|||||
対 談
|||||

ファジィ集合論の原点を求めて[†]

Talk at
The International Congress of Biomedical Fuzzy Systems
and
The 3rd Annual Meeting of Biomedical Fuzzy Systems Association

ロトフィ A. ザデー^{*1} 山川 烈^{*2}

山川教授： これからのセッションは、インフォーマルなセッションですので日本語で進めさせて頂きます。学術的なことは別にしまして、どのようにしてファジィ集合論が誕生したのか、あるいはそれが今後どのように育っていくのかを、ザデー先生と皆様方といっしょに語っていききたいと思います。是非、お気軽な気持ちでご参加下さい。最後の方で質疑の時間も取りたいと思います。それでは、ザデー先生をお迎えしたいと思います。

ザデー先生、どうぞ！

それでは座って進行させて頂きます。私は、進行役を務めさせて頂きます九州工業大学の山川でございます。

まず始めに、このトークセッションを企画しました理由についてお話致したいと存じます。

今日、バイオメディカル分野にファジィが随分浸透して参りました。おそらく、これから、応用面だけではなく、理論的な面でもどんどん発展

して行くと思います。そこで、その行く末を考える上でどうしても私達が知っておかなければならないのは、ファジィ理論の誕生、これまでの生い立ち、そして現在の状況です。今日から明後日までの3日間の会議を見ることで、現在を見ることが出来ます。そして、明後日のパネル討論で将来の展望を考えてみたいと思います。従って、残るはファジィ理論の誕生と生い立ちであります。

そこで、今日はザデー先生をお迎えしまして、これまでの苦しかったお話とか、あるいは非常に楽しかったお話とか、先生のいろんなご感想も含めて、お話を伺って参りたいと思います。従いまして、アカデミックなお話は、それもあってもいいのですが、それよりもむしろ、皆さんでファジィというものをいっしょに考えましょう、という趣旨で、インフォーマルなセッションを設けた訳

[†] Searching for the Origin of Fuzzy Set Theory
Lotfi A. ZADEH and Takeshi YAMAKAWA

^{*1} Berkeley Initiative in Soft Computing (BISC), Dept. of Electrical Engineering and Computer Sciences, 571 Evans Hall, Univ. of California, Berkeley, CA 94720

^{*2} 九州工業大学情報工学部制御システム工学教室
Dept. of Control Engineering and Science, Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

◎本稿は(財)ファジィシステム研究所(FLSI)のご承諾を得て、FLSIジャーナルVol.1, No.2(1991)より転載したものです。関係各位に感謝致します。

です。

今日のこのセッションを5つの章に分けてみたいと思います。

まず第1章は「ファジィ理論の誕生」であります。第2章は「苦難の時代」だと思います。ザデー先生が大変ご苦勞なさって、いろんな方との理論的な戦い、あるいは議論をなさってこられました。第3章は、「光明の時代」です。つまり、ファジィが人間に非常にやさしい、ヒューマンフレンドリーな学問であり、私達の日常生活に十分使えるということが皆さんに認めてもらえるようになった時です。そして、第4章は今の「熟成した時代」です。特に、日本あるいは中国、いろんな所でかなり実りのある結果が出てきております。そして最後に第5章は、これからの行く末を私達で考えて行く「未来の章」です。

以上の5つの章に分けて、それぞれについてザデー先生のいろんなエピソードも、又、ご感想も含めてお話を伺っていききたいと思います。もし、途中で皆さん方の中からこういうことをお聞きしてみたい、あるいは自分はこう思うというご意見等がありましたら、ご遠慮なく手を挙げて頂きたいと思います。それでは、まずザデー先生にお伺いしたいのですが、私達の知る最初の文献であります、1965年の“Information and Control (情報と制御)”という論文誌の中で、“Fuzzy Sets (ファジィ集合)”という論文を先生がお書きになった。これが今は私達のバイブルになっております。

この論文が出るまでに、恐らくいろんな考えを巡らされて、どうしてもファジィ集合というものを考えなければ問題解決ができない、ということに至られたのだと思います。その理由、つまり、どういう時にファジィ集合論がなければ問題解決ができないと思われたのか、その具体的にお持ちになっていた問題点と、何かそのきっかけになったエピソードがありましたらお聞かせ願いたいと思います。

ザデー教授： この会議にご招待頂きましてありがとうございます。また、ご丁寧なご紹介とと

ても温かいお言葉を頂きありがとうございます。

本当に皆様のご期待に添えるかどうか、私は心配なのですが、喜んでそのご招待を受けた次第でございます。

ファジィ理論というものが生まれてきたいきさつについてお話をさせて頂きたいと存じます。こちらにお伺いします前に、古い色々な文献等を見ってみました。後程、お見せしようかと思っておりますが、いろんな方から頂いた手紙やコメントもあります。

でも、まず最初に申し上げたいことがあります。

私は、長い間、人間の思考というものに強い関心を持っておりました。1950年、私の書いた論文が“Current Engineering (現代工学)”という雑誌に載りました。その時の論文題目は“Thinking Machines in New Field in Electrical Engineering (電子工学の新分野における思考機械)”でした。これは、新聞に出たヘッドラインをそのまま使いました。これを全部読むつもりはございませんけれども、ちょっと例をお話したいと思います。電子頭脳で外国語の通訳をするようなものができる、というのであります。これが1949年にすでに言われた訳ですね。私は、1950年の1月号の雑誌に書いた訳です。

我々は、こういった問題などいかに難しいかということをも十分理解していなかったのではないのでしょうか。機械翻訳とかスピーチの認識とか手書き文字の認識とか、こういったものに関する問題を理解していなかったと思うのです。いかに難しいかを知らなかった。ですから、従来の方法、あるいはその技術によって、それを解こうとした訳ですが、なかなかうまくいかなかった。

1950年に私が書きました論文では、まず最初にこのシステムについて記述を致しました。そんなに難しいものではないのです。これは、If-Thenルールというもので記述したものであります。当時、コロンビア大学の電子工学科の入試判定を機械でもってしようとした訳です。それで、その最後の所で私もちょっと述べたのですが、その論文の終わりの所を1行だけ、簡単に読ませて頂きます。

“数学学会と共同で、エンジニアが思考機械を作っている。それによって非常に離れたもの、ブール代数、多値論理等が解決されるようになる。”この論文で、私は多値論理の重要性を説きました。数学論理についてのコースを追っておりましたけれども、電気工学科の研究者といたしましては、数学の勉強をしなければならない訳です。で、様々な非常に複雑な要素を取り扱うということでした。その頃からすでに、私は多値論理が必要だということに気が付いていました。

1953年に、博士課程の私の学生が、“Application of Multivalued Logic to Electronic Circuit Design (多値論理の電子回路設計への応用)”という博士論文を書きました。

次に、1956,57年になりますと、私は、高等研究所の客員教授になりました。そこにも色々な有名な先生方がいらっしゃいました。中でも、特にクリーネ先生と親しくなりました。当時、その先生は非常に有名な論理学者でした。それから2年位たちまして、私の学生がやはり又、コーディングについての博士論文を書きました。これもやはり多値論理を使ったものです。こういったことで私もこの分野に興味をもつようになりました。このシステム分析に関する私の仕事について色々考えてみますに、どうやら古典的なアプローチでは不十分なのではないか、とても複雑なシステムに対応しきれないのではないかと、思った訳です。例えば、生体システムとか、あるいは認知システムとか、パターン認識であるとか、こういったものは、従来の方法だけではなかなか分析し難いということがわかってきたのです。そういう訳で1961年頃から研究を始め、論文にも書いて発表しました。このようなシステムは、従来とは全く異なった種類の数学的アプローチをしなければだめだというわけで、ファジィ数学の重要性を説いていた訳です。

1964年頃、メンバーシップ関数という、基本的には非常にシンプルなものを考えつきました。その時、ランドコーポレーション創立者の1人のリチャード・ベルマンと知り合いました。彼にこの

論文を見せて聞いた訳です。オーバーヘッドプロジェクターで、手紙のコピーをお見せしたいと思っています。“Journal of Mathematical Analysis and Application (数理解析と応用)”という学術雑誌に載せた私の論文に関して、彼は私に手紙をくれました。“貴方の論文はとても興味深いので、私がパリから帰り次第、2人でこれについてもう1つ論文を書いて、「数理解析と応用」に発表したいと思っていますがいかがですか。”と。これがベルマンの手紙でした。それで、ベルマンに連絡を致しましたところ、彼も熱心にこの線を押してた訳です。ただ、ベルマン以外の人はそれ程熱心ではなく、なかなか理解してもらえませんでした。1964年11月に、バークレーで開かれた学会で初めて発表した時には、多くの人達は、随分批判的な態度をとりました。例えば、テレファインなどは大変批判的で、私の考えには真っ向から対立していました。申しましたように、非常に敵がい心をもった人もあれば、そうではない人もいました。

そんなに敵がい心をもっていなかった1人に、マックス・ブラックという人がいます。このマックス・ブラックは、初期の頃に、不明瞭さ(vagueness)について非常に興味深い研究をした人です。このマックス・ブラックにその論文を送りました。それに対する返事がここにあります。“先生の業績を読ませて頂きました。大変興味深く拝見致しました…”で、こういったかなり広い範囲にわたっての知的なアプローチをしているということにして、当初から賛成する人もいれば、そうでない人もいるということで、その賛否両論の嵐のような世界であったと言っていると思います。では、どのような受け入れ方をされたかということ、批判的な人の例を挙げてみます。

UCLAで講演した1966,67年頃のことです。コロキウムで講演したのですが、その時のコメントがこれです。

意思決定分析の分野でよく知られているジェフリーアムの批判ですが、何を言っているかというところ、
“このファジィ集合論が適用されるためには、このメンバーシップのグレードについてはっきりと

わかっていなければ意味がない。はっきりとわかっているのだったら意味がある。”と言っているのです。ところが、今から振り返ってみますと、彼が言っていることは間違っていることがわかります。このファジィ集合は、特に、日本では様々な分野で使われています。そういう応用例を見ますと、必ずしもメンバーシップのグレードがはっきりとわかっていなくてもいい訳で、およそわかっていればいいのです。

この例でもわかりますように、この分野で専門家といわれている人でさえ、このような反応しか示さなかったのです。言ってみれば間違った判定をしてしまったということが言えます。

反面、同じ学会の中でも、かなり賛成していた人もいます。これは言語学者のコメントですが、彼は、“このファジィ集合論というのは、セマンティック スペースというものに対してウエイトを与えるものである。それと同時に、これを使うことによって、文法的に正しいか正しくないかというものが、はっきりイエス、ノーに分けるものではなく、もっとゆるやかなものとして扱えるのではないか。”ということです。彼の考えは正しいと思います。

言語学の学術雑誌にも、色々なものが出るようになりました。少くく文法的に間違っていない、ということでした。

次にお見せ致します手紙は1966年、日本放送協会の上坂吉則さんからのものです。“Information and Control (情報と制御)を読んで、ファジィ集合に大変興味を持ちました。リプリントを送ってほしい。”という要請でした。この手紙が、そもそも日本からの最初の接触であったと思います。ファジィ集合論に対して最初の日本からの反応がこの人であったと言っていると思います。この方は是非お会いしたいと思いました。以前、学会でお見せしたことがありますので、ご覧になった方もあるかと思いますが、そうではない方のために、上坂さんからの手紙のコピーをお見せしたいと思います。

日本ではファジィ集合論の研究は随分早くから

されていまして、1968年頃からすでに論文がでております。1968, 69, 70年といえますと、日本ではすでにこの分野で大変研究が活発に行われていたと言っていると思います。ですから、ごく最近になってファジィ集合論が一気に出てきたという訳ではなく、1970年以前からすでに活発な研究がなされていたのです。

もちろん、この頃から研究されていた先生方が、ファジィ集合論を推進していった方々だと言っていると思います。現在、日本でファジィ理論が大きく発展し、様々な分野で応用されていますが、それは過去に多勢の先駆者達の貢献に負うところが多大であると申し上げねばなりません。

1974年に日米共同セミナーを機に、ファジィ集合論に対してボチボチ論文が出てきました。ファジィロジック、その応用、また近似推論とか、非常にめずらしい考え方、信じられない変わった考え方が、どんどん発表されているらしい、ということが新聞で報道された訳です。現在、ファジィ理論とかファジィ集合論とかいうものが日常茶飯事に言われていますが、1974, 75年頃は、これは非常に変わっているというふうに取り扱われていました。1972年に、私はファジィコントロールに関するショート・ノートを書きました。

1965年頃には、ファジィの主な応用分野として人間科学（例えばそのロジックとか、哲学、心理学等）を考えていました。その頃は、その他の分野に応用することはあまり考えていませんでした。

ところが、1972年に他の分野にも応用されるべきだと考えるようになりました。それで、ファジィコントロールを提唱した簡単な論文を書きました。’73年になりまして、どのように応用していったらいいのかという新しいアプローチの論文を書きました。複雑なシステム分析とか、色々なことをするのに、ファジィ集合論がどのように使われ得るかということを書いた訳です。

そうしますと、1975年にブライアン・R・ゲインズから手紙を受け取りました。アシリアンとマムダニの書いたファジィロジックコントロールの論文について、意見を述べてきています。“彼らの論文は、とても興味深い。私がロンドン大学クイーン・メリーカレッジの博士課程の学生アシリアンの審査員をしていた時に、ファジィロジックをスチームエンジンのコントロールに使えないか”ということを書いてきました。

すでにロンドンの研究は、実際に使えるということを示した訳です。そのことが転機になって、このファジィの概念というものが使えるということがわかった訳です。その頃は、おもちゃみたいなものだったかもしれませんが、それからそんなに時間がたたないで、実際に問題提起に使われるようになりました。

最初が1976年、セメント工場の例です。もちろん、批判がなかったわけではありません。どんな批判があったかといいますと、制御理論で有名なカルマンの次のような批判です。“ファジィ概念などというものは、この世に存在しない。”と言い切っています。カルマンのような人が、なぜ、そんなことが言えるのかと非常に不思議でした。自分の身の回りを見ても、世界中どこを見ても、ファジィの概念がないとは言えない訳で、こういった有名な人がファジィ概念なんか存在しないと言い切ることが、私にとって非常に興味深いことだと思いました。このように、極めて頭脳明晰な人でさえ、時には判断を誤るものなのです。

このように、反対するものもあれば、認める者もあった。これは今も同じです。ファジィを疑問視している人は日本にはそんなにいないかもしれ

ないけれども、アメリカには、たくさんいます。

一つの例をお目にかけます。ナショナルサイエンスファンデーションに提出された補助金申請書に対する判定書です。

“ファジィ論理というのは、それ程期待できるものではなく、事象を記述する際の不明瞭さに焦点を当てたものであり、その事象に関する不確実性ではない。これは、実際の世の中に、ロジックをあてはめた時に考えねばならないことを無視している。だから、ファジィロジックというものは、発展する訳はない。したがって、この補助金申請を拒絶する。”というものです。この審査員はファジィ論理が何たるかが分からなかったのです。

他に、こういった例もあります。

ファジィの考え方というのは、人工知能の分野に於て、何の役にも立たないというのです。ファジィ論理に対して、より反対しているのは、人工知能の分野が最大の旗手と言っていると思います。

人工知能というのは、古典論理に基づいており、それ以外の論理や数値計算に基づくもの（単にファジィ論理のみではなく、確率推論やニューラルネットワーク）に対して否定的であります。

このように、いろんなことがありましたから、いかに困難な時代であったか、そして、その偏見を克服することがどんなに難しかったか、お分かり頂けるとと思います。

1965年の私の論文は、“Information and Control (情報と制御)”に投稿されたものです。その頃私は、編集委員会の委員でした。私の論文がようやく採択され、発表されたのは、たまたま私がその編集の一員だったからであって、そうでなかったら絶対に無視されたに違いありません。

他にも例があります。それは、1965年よりも少し前でしたが、私がIEEE(米国電子電気学会)に投稿した可能性理論に関する論文に対する評価です。評価は、1から5までの5段階に分かれます。1は最悪、5は最良です。私の論文は、新規性だけは5でした。

このことから、いかに人間は偏見を持っている動物であるか、又、実際に何も理解していないに

もかわらず、知っていると思い込んでいる人間が世の中にいかに多いかを考えさせられます。

ごく最近ですが、“Journal of Mathematical Intelligence (数理知能)”にダニエル・ベルヌーイが出した意見があります。彼は有名な数学者ですが、彼は“数学というのは、物理と全く関係ない。”と言い切っているのです。物理の分野で全く応用されないと断言している訳ですね。この例からもわかりますように、頭がいい、立派な方だと言われているにもかかわらず、言ったことが何年か後からみれば、すっかり間違っていたということがたくさんある訳です。

それでは、いつ状態が変わってきたかといえますと、単に理論として関心をよんだだけでなく、応用という意味で大いに関心をよんだのが日本なのです。これは、イギリスで出されたニュースですが、“日本がファジィロジックの研究に対して後押しをしている。”と、こういったようなことがありまして、だんだんと潮の流れが変わってきたと言っているでしょう。したがって、今日では、アメリカでもこんなに報道されるようになりました。例えば、“コンピュータはファジィロジックに移ってきている。”というような記事がでたりする時代になりました。

また、つぎのような記事もあります。“ファジィシステムが現実社会においてはどうなっているか。ファジィロジックは、将来のコンピュータシステムになくはならないコンポーネントになるだろう。”と言っています。随分時代が変わったと思います。

山川先生がおっしゃいましたように、かなりの批判、あるいは、あきらかに敵対心をもっている、ということがあった訳です。そういう人は、なかなか面の皮が厚くてダメなんです。ですから、そんな時、皆様は、自分が気に入らないことを言われても、それは、“ほめられたと思ってお聞きしましょう。”と言っておいた方がいいと思います。ですから批判されてもほめられたと思い、意地悪されても“ほめて頂いてありがとう”と認めていた方がずっと幸せだと思えるのです。

ファジィロジックの基になっている考え方というのは、ごくごく簡単なアイデアでした。誰でもそんなこと思い付く訳です。何も独創性か創造力を必要とするものではありません。ところが、簡単だったのに、世の中に出て随分苦労したと言っていると思います。というのは、やはり、これは伝統に相容れないからだと思うのです。非常に正確で、1か0、イエスカノーだけのロジックに合わないから虐められたと思うのです。こういったアイデアは、確かに苦難の時代を経てきました。しかし現在では、いろんな分野で応用されていますから、すっかり様子が変わってきたと言っているでしょう。おそらく、全てがファジィでなければ解決し得ないということになるでしょう。そういう時代がきっと来ると思っています。

山川教授： ファジィ集合論の誕生から苦難の時代、そして光を見出して、やがていろんな所で使われ始めた、というところまで一気にお話して頂きました。今の先生のお話の中で、我々、つまりサイエンティストが教訓として受け止めなければならないことがいくつかあったと思います。まず一つは、自分が理解できない人を非難する、あるいは、人の論理や物の考え方を否定することの恐ろしさがありますね。これを非常に痛感致しました。自分が勉強していないことを棚に上げ、人の論理を間違っていると言うことの罪深さを知りました。

二番目には、日本語では“食わず嫌い”という言葉があります。食べたこともなく、おいしいかどうかわからないのに、おいしくないと言ってしまう。何かそういうものを科学者の心の中に感じるような気がします。我々はそういう科学者になってはいけない、常に自然の前に、真理の前に忠実でなければならないと思います。

先生がファジィ集合論を発表されたのは、1965年で、その1~2年前からファジィ集合論的な物の考え方の必要性を痛感されて発表された訳ですが、論文になるにはいろいろスムーズにできなかった点もあると思いますが、一応誕生はスムーズにいったのではないかと思います。問題は、その後展開していく段階で、いろんな人の非難を浴びることになった。その中で、くじけずファジィ集合論あるいはファジィ論理、ファジィ制御という所まで成長させられるに至った先生のお気持ちを今考えますと、頭の下がる思いです。その時に、先生のお気持ちの中で、何が支えだったのでしょうか。ご自分の論理あるいは理論を正しいと、ただ信じるだけで、本当にできるものでしょうか。それとも、何かはつきりとした根拠があったのでしょうか。人間のものの考え方あるいは人間の言葉はこういう表現をしなければ絶対に有効に使えない、という確信をお持ちの上で、ファジィ理論を推し進めてこられたのでしょうか。

ザデー教授： そうですね。多くのケースがあると思いますが、私は、自分の判断に対してある意味での自信というものを持っていました。こういったことを言うのは、思い上がったことと思われるかもしれませんが、自信があったから、12年くらいいろんな軽蔑を受けても何とかやってこれたのです。そして正しい方向に、私の研究は進んでいった訳です。ですから、この理論はナンセンスだ、全くダメだとか言われたとしても、私は全く平気でした。腹を立てたということもない訳です。多くの人々が批判しましたが、そういった人は私にとっていわば友人でした。みんな非常によい友人であったと言えると思います。ですから、こういった形での反対があったとしても、私と彼

らとの間の個人的な友人関係は全く影響を受けませんでした。この点が重要であります。

山川教授： ここまでファジィが世の中に広がった大きな理由の1つは、先生のこの強い意志だと思います。

そして、ファジィがここまで伸びてきた原因がもう一つあると思うのです。それは多くの仲間が出来たこと。そしてその陰には、いつも私を感じることですけれども、ザデー先生の人間性があると思います。学会、あるいは世界の名だたる研究グループが、非常にアットホームな雰囲気集えるという点が、他の分野と大分違う感じがするのです。ですから先生の理論が世界に広がったのも、やはりそういう所で、仲間がどんどん増えていく要素を持っていたのではないかというふうに思います。

アメリカ以外で、カナダ、中国、日本、韓国、そしてヨーロッパ各国、こういった所で仲間がどんどん増えていっています。その仲間が拡大していった時の様子を、何かエピソードがありましたら、お聞かせ願えませんか。世界のファジィの研究者が増えていった、仲間が増えていった様子をおそらく、はじめは先生の所へいろんな方が手紙を書かれたのだと思いますが、ただ手紙だけで、あるいは論文だけで、先生の意志が伝わるとは思えません。やはりそこには、わざわざ先生の所へ出かけて行って教えを請い、それを広めた人達がいたと思います。そういう過程でのお話がありましたら伺いしたいと思います。

ザデー教授： 私は、様々な国に行き、様々な考え方を見て参りました。

国によっては、ファジィ集合論というのが他の国よりもよく受け入れられているということがあります。その理由は何かということですが、多くの場合、キーになる人の影響があったと思われる。

中国におきましては、ファジィ理論とかファジィ集合論というものに関しまして、非常に興味を持たれており、研究者も多い訳です。なぜそうなったかという理由ですが、アメリカに研究に来て

中国に帰ったスエという影響力の強い科学者が、
“ファジィ集合論というのは非常にいい。”と言った訳です。彼がそう言ったから、そこで門戸が開かれたということです。

スペインにおきましても、トゥリージャスなどが非常に興味を持ってきて、他の人々に強い影響を与え、活動が非常に盛んになった訳です。他の国、他の学会でも言えますが、逆のことが起きていることもあります。例に挙げると、心理学の分野に於きまして、1982年にある論文を発表しております。これは、ファジィ集合論は間違っていると云ったのです。理論についての理解が足りなかったのですが、影響力のある人がファジィ集合論は悪いと言ったので、他の人々がこの分野に入って来るのを非常に恐れた訳です。

日本におきましては、幾人か、田中幸吉先生、寺野先生、浅居先生といった影響力のある人達が興味を持ってくれた為に、他の人達にも影響が及んだ訳です。もちろん、日本というのは非常に肥沃な土壌がすでにあったと思いますけれども、影響力のある人々が非常に好意を持ってくれたというのは、やはり、日本でもこのように盛んになってくる原因だったと思います。

ソ連に関しては、情報理論の分野で、シャノンが1946年に論文を発表しています。それに関して、アメリカの統計学の分野で影響力のある人々が、このような情報理論はよくないと言ったのです。しかし、ソ連でコルモゴロフという影響力のある人が、この情報理論は非常にいいと言ったのです。ですから、情報理論がソ連で非常に盛んに研究されるようになった訳です。初め、ソ連で情報理論が人気を得て、それからアメリカでも人気を得るようになったのです。コルモゴロフがいいと言ったから、多分これはいいに違いない、とアメリカでも言われるようになってきたのです。

影響力のある人の発言は、肯定的にも否定的にも大きな影響を与えるものです。

日本におきましても、こういった影響力のある人がいました。政府にしてもそうです。まず、通

産省の人達が耳を傾けて下さいました。それから例えば山川先生も、こういったことについて、非常に重要な役割を果たして下さいました。

山川教授： 今、お話を伺っていると、このファジィ集合論、あるいはファジィ理論というのがここまで伸びてきたのは、様々な要素が加味されて伸びてきたということがわかりました。

現在、とくに日本では、産業への応用が非常に盛んであることはご承知の通りです。それが数年前から医学の分野へ応用されようとしています。私はむしろ、制御の分野からファジィが芽をふいたということが不思議で仕方ありません。

最初、先生がおっしゃいましたように、人間のものの考え方が従来の記号的なものでは表現出来ない、ということをおっしゃっています。同じことが医学とか、あるいは教育、経済でも言える訳です。数式で表現出来ない、そういう分野に応用されるのは極めて自然なのですが、いまひとつ私が不思議に思うのは、なぜ医学の分野からこういう考え方が出てこなかったのか、ということであります。

制御への応用に遅れること15年、バイオメディカル分野へもファジィが浸透しつつあります。その核となるのが、このバイオメディカル・ファジィ・システム研究会だと思います。この研究会がこれから年次大会を毎年重ねていくことによって、メンバーをどんどん増やしていけば、おそらく今までファジィ理論に否定的であった医学以外の人達、あるいは数学の専門の方、あるいは人工知能の専門の方にも理解して頂けるのではないかと思います。これまで3回、この年次大会を続けて参りましたし、おそらくこれからもずっと続くでしょう。もちろん、理論的な面でも深い考察がなされていくことと思います。

そこで、フューチャートレンドとでも申しませうか、これから医学の分野で先生が期待されること、あるいは、こういうふうに伸びて行くのが本来のファジィではないか、というご意見がありましたらお聞かせ願いたいと思います。

ザデー教授： 非常に重要な点をご指摘頂きました。つまりファジィが何故医学の分野から発生せず、制御の分野から出てきたのか。これについてまず、考えてみたいと思います。

なぜ、こういったファジィコントロールというのが最初に応用されたのかという件、医学の分野あるいは他の分野でなぜ応用されなかったのかという件ですが、これには非常に重要な事実があると思います。

機械的な、あるいは電氣的なシステムに於きましては、我々は複製もしくは量産することが可能です。システムをコピーし、テストすることが出来る訳です。しかし、生体システム、あるいは経済システム等に関しましては、同一システムをたくさん作ることはできません。複製が不可能なので、ある特定の医学的処方が正しいか否かを証明することが非常に難しい訳です。例えば、医学に於けるある治療が他の治療よりも良いということを証明するのが、非常に難しいのです。もし、人のクローンが出来るとすれば、まず、方法Aを最初の人に試してみる。そして、次に方法Bを第2番目の人に試す。そして結果を比較するということが出来る訳ですが、生体システムではそれが出来ません。

その為に常にその再現が出来ないところでは実際にそれを証明することが非常に難しい訳です。ある1つのことが、別のものよりも優れているということを証明することが出来ないのです。このファジィ集合論であろうと、他の技術であろうと同じことなのです。これが基本的な問題であることは確かです。これが1つのポイントです。

もう一つのポイントは、利益をあげることが難しい点だと思います。家電あるいは軍事目的に応用されるだけではなく、人類に対して直接利益があること、すなわち、医学等に応用されることは非常に重要であります。ですから、こういったバイオメディカル・ファジィ・システム研究会を作られたということは非常にすばらしいことだと思います。しかし、ファジィの医学への応用を推進することは、制御への応用に比べて非常に難しい

と思います。ファジィコントロールの場合には、ある会社で洗濯機を作るということになれば（炊飯器でもいいのですが）、洗濯機が売ればお金を儲けることが出来る訳です。しかし、このようにお金を儲けるということは、バイオメディカルシステムの場合は非常に難しい訳です。もちろん機械を作るとか、そういったことである程度は可能でありましょう。しかし、他の分野に比べてお金を儲けるということは非常に難しい訳です。ですから、産業界におけるプロセスコントロール等とは違い、その資金的な回収が期待出来ないということなのです。

最後にフューチャートレンドについて申し上げたいことが1つあります。

それは、このファジィ集合論が科学全般に非常に大きな影響を与えるということです。私が期待するのは、私どもの研究成果が形式的な一般原則として表現出来るのではないかということです。もし、この一般原則が証明出来なければそれは誤りであるということになり、証明出来れば、それは正しいということになります。これは極めて当然のことです。したがって最終目標は、この一般原則を証明することだと思います。この一般原則がいわゆる従来の If-Then ルールすなわちクリスプな If-Then ルールであるとすれば、将来多くの分野でシステムが If-Then ルールのような形式で表現できるとは限らなくなるでしょう。経済現象にみられるように非常に複雑なシステムを対象とするようになるからです。この場合、本当の一般原則は作れないでしょう。極めて複雑なシステムを正確に記述することは非常に困難です。できたとしても現実の経済現象とは随分違ったものとなるでしょう。ですから、非常に複雑な生体システムや経済システムにおきましては、通常のクリスプな If-Then ルールではなく、ファジィ If-Then ルールが必要でありましょう。前件部も、後件部もファジィな言葉で表現された If-Then ルールであります。これは一般には受け入れにくい考え方かもしれませんが、結果的にはこれしかないと思います。受け入れにくいような新しいこと

でも、他によい方法がないために、最終的には受け入れられてきたということが、これまでにいくらかある訳ですから、同じことがファジィ理論でもいえるでしょう。このことは、洗濯機や他の家電製品などへの単純な応用ではなくて、科学的な物の考え方に迫るものです。問題は、研究を行っていく時に最終目標を何に設定するかということです。こういった精神に基づいてやっていきますと、大きな影響力を与えることが出来ると思います。

山川教授： 日本国内で制御分野にファジィが広まっていった理由の1つは、制御にファジィが使い易かった。そして、例題として極めて適当であった。つまり、ほどほどに単純であった。そして、お金儲けにつながった。この3つの条件があったからだと思います。ただ、その点、医学への応用というのは全くその逆であるということです。ですから、おそらく我々がこれから歩いていく道というのは、そう平坦な道ではないと思います。そこで我々がやるべきことは、今先生がおっしゃったように、学問として確立していくことではないかと思います。医学に限らず、これからファジィを皆さんに知って頂くには広い分野への理解を求めることが必要だと思います。つまり、敵がい心を皆さんから取り除くこと、これが我々のファジィを発展させる唯一の手段であろうかと思っています。

そういう意味で、私は小学生にも理解出来るように、ファジィ理論を解りやすくして、カリキュラムに組み入れることが出来ればと思っています。

実は以前、NHKから、私の出身の小学校でファジィ理論の話をして欲しい、子供達がどういう反応を示すのかを知りたい、と頼まれました。しかし、その時私は断りました。なぜかと申しますと、あまりにも難しいと思ったからです。それは、大人のしかも専門の先生方に説明するよりも、もっともっと難しいと思ったからです。5~6年前には、そう思いました。でも今は、私はそれをやってみたいと思います。小学生に、どこまでファ

ジィの本当の良さをわからせることが出来るか、そして、出来ることならば、ファジィを学校のカリキュラムに入れて欲しいと思っています。丁度、2進法を小学校から習うように、連立方程式を中学校で解くように、微分積分を高等学校で習うように、ファジィ集合論、あるいはファジィ論理も小学校から中学、高校へと学んでいって欲しいと思います。ちなみに、私の大学では、今年から学部の正式なカリキュラムの中に「ファジィ制御」という授業科目が入ります。従って、これが1つのとっかかりになると思います。これは文部省も認めております。大学院がこの4月に新設されますが、その中で「ファジィ情報処理機構」という授業科目は特別の学科目として認定されております。すなわち、極めて重要な科目として認定されました。従って、少なくとも大学ではファジィというものが学問として位置付けられた訳です。これを、高校・中学・小学校までさかのぼって教育することによって、ごく基礎的な学問としての教育が可能になり、やがて、その子供達が大きくなった時に、産業だけではなくて、医学・教育・社会、こういうあらゆる分野に使ってもらえるのではないかと思います。

要するに、ファジィ理論がお金と機械で広まるのではなく、本当に人の生き方、社会の進展に即した物の考え方として、これが受け入れられるような、そういう日が1日も早く来ることを望む次第です。そして、この学問が将来平和に使われこそすれ、戦争に使われてはならないということを強く感じます。

さて、会場の皆様方の中で何かご質問なり、コメントなりがありましたら、ここでお受けしたいと思います。いかがでしょうか。

柴田氏(東芝メディカル)： メンバーシップ関数に関しましてお伺い致します。ファジィ集合の1つのポイントはメンバーシップ関数にあると思いますが、メンバーシップ関数が生まれたいきさつを教えてくださいませんか。

ザデー教授： 1965年に初めて論文を書きました時に、呼称についていろいろ考えました。1つは「ファジィ」でしたし、もう一つは「メンバーシップ」という言葉でした。説明を加えなくてもわかるような表現を選びたいと考えました。従って、たとえ以前にこの言葉を聞いたことがなくてもどういう意味かということが、その言葉自体からおぼろげながらもわかるというものを選んだつもりです。それは、容易なことではありませんでしたが、なるべくそういうふうにしたいと考えた訳です。「メンバーシップ」という言葉を考える場合、数学で使われる特性関数という言葉を使うことも可能です。特性関数は通常、0と1のみの状態を表現するのに使われます。ところが、この特性関数という言葉は拡張して0から1までの状態を示すのに使った場合、それがいったい何であるかがはっきりとは伝わってきません。しかし、メンバーシップ関数という言葉は、意味が伝わってきやすいと思います。日本では英語と違って、「メンバーシップ」という言葉がそれ程、自然に耳に入ってきませんから、ピンと来にくいかもしれません。山川先生の方から何か補足して頂けませんか。

山川教授： メンバーシップ関数と確率密度関数は互いに異なるということは今朝のクリア先生のお話にもありましたが、メンバーシップ関数をどうやって作るかという時に、アンケートや統計をとったりすることが考えられると思います。メンバーシップ関数は言葉の意味を記述する方法です。そして、その言葉を使うのはエキスパートですから、そのエキスパートのもっている言葉の意味を反映するような統計のとり方をしなければなりません。例えば、A, B, C, Dといういろんな種類の平均をとりますと、誰の意見かがわからなくなりますので、同じカテゴリーの中に入る人達の平均をとるか、あるいはアンケートをとるかしないと1つのメンバーシップ関数の定め方を誤ることになります。従って、統計というメガネでメンバーシップ関数を見た場合にはそういう注意が必要かと思われま

さて、ネーミングの話が出ましたが、先生がお名前を付けられる時に、わかり易い言葉ということに心砕かれたのだと思います。その時に、ファジィという言葉が一番わかり易い、すなわち、先生のお考えを反映させるのに、F・U・Z・Z・Yという言葉が一番わかり易いとお考えになったのでしょうか。

ザデー教授： そうですね。多くの人と話をし、相談をしました。何か提案がないか、ファジィ以外の言葉も考えられないか尋ねてみたのですが、結論としてファジィという言葉が最もよいということに至ったのです。そこで考えたことは、多くの人々がこの言葉に反発を感じるだろうということです。少なくとも英語ではこの言葉はいい意味では使われません。予期した通り、「ファジィ」という言葉を耳にしたとたんに反発してしまう人も出てきました。しかし、今日、私が同じことを聞かれたとすれば、そして、今まで起こったことを振り返ってみて、別の言葉を選ぶかと聞かれたとすれば、私の言葉はノーです。「ファジィ」という言葉には長所もいくつかありました。1つの長所は、この「ファジィ」が好奇心を湧き起こす言葉だということです。ファジィ論理という言葉は聞くと、一体何だろうと興味を持たれます。ニューヨークタイムス等の一般紙の記事にもなりました。もし、ファジィ論理という言葉でなければそういう一般紙で取り上げられなかった可能性もあると思います。

ファジィ論理というのは、ファジィ集合論などと同様に、今日非常に広義に使われています。「ファジィ」という言葉のお陰で多くの好奇心が湧き上がり、米国においても、プラスの宣伝効果がありました。

また、多くの人がこの宣伝効果について気に入らないと言いました。特にサイエンスの分野では、そういった宣伝効果に反発を覚える人もいます。ニューヨークタイムスで取り上げられたり、ビジネス界の専門誌に取り上げられたということ自体に反発を覚える人もいました。これも予期された反応でしたので、しょうがないと肩をすくめれば

すむことだと思っておりました。時間がたつにつれて、ファジィ理論が普及していき反発等も消えて行くと思います。もとは、あまりいい言葉でなかったものが、広く普及するにつれて、多く使われていく例が他にもあると思います。

アメリカでも現時点では、ファジィ理論に対する興味が次第に増大してきていると思います。これは主に、日本で様々な製品に使われているということから生じていると思います。日本の製品と競争する時に無視できない、何とか手を打たなければならないと考えられてきているようです。

例を挙げると、松下や日立等がファジィ理論に基づく洗濯機を製造しております。アメリカでは、ゼネラルエレクトリック社もうかうか出来ないということでファジィを応用した商品を作ったり、ファジィシンポジウムを開催したりしております。また、ハネウェルという会社も興味を示し始めています。フォード社も、ゼネラルモータースも、日本で日産、スバルが、ファジィ理論に基づいたトランスミッションを作っており、競争の必要から追いついていかななくてはならないと考えています。このように、いろんな企業の間で興味が高まってきております。もっと、ファジィ理論を理解しなくてはならない、応用しなくてはならない、という意識が高まってきております。

山川教授： 日本でファジィが広まりかけたタイミングと前後して、ネーミングの問題があったと思います。当初、日本では「あいまい理論」という言い方で言われておりました。私がファジィ理論と出会った時も、そういう言葉が残っておりました。それを、ファジィ理論、あるいはファジィ集合論と言いかえることによって、人が耳を傾けてくれるようになりました。つまり先生がおっしゃる好奇心を誘った訳です。それまでは、あいまい理論、あいまい集合論と言っただけで人が嫌悪感を示していたのが、外来語として取り扱うことによって日本人が受け入れるようになりました。まず、好奇心を示し、話を聞いてくれればわかってくれる訳です。ですから、アメリカでも、もしファジィがまだ受け入れられないとすれば、

FUZZY という英語を使わず、「あいまい」という日本語を使って “AIMAI Theory” というように言って頂くと、「それは何だ?」と興味をもって頂けるのではないかと思います。

人の興味は別としまして、これから我々がやらなければならないことは、もっと地についた学問としての体系づけが非常に大事であろうかと思えます。今までの先生のお話からも分かりますように、これから伸びていく可能性を十分持っている訳ですので、我々がそれを学問として社会に定着させる義務があると思います。その上で医学的な応用がどんどん出て来れば、これは本当のファジィ理論の歩むべき道だと私は思うのです。

他にどなたか、質問なりコメントなりございせんか。

イエガー教授： 昨日、ファジィ集合論がどこからきたのか、という話をしていたのですが、ファジィ集合を推論システムの中で使う、いわゆる近似推論（ファジィ推論）は、どういう背景から出てきたのかご説明頂けますか。

ザデー教授： 最初の私の論文の中でファジィ集合論について述べた時に、私はファジィ論理あるいはファジィ推論については述べておりませんでした。大切なことは、ファジィ集合論とファジィ論理を区別することだと思います。ファジィ論理が狭義の意味（テクニカルな意味）で使われる場合には、それは、ファジィ集合論の一部であります。広義の意味で使う時にはファジィ集合論を拡張した意味として使えるかもしれません。ファジィ集合論の中には、近似推論とは関係のない部分も含まれています。例えば、ファジィ線形プログラミング、ファジィ非線形プログラミング、ファジィ代数、ファジィトポロジィ、ファジィグループ理論、ファジィグラフ等の多くの分野は、近似推論とは全く関係がありません。この点を認識しておく必要があります。近似推論というのはある特別のブランチであると考えべきです。私の最初の論文ではこの推論という点については把握しておりませんでした。後の論文で記述するようになりました。つまり、1965年にはその点は述べ

ておりませんでした。1973 年になって初めて近似推論について書き始め、1974 年に論文を発表しました。近似推論に関する私の認識では、ファジィ集合論を推論に応用するとその結果としてファジィ論理が出て来るといことです。近似推論という言葉は、当時、ファジィ推論よりは耳にはよく聞こえたと思うのです。「ファジィ」という言葉には少しマイナスの響きがありましたから、あまり受け入れられない傾向にありまして、近似推論と言う方が受け入れられ易かったのです。

「近似」という言葉は「厳密でない」という言葉よりもよく聞こえます。「厳密でない」というのは「厳密」の否定であって何でもよいのです。しかし、「近似」は「厳密」そのものではないけれどもそれ程かけ離れたものではないのです。ですから、「厳密でない推論」よりも「近似推論」の方がより内容が限定されていてネーミングとしては良いのです。従って、私は「近似推論」という表現を用いました。1973, 74 年の頃です。

ファジィロジックというのは、これ以前に使われてはいましたが、違った意味で使われていました。キャンベルとかマリナがスイッチング回路の解析で ON でも OFF でもない状態を表現するのに使っていました。ですからイエガー先生がご指摘の件ですが、多くの応用は近似推論に基づいています。ファジィ制御もそうです。ここで一番重要なことの 1 つは、ファジィ If-Then ルールというものです。これは必ずしも近似推論の一部を成しているわけではありませんが、重要なツールでありまして、定性的に定められたシステム等、いろんな分野で使うことが出来ます。近似マッチングなどに使います。

イエガー先生が指摘されましたように、この近似推論は人工知能にとっても非常に重要なものなのです。なぜならば人間の思考、推論は 99 % が近似推論だからです。しかし、人工知能は人間の思考を真似しようとしているにもかかわらず、近似推論を使用しておりません。述語論理とか、古典的記号操作等いろんなことが行われていますが、

数値を使わなくてはならない近似推論はまだ十分に取り組んでいないと思います。

イエガー先生は非常に重要な点を指摘されたいと思います。

齋藤教授： ファジィ論理と、今はやりのニューラルネットワークの関わりについて教えて頂けませんでしょうか。

ザデー教授： そうですね、2 つ重要なことがあると思います。

まず第一に、どの分野の何でもファジィ化できます。例えば、数学的な理論はファジィ化できます。代数もファジィ代数となり、トポロジもファジィトポロジ、グラフもファジィグラフ理論にしてしまうことができます。どんな理論もファジィ化することができるということであれば、人工的なニューラルネットワークもファジィ化できるだろう、ということになります。サンシェズ先生がおっしゃいましたように、例えば、通常のニューラルネットワークの重みをファジィ数やあいまいな言葉で表現するのです。

1975 年に、ファジィ・ニューラルネットワークという題の最初の論文が出ました。ソ連のチョラン先生が、やはり、ファジィ・ニューラルネットワークについて、随分前から書いておられますけれども、あまり注目されなかったのです。ニューラルネットワークなんて誰も関心がなかったからです。

ということで、ニューラルネットワークを取り上げてファジィ化することはできるでしょう。ところが、他にもいろいろやることがあります。最近、試みとしては、(これは割に成功しているのですが、)メンバーシップ関数が全くわからないような状態の時には、ニューラルネットワークを使って最適化あるいは調節をします。メンバーシップ関数が一応、大雑把に決められてはいるけれども、ニューラルネットワークを使ってより細かく調整しようというのです。これは基本的にはファジィ論理システムであります。そのメンバーシップ関数がニューラルネットワークで調整されるものです。

第二に、インターポレーション（内挿）の問題です。

ニューラルネットワークの構造、ファジィロジックの構造、これらは基本的には異なった構造です。どのようにルールを作るかを知っていて、少なくともどんなルールが必要かがわかっていれば、メンバーシップ関数について詳細がわからなくても、ファジィ論理を使います。しかし、ルールの作り方がわからない場合には、ニューラルネットワークを使います。ファジィ論理では、ルールについて何か知っていなければならないからです。ですから、ニューラルネットワークのアプローチというのは、どんなルールを使っていいかわからないような時に必要でもあるし、有効でもある訳です。ただし、気を付けなければいけないことは、ニューラルネットワークの能力には限界があるということです。ニューラルネットワークは、何でもどんどん学習できると思ったら大間違い。ニューラルネットワークが何かを学習しても、それが間違った学習をすることがある訳です。

例えば、多くの名前と電話番号の対をニューラルネットワークに全部インプットします。それで、電話帳には載っていない人の電話番号教えて、と言います。するとニューラルネットワークは、とにかくいくつかの電話番号は出します。ところが全部間違いです。ただ番号を出したって仕方ありません。こういうことが起こるので気を付けなければなりません。全く意味のないのを答えとして出してしまうのです。ですから、依存性に問題があるような時は、それに気が付かねばなりません。基本的には、これは確実なものであるかどうかということをしておかないと、全くナンセンスな答えが出てしまいます。答えは必ず出るのです。しかし、その答えが全く無意味なのです。ですから、少し気を付ける必要があります。すなわち、ニューラルネットワークというのは、基本構造は非常に簡単なものを多層の構造にしてできています。この多層の構造はいろんなことを学習することができますけれども、学習できないこともたくさんあります。例えば、チェスや車のパーキングはニ

ューラルネットワークで覚えることができません。

逆にできることもあります。ニューラルネットワークは、うまく学習できるものもたくさんあるのです。ですから、重要なことは、あまりこれについて独断的な考えを持つべきではない、ということです。ファジィ論理を使ったら全部解決できると思ったらいけません。ニューラルネットワークを使ったら全部解決できると思ってはいけません。ですから、A という方法を使ったら全て O.K. だという考えではなく、この問題はファジィ論理で解けるし、この問題はニューラルネットワークで解ける。もしかしたら、二つ合わせるともっとよく解けるかも知れない訳です。

山川先生やサンシエズ先生は、この二つをうまく組み合わせて使っていると思うのです。これは方向としては正しいと思います。すなわち、ある状況に最も適しているものを使えばいいのです。1つのことだけに固執する必要はないのです。こういった考え方の長所と短所をよく知り、長所を生かす使い方をして初めて意味があるという訳です。残念ながら、多勢の人々は1つのことしか理解していない、1つのテクニックしか使わない、これを、ハンマープリンシプルと呼んでおります。ハンマープリンシプルというのは、ハンマーは釘を打つのに使うのですが、何でもかんでも釘に見えるはじめて、全てハンマーで処理しようとすることを言います。決してハンマープリンシプルを使ってはいけません。

山川教授： 只今、先生は、ニューラルネットワークとファジィ概念をミックスすることで強力なものもできるし、その使い方を考えなくてはいけない、ということをおっしゃいました。

要するに、ニューラルシステムというのは、基本単位は非常に単純な機能しか持っていないけれども、その繰り返しによって大規模システムができる。しかし、その欠点は、学習によってしかシステムを構築できない、しかもそのシステム構築が収束するとは限らない、つまり、重みの分布が収束するとは限らない、という所にあります。

一方、ファジィロジックあるいはファジィ推論

の方は、システムデザイナーがシステムを勝手に構築することができる。つまり、ヒューマンエキスパートがいて、その知識をそのまま移植することで If-Then ルールを書ける訳ですから、プリプログラムあるいはデザイナブルであります。一方、ニューラルネットはデザイナブルではなく学習によってだけシステムを構築できる。その大きな違いを理解しておかないと使い方を間違えてしまいます。今、先生がおっしゃったように、オノで鉛筆を削るようなことになるわけです。従って、これらのそれぞれの特徴を踏まえた上でこれを合体させると、学習もできるし前もってデザインすることが可能だろうと思います。デザインして、

それが不十分であればアジャストメントをする、そして外界が変化すればそれに応じてアダプティブにシステムが変わっていくということも可能だと思います。ですから、こういう2つの概念の特長と欠点をうまく組み合わせる必要があろうかと思います。

ちょっと横道にそれましたが、他に何かご質問はありませんか。もしなければ、この辺で幕を閉じたいと思います。

最後にザデー先生に感謝の意を込めて、拍手をおくりたいと思います。

ありがとうございました。

対 談 者 紹 介

Lotfi A. ZADEH (ロトフィ A. ザデー)

カリフォルニア大学 バークレー校 電気工学・計算機科学科。

1942年テヘラン大学卒業。1946年マサチューセッツ工科大学修士課程。1949年コロンビア大学博士課程修了。1953～57年同大学準教授。1957～59年同大学教授。1959年よりカリフォルニア大学バークレー校教授（電子工学）、現在に至る。

その間、マサチューセッツ工科大学、IBM San Jose 研究所、SRI International 等に出向。IEEE および AAAS フェロー、National Academy of Engineering 会員、Paul-Sabatier 大学(フランス)およびニューヨーク大学 Binghamton 校名誉博士。IEEE より Education Medal (1973年)、Centennical Medal (1984年) および R.W. Hamming Medal (1992年) 受賞。1989年本田財団より本田賞受賞。

山川 烈 (やまかわ たけし)

九州工業大学 情報工学部 制御システム工学科

1969年九州工業大学電子工学科卒業。1971年東北大学大学院工学研究科修士課程。1974年同博士課程修了。1981年熊本大学工学部助教授。1989年九州工業大学情報工学部教授。1990年財団法人ファジィシステム研究所を設立、同理事長に就任(九州工業大学教授兼任)現在に至る。

電気化学、電子回路、集積回路工学、ファジィ理論・多値理論専用集積回路の開発に従事。

著書：「ファジィコンピュータの発想」(講談社)、「ファジィ応用ハンドブック」(工業調査会) ほか。

国際ファジィシステム学会、日本ファジィ学会、電子情報通信学会、計測自動制御学会、日本矯正歯科学会、バイオメディカル・ファジィ・システム研究会各会員。