますか？

甘利 論理は数理の一部で、論理も含めた数学に興味があります。ただ私は、数理の中で特に微分幾何だとかトポロジーだとか抽象代数、そういった方面を基礎にしています。

田中 高校を卒業する頃、生体の優れた機能に学んで、優れた機械を作ろうという主旨の本を読み、そのようなことを目標として新設されたある大学のある学科に進みました。ところが、生体のまねをする前にまず少し生体の研究を実際にやってみようと思われ、脳の実験的研究をしています。脳の実験的研究と一口に言っても、いろいろなスタイルがあります。脳研究の中での私の特徴は、一番情報寄りの考え方で脳を見ていることにあると思います。脳が情報をどうやって扱っているかということを考えて、なるべくそれに近い線で答えを出していきたいということです。神経生物学全体を見ると、残念ながら、現在は分子寄りの研究

の勢いが盛んです。機能を分子の性質に還元していかうという立場で、遺伝子をいじる技術の進歩などいろいろな新しい手法が出てきているために、大変発展しているように見えます。確かにいろいろな新しい事実が出てきていますが、しかし、脳が脳たるゆえんのことには必ずしも迫れていません。腎臓や心臓など他の臓器とたいして違わないレベルでの臓器としての神経系の性質がわかってきているということです。情報寄りの脳研究の分野では、手法的には今ちょっと停滞していますが、脳の一番おもしろいところだと思っています。一方、神経回路学会の中では、あくまで実際の神経回路網の解明を目指すのが、私の立場です。人間の神経系が解決してきた問題は非常に多岐にわたっており、コンピュータが解決してきた問題よりずっと多様です。ここに脳の特徴があり、そのためにどんな原理が作られてきたかを解明する必要があると思います。

司会 どうもありがとうございました。では、次にファジィに移って、菅野先生お願いします。

ファジィ研究の立場

菅野 私はファジィ理論とその応用の研究をしています。ファジィ理論と言うと、ファジィ集合やファジィ論理、ファジィ測度などがありますが、皆さんおっしゃっているのは、最初の二つのこと



で、ファジィ集合とファジィ論理に関することだと思います。今の話はそれに限らせていただきますと、私はそもそもファジィ理論に、どちらかという哲学的な問題から、これは第1の立脚点なのですが、具体的に言うと近代科学の方法論批判、近代合理主義批判ということから入ってきました。なぜそうなったかと言うと、学生のときはマルクス主義そして近代合理主義を信奉していましたが、その反省からこちらへきたわけです。徹頭徹尾デカルト主義が嫌いになりました。それで、そのときたまたまファジィ理論というのにお目にかかって、これはいいなと思ったのです。2番目の立脚点はファジネスに価値を認めるということです。これは実はイデオロギー的なことです。なぜ認めるかと言うと、私は人間の知の本質というのは、言語を使うということにあるという気がします。マルクス主義では、人間と動物の違いは道具を使うかどうかだということです。言

語学者は、人間を動物と根底的に分けるのは言語の使用であると言います。次に、言語の本質は何かと言うと、西洋哲学すなわち形而上学、あるいは近代科学論では、言語の本質はロジック、論理性にあると考えられていますが、私はそうではなくて、言語の本質はファジネスにあると思っています。もちろん言語には論理もあります。しかし、それはファジ理論なのです。ですから、人間を支えるのは論理よりはファジネスではないかと信じています。

馬野 私の立脚点は、どちらかという AI のほうに近いものです。要するに、人間とよく似たものを作りたいと思っています。これは私のバックグラウンドが情報工学であるということにも関係していると思います。私のいました研究室では、記号論的な AI の研究もしていましたが、記号だけで人間のようものが作れるのかなという疑問を持っています。ファジ集合という意味での曖昧さを取り入れると、普通の記号処理よりはもう少し人間に近いものが作れるのではないかとすることで、そのための基礎になる言語やツールを作っています。

片井 私自身は、システム工学をベースにしております。複雑・大規模あるいは悪構造 (ill-defined) 問題を取り扱っていかうとしますと、人間がやっているような知的な処理というものが、どうしても必要になってきます。ただ、知的な処理はそれだけで閉じているのではなくて、今まで発展してきた従来技術とどのように組み合わせていくかが非常に重要になります。具体的に現在興味を持っているのは、常識推論とか常識に基づいた学習です。以前、時間に関する表現とか推論をベースにした並行システムの制御・検証問題に取り組んでおまして、その延長線上で、ある種のトポロジーに基づいた推論とか学習に興味を持っております。私自身は機械工学科の出身でして、問題を解く際には適切なレベルで、抽象化をし、不必要な部分は切り捨てて近似処理を行うのが非常に重要だということを学んだのですが、この点から言いますと、ファジィは重要な視点を与えていると感じています。また最近は、ニューロを組み入れたファジィルールの学習などにも興味を持っています。

司会 ありがとうございます。ファジィという立場もいろいろあって、菅野先生はかなり理論的、馬野先生はどちらかという人工知能に近い、片井先生はむしろシステム工学ということでしょうか。それで、菅野先生の中で測度という言葉が出ました。先ほどご説明がなかったのですが、ファジィの立場

では測度というのは必須であると考えてよろしいのですか？

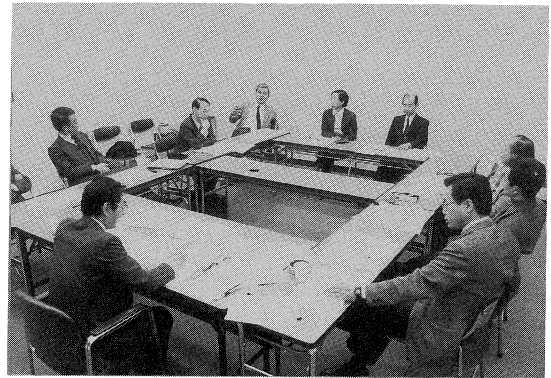
菅野 違います。

司会 測度がなくても成り立つと。

菅野 ファジィ集合とファジィ測度は私の見方によると双対な概念なのです。片方だけでもやっつけます。もともとは集合と測度は異なった概念です。

司会 近似という言葉が出ましたが、これは測度を考えに入れているから近似という概念が出るのですか？

片井 私が申しましたのは、縦軸（メンバーシップ関数軸）の値ではなくて、横軸で切ってみたときの幅（トレランス）を持った近似なのです。いわゆる、普通のトポロジーの意味での近似です。



自由な討論

司会 今までに、9名の方に自己の立脚点をお話しいただいたわけですが、少しお互いに、質疑を試みたいと思います。どなたからでもどうぞ。

菅野 甘利先生のおっしゃった、根本原理を探るというのは大変興味深い説ですね。私はちょっと誤解していました。というのは、人間に本当にそんなものがあると信じていらっしゃるのですか？ 私の疑問は、人間を人工知能的に構築できるという根本原理、本当はそれがあるのかどうかということです。それは先生の信念、思い込みにすぎない？

甘利 つまり、人間の脳に関して何か根本原理があつて、例えば、物理学におけるアインシュタインの方程式とかシュレジンガーの方程式のように全部が説明できるかということ、そんなことはないと思います。田中さんのおっしゃったとおり、脳というのは複雑な歴史的な要素を持って発展してきたのです。その中で脳はでたらめにできたのではなくて、

ある種の生物学的な制約の中で基本的な原理を進化のプロセスで見つけてきたのです。原理的な可能性にはいろいろある。例えば、情報処理をするのに記号表現によると何ができるのかという可能性があり、これはもともとでさかのぼれば、チューリングの計算可能性の原理に行き着くわけです。脳の可能性を一つの原理でまとめられるかということ、そうはいかない。非常に多くの要素のうえに、情報を分散表現して、ダイナミクスを働かせて、パターンダイナミクスを利用してできる情報処理の可能性、このうえでの学習の可能性、こういったものを理論の問題として煮詰めていきたい。これは自由度の非常に大きい非線形のシステムの根源的な可能性を抑えることです。

菅野 それを実現するハードウェアとして、化学的な素子は可能性があるのでしょくか？

甘利 それを実現するにはシリコンテクノロジーでも、光テクノロジーでも、生化学的な素子でもよいでしょう。

司会 先ほどおっしゃったように、チューリングが今の計算機械のもとになった概念の理論的な可能性を一つの蓋然性として定義した。それと同様に、今度は脳の、理論的な可能性を蓋然的なものとして考えていきたいと。そうすると、結局はよく「非ノイマン型」と言われますが、むしろ非チューリング型モデルとも言えるわけでしょうか？

甘利 そうということだと思います。

司会 そうすると理論的な試みですから、それをシリコンで作ろうとカーボンで作ろうと構わないのですか？

甘利 そうです。

元田 物理学では自然は節約をしているという見方があります。光の運動など、人間が非常に素直だと思ふようなことに関しては、何かが最小になるように自然に決まるという原理がありますね。脳の情報処理というものも何らかの自然な基本原理があり、それに従って最適値に落ち着くという過程をまねすれば、それが情報処理の基本になっているという感じでしょうか？

甘利 それは難しい問題ですね。やはり脳のアーキテクチャは非常に複雑で、あることができれば別のアーキテクチャで、という積重ねをやってきたので、単純な一つの原理ですべてを説明するわけにはいかない。「脳は並列」と言っても、全体を構造なしに全部並列したわけではなくて、機能ごとに special computer をいっぱい作って、その間を結線

したというアーキテクチャを作ってきています。その中に有効な原理や副原理がいっぱいあると思っています。

元田 それと、いわゆる知能というのは別であるという気がするのですが。

甘利 知能ですか？ その上に知能をのせたのですね。つまり、人間はこういう並列で分散した情報表現のアーキテクチャをとりながら、記号表現の長所を取り入れるのに成功しました。これは大発明ですよ。しかも、こういうパラレルなアーキテクチャの上に記号表現をのせなければならなかったのだから、大変な苦勞をしたと思うのです。記号表現だけから見たらもう少し素直な表現があったかもしれません。苦勞があると同時に、実は利点もあったのです。

元田 やはり記号があるということは自然なことであるということでしょうか。

甘利 そうですね、非常に強力なことです。

元田 必然的に生まれるべくして生まれてきたものであるわけですね。

甘利 これは進化のプロセスで必然的な道だったと思うのです。

菅野 今、脳というのは人間の脳のことでしょくか？

甘利 人間の脳、しかし人間の脳の9割はサルの脳と同じように働いていると思います。

田中 チンパンジーというのは少し記号を使うらしいということですが、ニホンザルの脳がニューロであり、ニホンザルよりも人間の脳が優れている部分がAI、そう思っていたかと大体いいです。

司会 そうすると、ニューロというのはかなり限定されたものですか？

田中 逆ですね。せいぜいサルから人間の違い程度が知識ではないかという感じです。

司会 そうすると、AIというのは付け足しだと。高等生物の基本はニューロで全部抑えられているとお考えですか？

田中 そうですね。

司会 そうすると、記号というものが本質的に遺伝的要素として入っているということですね。

元田 脳の基本的なアーキテクチャから説明できる機能はたくさんあって、言葉というものはその一つにすぎないと思います。実際に implement するレベルでは、脳の並列処理を模擬し、我々と対話するレベルでは、記号を扱うことができる仕組みが可能であるということだと思います。

司会 ほかにありますか？

田中 これまでの神経科学の発展で、これこれの性質を持った神経細胞というものでできているということなど、拘束条件がわかってきていますが、脳での情報処理がこのような拘束条件でどう拘束されるのかを理論の人たちが数的に解析し整理しているということだと思うのです。けっして原理をつかんだということではなしに、



司会 甘利先生、どうですか？

甘利 そのとおりですが、この拘束条件ならどういいう可能性が生かして、どこが限界かというようなことが原理である。拘束条件をアーキテクチャとエレメントの両方に入れて、そのもとで何ができて何ができないかを明らかにしたい。

福島 拘束条件を調べるといのは、私自身の狙っている研究の一つです。現在、狭い意味での神経回路に対して、ある拘束条件のもとでどういうことができるかという研究ばかりが非常に盛んに行われていまして、その拘束条件が実際の脳に合っているかどうかという問題はほとんど議論されていないように思います。神経回路の一つの重要な機能は、やはり学習における汎化の能力です。我々人間がそういう汎化の能力を持っているのは、やはり神経回路にある制約があるからです。我々が使っている文字にしても、人間が持っている制約条件の中で同じに見えるものは、たとえ形が違っていても同じ文字だと判断して差し支えないような形に作られている、と言えます。人工の神経回路にこのような汎化の能力を持たせるためには、脳の神経回路がどういう制約条件のもとで作られているかということを知らなければなりません。そこを抜きにして仮説としての枠組みの中だけで研究を進めていきますと、実際の脳とは似ても似つかないところで議論をしてしまうこととなります。閉じた枠の中ではまとまった議論になっていますが、脳から見ると、的はずれということにもなりかねません。そこで、神経回路に制約の条件は何かを見つけるということが一番大事だと思います。

有川 福島先生の最後の点について。私はそういった仮説的なモデルでも少なくともモデルが提案されたときには、人間の脳とのアナロジーが考察されていると思うのです。一つの進め方として、そのモデルでできることとできないことをはっきりさせることは非常に大事なのではないかと思います。だめ

だということがわかったら、その言葉に惑わされる必要がないのですから。

福島 もちろんそれを否定するわけではありません。ただそこで、限界がわかった時点で次に何をやるかというときに、やはり脳に学ばなければいけないと言いたかったのです。

司会 本質をつかんだモデルであれば、自然なシステムつまり人間の脳と類似になるという信念は持てるのでしょうか？

福島 私はそういう信念を持っています。

司会 自然科学という立場からはそういう信念がないとやりにくい。人工知能は非常に抽象的なことをやっているわけですから、このような信念が崩れれば、人工知能は全然人間とは別のことをやっているということになりますね。

西田 それに関連してですが、AIの目的が人間の脳のような高度な知的情報処理能力を持つデバイスを作ることだけだとすると、確かにAIは弱いと思うのですが、AIのもう一つの目的は、すでに人間が作り出した知恵の体系を解明するところにあります。そうしますと、知恵の体系を解明するときに人間の脳がわからないといけいのか、それともそれに関係なしに知恵の体系をある程度独自に考えられるのかが問題になります。

甘利 人間の持っている知恵の体系は人間の脳が作り出したのですから、人間とは関係しているわけですね。しかし、そのこと自体を脳の生理学レベルまでさかのぼらなければ解明できないかということそんなことはない。理論体系や学問の認識はいろいろなレベルで見ることが出来ますね。そして、一番上位のレベルは、記号処理的なアプローチのほうがずっといい。ただそのことと、うまい認識システムを作ろうとか、うまい情報処理システムを作ろうというときに、記号処理だけでいくのが一番いいのかどうかというのは別問題であると思います。

司会 例えば、現実の計算機がありまして、それは設計図もきちんと手元にあったとしまして、ある情報処理を行わせます。そのときに、ハードウェアのところ、シンクロスコープをつないで、その波形をすべて観測したとします。そうすると、そのときに何をやっているかがわかるかどうかという問題です。たぶん、レベルの違う問題だからパルスだけ追ってみても何をやっているかということは抽出できない。今度は、半導体の中の電子の動きを正確に記述していても、ハードウェアがどういうふうな動きをするかということとはわからない。しかし、現実

のシステムは、半導体のうえに計算機があつてそのうえで情報処理が行われているということは確かなんです。人間の場合にも同様なことは言えるのでしょうか。

甘利 同様のことは言えると思います。先ほど田中さんから生化学分子生物学の話がありましたが、それを理解することはもちろんサイエンスとしては非常に重要だけれども、それは人間の知識構造だとか、高次の情報処理を理解するための必要条件ではないが、助けにはなる。けれども、それを理解しないからと言って人間の高次の脳のネットワークの情報表現だとか、並列計算を理解できないかということそんなことはない。

司会 必要条件だけれども十分ではないということですか？

甘利 必要でもない。十分でもない。しかし、非常に密接に関係はしている。

田中 そういう分子レベルの研究は、ときとしてシステムを考えるうえでキーになる現象を発見することがあるので、注目しなければいけないけれど、それに注目していれば教えてくれるからいいのではないかということだと思います。

福島 今の件は、分子レベルということ言えば私も賛成です。先ほどのオシロスコープをつないでというのがどのレベルを指した比喻であるかということなのですが。

司会 神経回路にマイクロエレクトロードを差し込むということを意味します。

福島 そうすると、分子レベルよりももうちょっと上のほうで、神経回路の中で個々の神経細胞がどういうふうに働いているかということで、現在の電気生理学の主流でやっていることに対応すると思います。針を差すだけですと断片的なデータが非常にたくさん得られますが、脳全体が一つのシステムとしてどういうふうに働いているかという点が非常に見えにくくなっています。それで我々としては、針を差して出てくるデータから神経回路の中での反応を知り、その知識をもとにして、神経細胞がたくさん集まった脳全体のシステムの働きを推定してモデルを作ろうとしているわけです。そのために合成的な手法を取り入れたモデルを使った研究を行っています。

司会 モデルを作って、そのもとでそのパルスの動きを解釈すれば何かが見えてくるかもしれない。

福島 そうですね。物理学で例えて言えば、理論物理と実験物理との関係です。

司会 ありがとうございます。先ほどから馬野先生が手を上げておられますが。

馬野 神経のモデルを作る場合、対象として、論理的なレベルの思考をお考えですか、それともパターン認識のようなレベルをお考えですか？

福島 やりたいことは全体ですが、現在どこまでできそうかということになると、やはり、我々が無意識的に行っているような情報処理ではないかと思えます。意識のうえでやっている思考とかそのへんのところになりますと、現時点ではまだデータが不足しています。

馬野 思考あたりをやるときには、ニューラルネットワークのモデルは一般的すぎるような気がするのです。たぶん、それで人間は記号を発明したし、また記号というものを研究対象にしているのだという気がします。

福島 最近になって生理学のほうでも、意識のある状態での動物実験がだんだんと行われるようになってきましたから、そういうモデルを作るためのヒントになるデータはここ10年ぐらいの間にかなり出てくると期待しています。

馬野 人間の場合にはいろいろな生物としての制約があったからこそ、そうしたのかもしれないと思いますが、実際の場合には非常にむだなことではないかと思えます。もちろん可能性を追及するのは意味があると思えますが。

福島 ある意味では、むだが非常に有効に働いています。例えば、直感でどこから、ほとんど関係ないような情報を取り出してくるということになると、今はむだに感じられている現象が必ずしもむだではないという可能性が非常に大きいと思うのです。

馬野 例えば、ニューラルネットと記号論理のレベルのシステムとが結合して相互作用しながら動いているほうがイメージ的には考えやすいですね。

福島 人間の能力のほうが現在のコンピュータよりも上回っているような機能を工学的に実現するためには、やはり人間を参考にするのは意味があると思えます。

元田 馬野さんの今のご意見は、そのつど、記号をニューラルネットに発見させる必要はないということだと思います。いったん記号化されたら、記号のレベルで推論すればよいのですから。

馬野 おっしゃるとおりです。だから、むしろ記号処理をする機械とニューラルネットを分けたほうがいいのではないかというわけです。

西田 福島先生の無意識と意識ということですが、人工知能は、これまで意識のほうばかりやってきて、今これが破綻してかなり困難に直面しています。人間は無意識的な情報処理をずいぶん行っており、意識的なところだけを研究するやり方では今後は難しいと思います。意識と無意識の間の関係を調べるには二つの方向があると思います。一つは意識から無意識への方向で、これは何かに習熟するプロセスについて研究することです。もう一つは無意識的なことを意識的なことにするプロセスについて研究することで、これがわかれば、非常におもしろいと思います。



記号と論理について

司会 次に移らせていただきます。私から二、三質問をしたいのですが、まず、主として人工知能サイドの人に、純粋な論理は通常二値論理ですが、それだけで、どこまでいけるのか、それだけでは限界があるとすればどうすればいいのか、ということです。どなたか一人だけ。

有川 私自身は論理ですべて AI の問題が片づくとは思っていないのです。コンセプトとか、推論とかいろいろな形で、インフォーマルに出てくるものが一体どうなっているのかを、きちんと議論するためには論理までもっていかないとはいけません。簡単に言いますと、各種の論理、あるいは推論は大体において、例えば 1 階の述語論理で説明がつかず、それではそれだけやっていけばいいかと言いますとそうではない。ほかのいろいろな面も考えなければなりません。実用的であるかとか、あるいは効率的であるかとか、それらを論理のほうでやってしまったら、全然使えものにならないということがあります。

司会 よく言われる不完全性定理という問題について、例えば人工知能の立場から一言どうぞ。

有川 不完全性定理とか、決定不能とか似たような概念があるわけですが、そういったものが怖かったら人工知能はやっていけない。それに対してどれだけ向かっていくかということです。

司会 完全にはできないわけですから、それだけでは壁にぶつかるはずですね。

有川 決定不能とか計算可能でないということに関してしてもそうでした、ある意味で AI の中心的なテ

ーマである定理の証明でも、実際定理かどうかというのは決定不能だとわかっているのですが、それを何とかしようとする。それが AI であろうと思います。

司会 そのときに実際に問題を解くためにはほかの何らかの手法なりが組み込まれる必要があるわけですね。

有川 そうです。例えば人間の場合ですと、そんなに長く待てないから、時間を切るわけです。それで期限を過ぎたのは例えば 1 か月内にはできなかったというふうにして判断して、進んでいく。そうすると計算機でできる世界に入ってくる。そういったものをどうもっていくかということです。

司会 それと 100 パーセント完全ではなくても、“ある程度”矛盾がなければ人間の場合は満足している。

有川 AI で言う論理とか推論の結果に関する評価の仕方は、それは大体正しいだろうということでしょう。

司会 それからもう一つだけ。論理式が与えられたときに、そのもつて記述して演繹的に計算するというものについてはよろしいのですが、論理自身をどのように作り上げていくかというインダクションとか、さらにはアブダクションについてはどうでしょうか？

有川 それは非常に難しいことで、どの範囲内で議論するかに関係するのですが、おっしゃっているのが例えば公理あるいは知識を見つけるためのインダクションあるいはアブダクションということでしたら、そういった問題は大事だと思います。しかし「論理自体」と言いますと、それを記述する土台になるものですから、いろいろな経験に学んでいかなければなりません。

司会 ありがとうございます。論理に対する他の分野からの質問をどうぞ。

片井 論理を実際に適用していく段階ではいわゆる組合せ論的爆発の問題がありますね。現状では計算機に制限がありますが、将来的にはどうか。悲観的か、楽観的か？

有川 悲観的には、少々並列化されようと全くどうしようもないわけです。ですから、そういった問題に対処していくには、適当な時間を設定してそこで満足してもらおうとか、あるいは範囲を狭めるとか、あるいは既知のことをどう使っていくかを考えざるを得ない。それはまさに我々が普通に学問をやるのと同じだと思うのです。

菅野 私の基本的立場というのは、記号主義、あるいは論理主義に反対する立場なのです。私の言う記号とは、今いわゆるシンボルと言われている意味のない記号ですけれど、なぜ反対かと言うと、我々が今人間のマクロモデルを作ったりあるいはニューロモデルを作ったりしているのは、人間の知を解明したいからなのです。人間の知というのは、私に言わせると、自然言語に集約されている。自然言語はすべての言語のメタ言語です。意味のある記号から、意味を抜いてしまったのはフレージです。だから、計算機科学と人間の違いは、人間は意味がある記号を使い、計算機科学は意味のない記号を使っているところにある。我々は意味のある記号を扱わなければならない。それから論理というのは西洋哲学の影響を受けているものであって、人間は必ずしも論理で生きているわけではない。その一つの証拠に、中国にはロジックという観念がないのです。だから論理という言葉はありません。日本語の論理は100年前にできたのです。東洋人には論理はなくてもいい。そこにも人間の一つの生き方の可能性がある。だから、論理だけ解明すれば人間の知性が解明できると思いません。東洋人も知性を持っています。

司会 「論語」はあるけれども論理はない。非常に意見の分かれるところですね。

西田 AIではこれまでは記号と実世界との関連づけは人間が行うことになっていたのですが、これからは外世界と記号との間の関係づけを機械自身もできなければ困るということが認識され始めました。

馬野 外世界と記号の間に関係をつけるときに、ニューラルネットのレベルまで意味をつけるというのはどうでしょうか。とりあえずメンバーシップ関数というレベルの簡単な意味を与えてどれだけのことができるのかをやっているのがファジィ理論だと思います。

甘利 記号の方にちょっと応援を送りたい。記号だけで意味づけをするのは難しいだろうと、記号の方があっさり認めているわけですが、我々が保持しているのは記号とその意味ですね。我々は脳の中でやっぱり両方持っている。記号のほうは情報の集約的表現で、脳だって意識して記号表現をしている。一方、脳は無意識の世界での非常に膨大なデータベースを持っていて、それを起動して意味づけを行っているわけです。しかし、記号表現や論理の集約性を捨ててその膨大なデータベースの分散表現の中に解消してしまったら悪いことばかりになる。膨大な

データベースの分散表現の中からわざわざ記号という表現を抽象化して作った意味は非常に大きい。大きいけれど、それを切り離して独立させてはいけません。だからといって、メンバーシップ関数のような単純なもので表現してうまくいくかどうか。

ファジネスについて

司会 次に、ファジィについて少し突っ込んだ議論をしたいと思います。まず、今の甘利先生のメンバーシップ関数について、どなたかご意見は？

馬野 おっしゃることはもっともですね。だから、ある意味では割り切ってしまうと、シンプルな概念でできるのだったら非常に有効ではないか。たぶん、それだけではだめでいろいろの方法を使おうと思っています。

司会 片井先生、先ほど縦軸-横軸という言葉をし使いましたね。横軸というのはたぶんドメインの要素、例えば実数だったり、縦軸はそのメンバーシップの値だったり。その話をもう少し簡単をお願いします。

片井 ファジィというのは制約を規定しているものと言えます。制約指向はAIでも言われていますが、ただファジィの世界ではそれはエラスティック（弾性的）といいますか、もう少しお互いに融通しあう形で制約を満足する解を求めていこうとしています。それは近似的な解と捉えられます。ただ、その制約が現状のやり方では文脈に依存しない形で前もって与えられてしまっているのですが、問題を解いていく過程で、状況依存のあるいは文脈依存のものももう少し取り入れていかないと、複雑な多段にわたる推論はちょっと難しいかなと感じています。

司会 今のことに関連して、メンバーシップの値の計算はミニマックス的で、ファジィ問題は、制約付きミニマックス探索問題という見方になりますか？

片井 基本的にはそうですね。ファジィは数理計画とか意思決定の問題とは非常に深く関わっています。ただ、解にフィージビリティを与えるとき、効率化のためにある程度問題を単純化して、組合せ論的爆発が生じないように近似した処理でやっているのがファジィの良い点であり、逆に言うと、そういう



う近似ができる場合のアプローチであると考えられます。

菅野 メンバーシップ関数で何ができるかということですが、ファジィの一番の限界は、やはり定量的にやっているところにあると思うのです。甘利先生のおっしゃったメンバーシップ関数というのは、曖昧さの定量的表現に過ぎない。それには限界がある。定量化で人間の知が解明できるとは思わない。それは十分承知している。その次、堂下先生がおっしゃったミニマックスのことですが、今のファジィ理論の到達地平から言うと、メンバーシップ関数に対するありとあらゆるリーズナブルな論理演算が考えられていて、任意のものをジェネレートする方法がある。ですから、ミニマックスは本当に極端なケースです。

有川 文脈依存関係とか状況保存ということについて。そういったものはあまり関係なくて、何でもいいう話をよく聞きますが。

馬野 そんなことはないと思いますが。

菅野 そうではない。ジェネレータという概念があって、それによって状況に応じて自分の好きなものをデザインできる。

元田 今のお話に関して、いわゆるラショナルリティというのは、どういうふうにもロジックで扱うのですか？ ミニマックスの概念もラショナルリティと関連しているのでしょうか？

司会 今の元田先生のおっしゃったことに関連して、ミニマックスというのは、人工知能の、特に形式言語理論の立場に立てば、いわゆる問題分割法とか文脈自由言語の解析の問題にほぼ該当すると思われるのですが。

元田 そうだと思います。

司会 ミニマックスは制約がきついモデルですが、それ以外のものまで含めて何か一般的な原理があるかということについては？

元田 真・偽ではなくて、グッド/バッドの概念がきちんと扱えるものがあるかどうかということですが。

有川 それは「ロジックの中で」ですか、それとも「ロジック自体が」ということですか？

元田 ロジックの中に合理性を埋め込むことは可能かどうか知りたいのです。

有川 そういったことに関しては、例えば、いわゆる非単調論理とか、その類いのものというのはある意味では知識の合理性を使っていることになりませんか？

片井 それはショーハム (Shoham) らのモデル (命題解釈) 上での選好関係を用いた議論を指すのですか？

元田 論理で正しいということが、合理的であることにならないと思っています。

菅野 きちんと扱うとか、ラショナルとか、コンシステントとかおっしゃる意味がわかりません。我々は正しいとか正しくないとかははっきり言えないし、また整合性がないからこそファジィを考えているわけです。

元田 すべての人が納得するという観点はどう考えますか？

菅野 ファジィの良さは、私はこう思う、あなたはこう思うということですが。今までのサイエンスはすべての人に納得されることを当然のこととしてきました。ファジィは違う、優れて個別的なものです。

片井 最終的にはやはり個々の人間の意思決定の問題で、最終的に推論した段階で、ここまでのトレランス (許容範囲) だったら私は受け入れましようかと決断する。そういったトレランスが多段階的に設定されているのがファジィだと考えるのです。

西田 初めの頃の議論に戻りますと、AI とファジィ両方に共通する問題がロジックだとすると、記号やメンバーシップ関数と外界との関係がシステムの外側から与えられるというのは問題です。たぶん元田先生のおっしゃるラショナルリティも、その関係が全然システムの知らないところで作られているということに問題があるように思います。

司会 論理における記号の意味は論理の意味の外で与えられる。

有川 ニューロのほうでもまずモデルを仮定し、どう動くかは後の話でしょう。そういったことはモデルを設定するやり方では必ず起こってきます。論理の場合ですと、通常の1階論理体系で考えるとしますと、この公理を認めるならば、3段階ぐらいで、こういう結論が出来ますけれどもいいですかと。それではほとんどの人が納得しなければ、公理自体がおかしいのではないかと疑う。

司会 論議がぐるぐる回りになっていけません。ファジィにおけるメンバーシップとは概念がどの程度成り立つかという確信度だと思います。人間がこれをどの程度どういうふうに捉えるかということ。ですから、対象が確定的であっても、それを見る人の立場から、「私はこう思う」、「あなたはこうかもしれない」という物の見方における曖昧性や多様性を含んでいる。

馬野 確信度、いわゆる縦方向の値で、これについてよく議論されますが、ファジィでは横に広がりを持つ集合として捉えるところに有効性があると思います。

司会 わかりました。しかしながら、あまり不確かさ、個人差、曖昧さを強調するのは西洋流のサイエンスの立場には反するわけです。ところで、多くの現代の科学や技術はファジィの研究であっても、西洋流のやり方のうえに成り立っている。東洋はどうだったかという、非常に良い技術はあったが、それがサイエンスまでには発展しなかった。そういった明確な概念化ということに価値をおかなかったからではないか。なるべく概念を明確化して曖昧さを除去して個別的なものを避てるべく共通のものを抽出しようということは基本的態度としては必要ではないか。ですから、ファジィという立場でもいかにしてファジネスを減らすかということは一つのテーマとしてあるのではないですか。

菅野 それは大きい問題ではありません。確率とファジィを比べていただければいい。今の量子力学が到達したところに、素粒子の不確実性があるが、彼らは確定的にはしていない。要は、ありのままの姿をいかに忠実に表現するかで、ファジィをなくそうなんて全然考えていません。

司会 基本的には不確実性原理というものがありますが、しかし、例えばニュートン力学において、空気抵抗とか雑多な要素があるためにもしファジィな現象になっているとしたら、それを排除して、抽象的なニュートン力学として確定的なものにすることは非常に重要なことです。ですから、見掛け上我々が理解できないために残っているファジネスと、本質的に対象が持っているファジネスとは区別して、不要のファジネスをなるべく避けるというメカニズムがやはりファジィにも必要ではないでしょうか。

馬野 ただ、我々の扱う対象は人間で、それに対して本当にそういうことができるかどうかという疑問からファジィ理論というのが出てきているわけです。

司会 現実には、ファジィは物理現象である制御などにも非常によく使われていますね。それを使う人間の立場にたつてどう感じるかをファジィとして扱っている。

菅野 それはそうですね。

田中 神経科学の立場からファジィにラブコールを送りたい。人間のやり方はファジィのところがあり、人間の答えの出し方をまねするためにファジィ

を導入するとうまくいく。神経もかなりファジィでやっている。感覚系の末梢のレベルでは、情報の確率的なコード化をしているということが明らかになりつつある。そして、後の高次レベルで、末梢から送られてきた情報が複数の解釈をされてダブらせた形で処理されている。だとすると、ファジィ理論で開発された構造がかなり脳の解明に使える可能性がある。

片井 福島先生、先生のネオコグニトロンでは、曖昧さを巧妙に処理していると思いますが、ファジィとの関連はいかがですか？

福島 神経細胞の出力が1/0でないという理由ではファジィだと思います。以前は、個々の神経細胞の出力は1/0的であると考えられたこともありましたが、現在ではむしろ1/0に対応するというよりは、パルスの密度という格好でアナログ的な信号を出していると考えられており、そういう意味で、ファジィそのものだと言えられるかもしれません。また、多くの細胞の反応を見るとき、どれぐらいの数の細胞が反応しているかということでアナログ値を表すという意味からも、ファジィと言えます。

片井 非線形の処理は例えばファジィ理論に基づくものなのかどうか、また、トポロジーの把握の仕方が、ニューラルネットのほうはかなり精密にできているのかなと思うのですが。

福島 神経細胞の出力にはアナログ的であるけれども、スレッシュホールドがあることが一つの大きな条件です。それから、結合には興奮性のものだけでなく抑制性のものもある。スレッシュホールド以下だと出力は完全に0ですが、スレッシュホールドを越せばどの程度越したかという判断をしますから、ある意味ではファジィロジックと似ていると言えます。

馬野 先ほど、ニューラルネットと記号の話がありましたけれど、その中間にファジィをはさむとスムーズにつながるかなという気がします。

AI・ニューロ・ファジィの共通点・相違点

司会 それでは次に、AI・ニューロ・ファジィの共通点、相違点に移ります。

甘利 AI・ファジィ・ニューロで、何が違うかを大胆に割り切っておくと、反論も出て議論が進むで



しょう。まずニューロ。これは情報をファジィではなくアナログで表現して、自由度が無限大に近く高く非線形の相互作用のダイナミクスを基礎にしています。こんな問題は理論で扱うのは難しい。だから、ニューロも理論的な基盤はまだ浅くて、うまくいかない。しかし、1個のニューロンの働きとか、ネットワークのアーキテクチャのいろいろな制約がありますから、そういう中では、ニューロは取扱い可能な非線形のシステムのモデルを提供するという期待が各分野にある。一方AIですが、やはり自由度が多くて非線形で複雑なもの扱えない。それならばいっそのこと、離散に刻んで記号系にしてしまおう。これだとすべてが有限になるので非線形性に頭を悩ませる必要は全然ない。これはAIに対する悪口ではなくて、脳が言語を発明するプロセスでとった戦略でもある。記号系を脳が採用した根拠が一つそこにある。ところが代わりにしらみつぶし的手法と組合せ論的爆発の問題が出てきてしまった。おもちゃのシステムでなく、大きな問題をちゃんと論理で詰めていこうとすると、これはもうどうにもならない。そこで出てきた鬼っこがファジィである。つまり記号表現は結構だが、組合せ論的爆発は困る。そこで、まずは演算を単純化して、組合せ論的爆発を少しでも防ぎ、もう一つは補間、つまり横の広がりを入れてデータを簡便に楽に取り扱えるようにする。ファジィそのものの思想は非常に魅力的で、私も昔から大変あこがれていたのですが、ファジィの理論体系が単純すぎてもおもしろくない。ファジィ測度はおもしろいのですが、外から見るとあれはファジィの体系の中でも鬼っこで、ファジィのバックボーンになっていない。だからファジィは、思想の部分と、簡略計算法という部分と、多少のおもしろい部分というところが全部ごった煮になっているという感じです。そのへんは切り分けてもらわないと困る。以上が理論の面。一方、プラクティカルな技術のレベルでは、AIもニューロもファジィも全部イカサマをやっている。いずれもブームになったわけだが、いずれもレベルが低い。しかし、技術というのはそのとき使えるものは何でも使えばいい。理論的に筋が通るとか通らないとかそういう面倒くさいことは言う必要はない。だから、理論と実際は切り分けて議論をしたいわけです。

菅野 ニューロについては甘利先生と大体同じ意見です。AIはよくわからないのですが、初めは社会学とか経済学と同じような分野かなと思ったりもしました。ファジィについては、人間が持っている不

確かさには、本質的なものが三つある。一つは現象の蓋然性、二つ目は言葉の曖昧性、三つ目は感情観念の漠然性です。現象の蓋然性は確率論が扱っていて330年ぐらいの歴史があります。今ファジィ理論がやっているのは言葉の曖昧性です。これは確率と同じように本質的で、確率よりも利用範囲が広い。感情観念の漠然性は数理科学的には解明できないと思います。ただし、遺伝子工学をやっている方、神経回路をやっている方は、感情はアトムに還元できると考えておられるでしょうが、私はそう思っていないですね。数理科学が扱える最後の不確かさ、それがファジィだと思っています。そういう意味でかなり傾倒しているのですけれどもね。現場の使い方というのは原因の決定論的追求を止めて、確率を使用するのと同じように応用しますから、ファジィのいろいろな使い方がある。制御で一番使っているのは、補間。それから、組合せを少しいい加減に解消するのもそのとおり。人間の知がなぜ良いかという、物事をちょうどいい加減にするからです。ファジィ制御はずいぶん応用されていますよね。しかし、制御の理論をやっている人からは批判を浴びています。今までの制御理論は難しすぎて、現場の技術者あるいはオペレータはなかなか使えなかったのです。ところが、ファジィは一挙にそれを解決していった。ファジィ制御は誰でも使える。それはそれで別の問題はありますよ。高度な発展が対象レベルでは出てこない。しかし、それは我々工学者の役目だから、私はそんなに気にしていない。そういうのが私のファジィ感です。

司会 それではAIから。

西田 甘利先生に大体近いのですが、組合せ論的爆発という問題については、人間の知恵で問題をうまくリフォーミュレートして、足りない情報をいろいろ与えることによって難しい問題をやさしくしようというのが知識工学のアプローチです。それがAIの一つの特徴になっている。しかし、困るところはファジィでおっしゃられた補間ということで、AIの世界は何も力のないところに概念が漂っているような感じです。引力もない何もないのですから、概念自身が自己組織化とか、自分で概念体系を形づくるようなことは全くなく、構造はすべて人間が与えなければいけない。広い意味での知識獲得のところはAIの弱点です。知識工学では、知識を試行錯誤を重ねて少しずつ形づくってきたのですが、そのスピードがあまりに遅すぎるというのが問題なのです。

片井 ちょっと補足なのですが、記号は離散的で

すから本来はトポロジーがないのですけれども、論理法則として、ある概念がある概念に含まれるといった形のトポロジーはある。そういうものを使って、機械学習、例えば説明に基づく学習 (EBL) などを行っているけれども、いかにせんなかなか記号全体の持つトポロジーをカバーするのは難しい。

特に学習について

司会 もう一つの重要なテーマである学習の問題に移りたいと思います。これは AI・ニューロ・ファジィいずれにとっても非常に重要な問題だと思えますので、それぞれの立場からお話していただきたい。

福島 学習をさせるためには神経回路に脳の制約条件を取り入れた構造を持ったものを前提にしなければなりません。実際の生物が遺伝的に持っている構造、あるいは生まれた後に発現してくるような構造を制約条件として最初に入れておく。現在のいわゆるニューロと言っている中で大勢の人が取り組んでいる問題は、どうもそれを抜かしてしまっている場合が非常に多いようです。何をやらせるかを全然考えなくても、ただ多層の神経回路を持ってきてバックプロパゲーションなどで学習していれば何でも覚えてくれるというのが神経回路の一つの売り物にはなっているのですが、汎化の能力がないという意味で、大きな弱点にもなっているのです。

甘利 確かに、本当の脳の構造に基づいたアーキテクチャのもとでの学習は非常に有効な方法です。ところが、架空の構造に基づいた一般的な学習理論も非常に意味がある。特に汎化、例題を与えておいて、それを支配する一般的な構造を獲得しようという学習問題に対してです。この問題は脳であろうとなかろうと、一般的な法則がある。何が問題かという、一つは、学習を行わせるシステムとして情報処理能力の高い万能装置を考えたのではだめです。特殊な計算機構だからこそ学習できるということがある。もう一つは、例題の持っているファミリーは何かということが問題です。例えば、一般的な関数をすべて学習する装置を作ろうといえ、ニューラルネットワークであろうと何であろうと、たいがいだめになる。つまり、外界の情報構造のファミリーと、計算手段のファミリーとのマッチングをどうとるか、というのが学習の根源的な問題です。ミンスキーがその昔パーセプトロンはだめだという議論をし、一方ラーメルハルトたちは、多層パーセプトロンにすればミンスキーの限界は越えられると言った

が、少しおかしい。何がおかしいかと言うと、ミンスキーは一般的な論理関数の学習をさせるとすると、ニューラルネットワークは組合せ論的爆発を起こすことを証明したのですが、しかし、問題は一般的な関数を学習することではなかったわけです。抽象的な意味での学習理論の体系に対してニューラルネットワークは非常に良いモデルを与えています。

司会 田中さん、簡単に人間の学習についてお願いします。

田中 今の神経科学では学習をいくつかに分類して考えています。何回も繰返しやるとだんだんに覚えていって、まただんだんに忘れていくというのと、認識記憶と言って、ぱっと覚えるが忘れるほうもぱっと忘れる、それから時間的な要素を絡ませて覚える記憶、などがあります。

有川 甘利先生のお話のファミリーということは大切です。理屈のほうの学習理論つまり計算論的学習理論の一つのパラダイムである帰納推論などでは、例題からの学習を記号レベル、あるいは論理で扱っていますが、いろいろなことがわかってきています。それから、ニューロは学習に一番強いが、AIは学習に弱い。大量の知識に基づく学習ということを真面目にやっていかなければいけない。また、EBL (Explanation Based Learning) は、例題からの学習をやったものにとりましては1本とられたというか、非常におもしろいパラダイムです。

元田 私も、有川先生が言われたように、すでにたくさんを知っているところからの学習というのが大事だと思います。その場合に、EBLのようなディグクティブな学習も有効ですが、それと同時に知識の網の中からのどのようなアナロジーにより新しい発見をするかというようなことが大事です。この点については、記号処理の弱点が出てくると思います。そういう意味ではニューロは割に良いアプローチではないでしょうか。

司会 たくさんの知識を与えればよいとは限らない。学習というのはたくさんの知識を整理して統合してある程度概念化すること。それらを単なる知識として整理しておくだけでは外延ばかりが増えて、内包が形成されないというおそれもあります。

有川 今のお話はたぶん EBL の仕組みですとそういう話になるわけですし、例題からの学習では、いっぱい例があるけれども小さくまとめて記憶できるという良い点があります。

西田 今の AI ではあまり注目されていませんが、理論形成や概念形成のように、記号や知識を新

たに作り出すことも今後の課題です。

有川 概念形成に関しましては、いろいろな試みがすでにあり、ある程度期待できます。

菅野 私は言語による学習に一番関心があります。一番レベルの高い学習ですから、学習と言ったときにはいつも記憶と一緒に考えないといけない。中村雄二郎先生が書いた本におもしろいのが載っていて、「デカルト以前は記憶が大事だと考えられていたけれども、デカルト以後は分析が大事だということになった。しかし、人間の知は記憶がなければだめだ、それには脳科学に期待したい」とおっしゃっているのです。ファジィは記憶と学習に対して、もしその本質がストラクチャルなものであれば貢献できない。ファジィはストラクチャを発見する武器ではないから。しかし、ファジィが貢献できると思うのは、記憶と学習はともにストラクチャの上のっている言葉に関係しているからです。

馬野 現状では、ファジィのほうでは、学習というよりも、チューニングであって、まだまだレベルが低いと思います。AIのほうでEBLとかあるいは関数でまとめるとかいうときに、さらにファジィを使うと、もっとコンパクトにできる可能性があると思います。そういう分野へファジィを適用したいものです。

司会 曖昧さを許すとかえってコンパクトになる……。

片井 チューニングについて、横軸すなわち対象世界のトポロジーが最初にありきで、そのうえでメンバーシップ関数を変形していくという形になります。ただ、最近ニューラルネットを横軸そのものの同定に使うという形で、ニューロとファジィをハイブリッドにした形がはやってきています。いずれにしても、学習は三つの分野が互いに協力しあうような世界だと思います。

三分野間の協調

司会 次に、分野個別ではなくて、三つまたは二つの分野が共同してどういう新しい展開ができるかを、議論したいと思います。

片井 こういう三つのアプローチというのは、従来技術を組み合わせてトータルな技術として位置づけたい。そういった意味では協力関係を作るような共通の土俵がほしい。その一つは制約指向で、制約というコンセプトは、お互いの共通言語になる。いま一つは、そういうフラットな協力関係以外に、上

位処理、中位処理、下位処理という形で、階層的に位置づけた形もあるのかなと。上位が記号処理、中位がファジィ処理、下位がニューロ処理という見方ができるかもしれません。

馬野 これらは協調が可能だと思います。例えば、ファジィ推論というのはある意味でファジィな考え方とAIの推論とがくつついたものだとも言えます。ニューロとファジィでもメンバーシップ関数の形をニューラルネットを使って決めるなどの研究が行われています。現在のところ、どちらかというところ、ファジィからニューロに対するラブコールのほうが多いようですが、三つの分野は、それぞれやはり長所と欠点がありますので、基本的には使えれば何でも使えばよいと思います。

菅野 私も使えれば何でも使うという立場です。AIはいろいろな概念整理がうまくできていて、使えそうなものはたくさんある。例えば、Case Based Reasoning、あれは非常におもしろい。ファジィではニューロも使いますが、まだ皮相的な使い方です。

甘利 何か気の利いた情報処理をやろうとするときに何でも使うというのは、それでよいでしょう。ただ、根本的なところでは安易に三者協調を言わないほうがいい。やはり、いろいろ難しい。例えば、AIとニューロについて言えば、人間が概念を記号で持っているのは確かです。同時にその概念にまつわるいろいろな情報が分散表現されていて、無意識のうちそれが活性化している。この上位の記号処理と下位のレベル分散表現のダイナミクスの関連づけは非常に難しい。上位のレベルでの論理的なチェックをやった結果が、分散化したパターンダイナミクスにどう影響するか、逆にそのパターンとして分散表現したダイナミクスの中から、どのように概念が形成され、記号表現が浮かんでくるか、これは口で言うほど簡単なことではない。ただ、それを意識しながら進んでいけば道は開ける。それから、ファジィについて言えば、たぶんニューロ的な情報表現がメンバーシップ関数の学習では確かに役に立つと思う。しかし、ファジィは記号表現の自由度を広げたものであって、情報の分散表現にまで踏み込んでいない。正直言ってニューラルネットワークの計算にファジィを取り入れることもあり得るのですが、魅力的かどうかはよくわからない。ニューロのほうでもファジィと同様、統計的・確率的な手法はもっと重要になるが、従来のような正規分布プラス線形手法でないものをやらなくてはいけない。結論として私は、あまり安易に協調と言わずに、適当に悪口

を言いつつやったほうがこれらの分野の発展に役立つと思うのです。

司 会 概念を明確にしてやることも必要だということですね。

福 島 やりやすい協調の分野は実用的な部分だと思います。ニューロで得意な分野は生物が無意識的に行っているような情報処理です。論理的な部分はまだニューロの技術では手がつきません。一方AIは、生物が無意識的に行っているような情報処理は不得意です。したがって、当分はハイブリッド的に実用システムを作っていく必要があると思います。

元 田 アプリケーションから言うと、インテグレイティッドシステムにして使えるものを適材適所に使うのがいい。ただ長期的には、どうして新しい概念が形成されるのかといったところをちゃんとやらないといけないと思います。分散表現されたもののエネルギー関数が、最初はやもやしたものでファジィに近く、処理が進むにつれて徐々にシャープになって一つ概念が生まれてきて、そのうえで推論ができるというようなモデルができるのではないかとイメージを持っています。



西 田 協調の問題を考えていくために、例えばロボットのように一つの共通の目標を持って統合システムを作るとおもしろいと思います。

有 川 三つの学会があるということは、一つではだめだということ。この違いは基本的な違いで、設立趣意書を見ると明確になるのではないのでしょうか。また、今日ここにこうして集まっているのですから、協調できるのではないのでしょうか。

司 会 協調というのは言うはやさしく、実際にやるのは難しい。日本人は概念定義を曖昧に捉えてムード的に傷をなめあうということもよくやる。そういうことに対しては、甘利先生からそれでは困るよというご指摘があったかと思います。しかしながら、これらは非常に密接に関係するものであって、それでは我々の手本である人間はどうかというと、実際にこれら三つの側面をうまくやっているわけであり、したがって、研究も多次元的に複眼的な視点からアプローチをすることで、そのための交流は絶対に必要であるといえます。

最後に、各分野における今後の課題を一言ずつお願いします。

今後の課題

福 島 一番大きなテーマは記憶のメカニズムです。脳には何種類もの記憶があるということが最近わかってきました。そのような各種の記憶のシステムを解明して、それを実現する神経回路のモデルを作る。それができると、思考とか推論を神経回路で扱えるようになるだろうと思います。

甘 利 ニューロは非線形で多自由度のシステムに対する非常に良いモデルを提供している。今まで、統計にしても解析にしても制御にしても、非線形を避けてきたが、それを取り扱えるようなモデルを提供したのではないかと、脳はおもしろいからいいんですよ。理論が発展すればもっとよろしい。

田 中 脳の研究は感覚野から連合野へ、知覚から認識へ研究の対象が移りつつあります。それとともに細胞レベルの現象から、個体レベルの現象がどう組み合わさっているかということが研究対象になりつつあります。私が注目しているのは、同じ物理的の刺激が入っても知覚が多義的になるようなケースを捉えて、その両者の関係を個体レベルと細胞レベルの現象としてつかまえるのが良いモデルではないかということです。

有 川 キーワードとしましては、学習と冗長性。ということで、例えば、ニューロで実際に表現可能性として2の n 乗があるとしても $2n$ くらいの識別しかできない。つまりそのくらい余裕をもってものを考えることが大切です。ファジィのほうもそうだと思います。AIももうちょっとゆったりしたところで考えていいのではないのでしょうか。

西 田 理論形式、つまり思いつきや発見を知識の体系としてまとめていくかというプロセスについて考えていくことが重要だと思います。

元 田 イメージに基づいた推論によって、我々の理解を助けてくれるような方法と、これからはメモリ価格がただ同然になり無限大に近い記憶量が使えるので、大量の知識をどう使うかといった点を考えていきたい。

片 井 ファジィにとって、ニューロとの融合は比較的進んでいますので、今後はAIとどう組み合わせていくのかということ。また、組合せ論的爆発を防ぐため近似的にものを解くという視点が非常に重要ではないかと思っています。

馬 野 ファジィの現状では、応用は制御の分野が中心ですので、次の実際に使える分野をみつけない。

また、いろいろな曖昧さの要素を統一するようなものできないか。少なくとも見通しぐらいは立てたいと思います。

司 会 制御以外のどういう分野が考えられますか？

馬 野 AIが対象としているいわゆるエキスパートシステム、例えば設計や診断、意思決定などが考えられます。

菅 野 一つは自然言語処理にファジィを使えたらいい。二つ目はファジィコンピュータを開発したい。

司 会 そのコンピュータというのは？

菅 野 自然言語で並列に動く。

10年後への展望

司 会 それでは、最後に今後10年間それぞれの分野つまりAIとニューロとファジィをどういう姿にしたいのか、またどういう姿になっているかということ予測していただきたい。

元 田 知識がもう少し整理されて、多くの人に共有できる形になるでしょう。

司 会 実用化はどうか。

元 田 チップレベルで知識まで埋め込んで、例えば自動車の部品の一つとして組み込むことができるようになるとか、非常に多くの人に関与するシステムでは、世代が変わってもノウハウの継承ができるようなプログラミング環境が整備できているでしょう。

司 会 前途洋々ですね。

元 田 いや、たぶん計算機のパワー、メモリの容量が途方もなく巨大になり、「さあ、これがあなたのものですよ」と言われたときに、どう使いこなすか困ることになるのではないのでしょうか。

司 会 どう使っていいかわからない。

元 田 たぶん大半のパワーはインタフェースに使われて、その中には多大な計算量を必要とする非単調推論や意図を理解するような技術が入ってくるものと思います。

西 田 今の人間の知恵はほとんど書物の形になっていて、人間が解釈しないと利用できないのですが、10年後にはそれが知識ベースになって、機械がそれにアクセスして問題解決に利用できるようになっている。そしてAIの研究者は、知識ベースが自己組織化して進化していくようなメカニズムについて研究している。もちろんニューロとファジィとAIとの距離はもっと接近しているでしょう。

有 川 10年ぐらいではあまり変わっていないのではないのでしょうか。学習は少し良くなっていて、1回目より、2回目、3回目のほうがうまく働くようなシステムが結構出回ることと思います。ドナルド・ミッキー教授が言った、「AIは、現在ではできないことをコンピュータにできるようにすること」という古くからのAIの定義があります。ですから、出来上がったものはAIではないわけで、AIは永遠に続く。

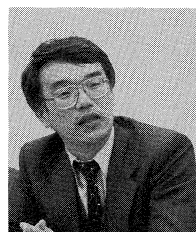
菅 野 私どもの日本ファジィ学会は現在会員1800人ですが、10年後には1万人ぐらいになっているでしょう。実際の物としては、ファジィコンピュータのプロトタイプを提案したい。もう一つはアメリカのNASAが計画しているスペースステーション、フリーダムの技術にファジィがかなり多く使われる。それが実現したらいいなと思います。

馬 野 今や家電機器でマイコン制御は当たり前ですが、ファジィが使われているということもたぶん当たり前になっている。研究としては、自然言語で問い合わせると知識ベースをファジィ的に検索するシステムを作りたい。それが先ほどの話に出たファジィコンピュータ上で動けば素晴らしいと思います。

片 井 ファジィ応用技術が世の中一般にかなり普及して、AI・ニューロ・ファジィは、だんだんと融合して使われるようになる。ファジィを、人間とコンピュータのコミュニケーションとか、ロボットの家庭への導入などに生かしていけるのかな、と。一口に言えば、人間とのコミュニケーション、すなわちヒューマンインタフェースの分野が目玉されます。

福 島 視覚パターンだとか聴覚パターンの認識システムについては、実用的に使えるシステムが出てくるでしょう。しかし、人間と同じようなレベルというはまだ難しい。例えば、草書で書かれている文章を読み取るようなシステムの実現はまだかなり先になると思います。いわゆるニューロコンピュータというか、神経回路的な並列処理を能率的にできるようなハードウェアはかなり期待できます。一方、思考などの高次機能はやはり10年後によくモデルが作れる状態ではないかと思います。

甘 利 三つのことを考えたい。一つは脳生理学。我々の一番知りたい脳の中での情報の表現法、記憶のデータ構造、記憶の制御機構ですけれども、脳の



中での情報の表現は田中さんが一生懸命あと10年やるとかなりのことがわかる。ただ脳の記憶の構造や、脳の記憶の制御機構はまだ10年ではわからないでしょう。ただし、10年後の非常に大きな研究テーマ、具体的なテーマに育っていく。次に、脳の基本原理がわかるとかきっちりした数学的な理論体系ができるのはまだ難しいが、非線形システムの新しい切り口という意味で脳に限らず、周辺諸科学、統計学、制御理論などを含めてインパクトは広がっているし、脳自身の理論の中でもある程度の整理は行われている。3番目が技術としてのニューロ。福島さんのおっしゃったとおりで、かなりやさしい分野では進んでいくでしょう。それをニューロと呼んでいいかどうかというのは別で、たぶんいろいろな技術が融合した形になっていくでしょう。技術の世界で純粹ニューロというのはあまり意味をなさない。ただし、本物がバックにいるものだから、言葉としては残る。

司会 10年後のテレビでは盛んにニューロ、ニューロと言っているかもしれない。

甘利 ニューロエアコンは今年(1990年)発売です。来年、再来年には実態はともかくとして、コマースリズムの世界にニューロが出てくるのは間違いない。

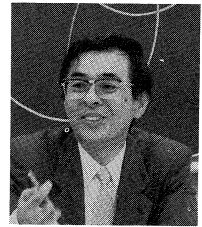
福島 言葉の定義で言えば、やはり相当変わってくるでしょう。AIもかなり変わってきたと思います。1960年代のAIは我々が現在ニューロと呼んでいる分野が中心でした。そのうちに特殊ないわゆるエキスパートシステムみたいなものだけがAIと言われるようになってしまいました。ニューロも現在そういう傾向がありそうな感じがします。脳から離れてしまって、バックプロパゲーションのような分

野だけをニューロと呼び始めている傾向がもう出ています。ですから、10年後、ニューロという言葉で何を表すかはちょっと推定できません。

司会 そうですね。洗濯機の中に人間が入ってしまいそうだ。

田中 10年後には、神経細胞、1個1個の物理的な記述から始まった神経科学が、人間に近づいたことを話題にしていると思う。したがって、いろいろな論理をもって、神経のことを扱う人が増えている。もう一つは、分子生物学の圧倒的な勢いに対して危機感をもっています。放っておくと、分子レベル一色になる可能性があります。ですから、これらの分野から、支援していただかないと、弱い。

司会 ありがとうございます。この「10年後への展望」という論題を最後に致しまして、一応私が考えたいいくつかの側面についてのお話を終わらせていただきます。皆様、長時間ありがとうございました。



紙面の都合上、かなりはしょった点もまた簡単にまとめた点もありますがご了承ください。このような異分野合同の討論会を持った印象といたしますのは、最初に私が案じたようなことはなくて、お互いの分野の絡み合いもあったし、活発な議論もあったし、そうかといって、非難合戦にもならず、非常におもしろかったと感じております。最後に10年後の予測をしていただきましたが、できれば10年後にもう一度同じメンバーで座談会をやればおもしろいのではないかと思います。

出席者紹介

堂下 修司

1958年京都大学工学部電子工学科卒業。1960年同大学院工学研究科修士課程電気工学専攻修了。1963年同博士課程単位取得退学。同年、京都大学工学部助手。1965年同助教。1968年東京工業大学助教授。1973年京都大学工学部教授。その間、音声の分析と認識、オートマトンの学習の構成、自然言語処理、人工知能など知的情報処理の研究に従事。京都大学工学博士。1959年度通信学会稲田賞受賞。1988年度人工知能学会論文賞受賞。1990年情報処理学会創立30周年記念論文賞。情報処理学会、人工知能学会、電子情報通信学会、音響学会等各会員。

有川 節夫

1964年九州大学理学部数学科卒業。現在、九州大学理学部附属基礎情報学研究施設教授、大学院総合理工学研究科情報システム学専攻教授を兼務。理学博士。現在の主要研究テーマは、計算理論、情報検索論、知識情報処理、特に各種推論機構、計算論的学習理論。第11回丹羽賞学術賞、第1回人工知能学会論文賞受賞。日本数学会、人工知能学会、日本ソフトウェア科学会、LA各会員。

西田 豊明

1977年京都大学工学部情報工学科卒業。1979年同大学院修士課程修了。1980年同大学院博士課程退学。同年より、京都大学工学部助手。1988年6月助教。人工知能基礎、特に定性推論と空間推論、自然言語理解などの研究に従事。京都大学工学博士。1984年から1年間Yale大学客員研究員。1988、89年人工知能学会全国大会優秀論文賞。1988年度人工知能学会論文賞。1990年情報処理学会創立30周年記念論文賞。著書「自然言語処理入門」(オーム社)等。人工知能学会、情報処理学会、認知科学会、日本ソフトウェア科学会、電子情報通信学会、AAAI、ACL各会員。人工知能学会、電子情報通信学会、「コンピュータ科学」各編集委員等。

元田 浩

1965年東京大学工学部原子力工学科卒業。1967年同大学院原子力工学専攻修士課程終了。同年日立製作所に入社。同社中央研究所、原子力研究所、エネルギー研究所を経て、現在、基礎研究所主管研究員。工学博士。現在、人工知能の基礎研究、特に機械学習、知識獲得、定性推論などの研究に従事。人工知能学会、情報処理学会、日本ソフトウェア科学会、日本認知科学会、日本原子力学会、AAAI、IEEE各会員。

甘利 俊一

1958年東京大学工学部卒業。1963年同大学院博士課程修了。同年九州大学工学部通信工学科助教授。1967年東京大学工学部計数工学科助教授。現在同教授。工学博士。数理工学全般、特に神経回路網の数理を研究するとともに、情報幾何学の体系を建設中。電子情報通信学会、応用数学会、数学会、国際神経回路網学会、IEEE等各会員。“Int. J. Neural Networks”、「応用数理」の編集委員長。

田中 啓治

1973年大阪大学基礎工学部卒業。1975年同大学大学院修士課程修了。同年NHK放送科学基礎研究所研究員。1989年より理化学研究所国際フロンティア研究システムチームリーダー。医学博士。現在、大脳視覚連合野における情報処理を主に生理学的手法で研究している。日本神経科学会、北米神経科学会、日本神経回路学会、日本生理学会、ARVO、IBRO各会員。

福島 邦彦

1958年京都大学工学部電子工学科卒業。同年NHK入局。NHKの放送科学基礎研究所、放送技術研究所などを経て、1989年より大阪大学基礎工学部生物工学科教授。工学博士。現在、脳の神経回路モデルの構成に従事。視聴覚情報処理や記憶・学習・自己組織化の機構、ニューロコンピュータなどに興味を持つ。神経回路学会会長。INNS(国際神経回路学会)、電子情報通信学会、情報処理学会、テレビジョン学会、神経科学協会各会員。

馬野 元秀

1974年、大阪大学基礎工学部卒業。1979年、同大学大学院後期課程修了。工学博士。同年、岡山理科大学理学部応用数学科講師。1985年、大阪大学大型計算機センター助手。その後、講師、助教授を経て、1991年より、同大学工学部精密工学教室助教授。ファジィ集合論の応用、特に、プログラミング言語、データベース、知識情報処理への応用に関する研究に従事。日本ファジィ学会、人工知能学会、情報処理学会、電子情報通信学会、日本ソフトウェア科学会、システム制御情報学会、ACM (Association for Computing Machinery)、IFSA (International Fuzzy Systems Association)各会員。

片井 修

1969年京都大学工学部機械工学科卒業。同大学院修士・博士課程を経て、1974年京都大学工学部精密工学科助手、現在同助教。工学博士。システム工学、知識情報処理の教育・研究に従事。1980~81年、INRIA(フランス国立情報制御工学研究所)客員研究員。日本ファジィ学会、人工知能学会、計測自動制御学会、日本機械学会等各会員。

菅野 道夫

1962年東京大学理学部物理学科卒業。同年、三菱原子力工業(株)入社。1965年より東京工業大学助手。助教授を経て、現在大学院総合理工学研究科教授。工学博士。現在、ファジィ理論、ファジィ工学の研究に従事。日本ファジィ学会、計測自動制御学会、システム制御情報学会、国際ファジィシステム学会各会員。