

## 研究室訪問

北海道大学 電子科学研究所 下澤 樹夫 教授 訪問記

(第3回受領者)

昨年から始めた研究助成受領者の研究室訪問、今年も葉原選考委員長に同行いただき、北海道にまいりました。例年ない猛暑で自然エアコンはいささかこたえましたが、先生方のお話はそれを補ってあまりある、興味深くまた自然で本質的な内容でした。

○ 電子科学研究所についてご紹介下さい。

当研究所は、平成4年に旧応用電気研究所から電子科学研究所に改組転換しました。既成の学問分野を超えて融合した新しい領域の研究を推進する組織です。現在は電子材料物性、電子機能素子、電子計測制御、電子情報処理の4部門合計16研究室と1開発施設、1客員研究分野で構成されています。また大学附置研究所として、100名を超える大学院生の教育にも力を注いでいます。



○ 先生のお部屋にくるまでに生物とか生体に関係した

研究室が多く見受けられますか。

そうなんです。私は昆虫の神経系を調べていますが、レーザー光学や信号処理など全く別の分野の人との共同研究をいつでも組める。そういう意味では、物理・化学・数学など基礎的な硬い部分から生き物まで、非常に幅の広い分野の設定ができる、これらの相互作用から新しい研究領域を生みだせる環境だとと言えます。このようなユニークな環境が出来たのは、歴史的な遺産のおかげです。前身は超短波の人体への生理作用を調べる超短波研究室です。昭和18年に医学部から2講座、工学部の電気から2講座、それに物理、化学、数学を加えて超短波研究所となっています。想像に過ぎないのですが、当時の文部大臣が棒田邦彦で、生物の仕組みを解き明かすには全ての科学を総合してあたらなければ出来ないという信念の生理学者、初代の所長がそのお弟子さんということが関係しているようです。ということでもともとそういう素地があったわけです。今から9年前になりますが、これから電子科学には生き物のことが絶対必要となるということで生物系を正面に出しまして、現在16研究室のうち7研究室が生物を扱っています。

○ 助成を受けられた当時のご研究と、その後のご研究を含めてお話を聞かせ下さい。

私はもともと電気系で、昆虫の神経系での情報処理を調べており、いただいたお金でレーザーを買いました。中枢の神経細胞に蛍光色素を注入し、レーザーで光らせると、神経細胞を顕微鏡で確かめながらデータを採れるようになり、どの神経細胞がどの感覚細胞から信号を取り、どんな処理をしているかを効率よく測定できるようになりました。その後、感覚器を調べることに移りましたが、レーザーは今も使っています。

実験にはコオロギを使っていますがコオロギには気流を測る感覚器があります。体表から細い毛が立っていて、周りの空気が動くと粘性力で倒される。どれ位空気が動いたら感覚細胞がパルスを出して中枢に伝えるかというレベル、いわゆる閾値を測定できる。そのとき感覚細胞が受け取るエネルギーを計算すると、感覚細胞は常温の  $kT$  つまり熱雑音レベルの非常に低いエネルギーを検出

できることが分かってきました。この感覚器は熱雑音に曝されながら動作しているわけです。しかも面白いことに感覚細胞は熱雑音で揺すられている、さらに驚いたことに、感覚細胞はこの熱雑音を利用していることも見えてきました。信号が閾値より小さくとも、適当な雑音が乗っかると、時々閾値を越えてパルスを出す。もちろん雑音の中に埋もれているのだけれど、2つ以上の感覚器の間で相関をとると共通成分を抜き出せる。この場合、雑音は互いに無相関であることがキーです。神経系は、ただで手に入る無相関な雑音源として分子熱運動を利用して弱い信号を検出し、中枢で統計計算して、外の世界を再構成しているわけです。

雑音で引っ掛けて信号を送るというのはすでに世の中にあって、CDMAなんかで使っている周波数拡散変調と同じで、バラバラに分解して送って後でかき集めれば、少しくらいなくなっていても何とか元の形になるというやり方です。それにはたくさんに分解することが重要で、今調べているコオロギは、片方に500本あります。たくさん使えるというのは大事なことなのです。雑音ギリギリまで追い込まれたらたくさん並べる。そうすれば何とかなる。神経系のことを、そう理解したらと思っています。

○ 生き物の世界を見ていると、いろいろな面で将来が見えるのでは。

これまで、感覚細胞が進化と共に感度を良くして熱雑音レベルにまでたどり着いたと思っていました。しかし今は、進化のごく初期の細胞になる段階のことを考えると、 $kT$ 程度のエネルギーのやりとりが生命の起源だったのではないかと思っています。目や耳、神経系というのは、熱雑音から逃れられないという宿命の上で作り上げられた情報系なのです。そういう意味では、将来電子デバイスが小さくなつて1ビットを表すエネルギーが熱ゆらぎのオーダーに近づいたとき、熱雑音とうまく付き合った経験者としての生き物に教えてもらうことが多くなると思います。

○ 分かって見れば極めて自然な考え方ですね。先生のご研究の源に、もし財団の最初のレーザーで色素で染めて検出するということがなかつたら、10年後こういう本質的な知見につながったかどうかは、また判らないのでは。

はい、神経系の構造と動作をまとめて測るということを基本としていますので、財団の助成はそのスタートで大変役立ちました。勿論それ以外のこともやっていますけれど、中枢の細胞の戸籍調査のためにお金を使いました。つぎに感覚細胞の性能を測っていたら雑音の項目が出てきて、神経1本が運べる情報量は非常に少ないことが分かってきた。そうすると、最初に手がけた中枢の細胞に情報量がちゃんと集まっているのかということが問題になって、またレーザーを使う仕事に戻ってしまいました。感覚細胞の熱雑音の話は、生物物理40巻3号156-161(2000)に載せていただいています。



実験設備の前で（研究室の中で、無造作にコオロギが飼われているのがとても印象的でした。向かって左から下澤教授、葉原委員長、渡辺）

**研究室訪問**

北海道工業大学 工学部 電気工学科 渡邊 一央 教授 訪問記  
(第3回受領者)

## ○ 北海道工業大学と先生のお仕事の概要の紹介をお願いします。

ちょうど創立30周年を過ぎたところで、2001年から現在の機械工学、経営工学、電気工学、応用電子工学、土木工学、建築工学の6学科を、これから時代に即するように、環境デザイン・情報デザイン・福祉生体工学という人間科学系3学科、建築学科・社会基盤工学科・機械システム工学科からなる基盤工学系3学科、情報ネットワーク工学科・電気・電子工学科の先端工学系2学科、併せて8つの学科に再編成しようとしています。大学院は旧構成で修士課程が5専攻その上に博士後期課程が4専攻あります。総学生数は3,500人位、北海道では2番目に大きい、単科大学では一番大きい私立大学です。



私は今情報ネットワークの取りまとめをやっていますが、デジタルコンテンツやインターネットビジネスのデザイン、言い換えれば人間と機械のインターフェースを主領域とする情報デザイン学科と、情報ネットワークを介してコンピュータとコンピュータのインターフェーシングを主領域とする情報ネットワーク工学科とが連携をとりながら、両学科でいわゆるITをカバーしようという考え方でやっています。

## ○ ネットワークというと、助成対象は人間の高次認知機能とそのニューラルネットの構成のご研究でしたが、成果報告では新しいご提案も含まれておりました。そのあたりの経過をお聞かせ下さい。

人間とシステムのインターフェースは基本的には鏡像関係にあるべきだということを提唱し、その実現手法が認められて助成をいただきました。応募した時の鏡像関係のイメージですが、基本的に人間の情報受容や情報表現を機能階層的にいくつかの層（レイヤ）に区切って、どこか1個でも狂ったら人間とインターフェースが非常にとりにくくマシンになってしまふのではないかというのがポイントでした。

レイヤ構造とその機能構成に関しては、当時、「ヒューマンインターフェースアーキテクチャ」というのを提唱していました、5層構造が簡潔でシステム化に適しているのではないかと考えていました。情報受容系に関していえば、耳などで音圧や振動を感じたりする感覚レイヤ、それを音素とかに分解する知覚レイヤ、各種の知覚要素群から情報要素を合成して情景とか背景を理解する理解・表現レイヤ、さらに最高位のレイヤは理解・表現レイヤからの入力要素群とこれまでに獲得した知識要素群から新たな意図要素を生成する意志レイヤの5階層という考え方です。情報の表現系も受容系と鏡像関係にある5階層、さらには、同一レイヤ上の受容系モジュールと表現系モジュールの間、各階層相互間も鏡像関係、そして人間の相手方のシステムはそれぞれのレイヤで人間と鏡像関係になっていかなければおかしい、そんなモデルでした。

この初期の頃の鏡像関係はまだスタティックなイメージで考えていましたが、知的システムに必須な学習機能の鏡像関係について検討している際に、学習中には人間の各階層における機能や性能は常にダイナミックに変化しているのだから、鏡像関係もダイナミックであるべきで、ダイナミックにマシンの諸特性を変動させながら鏡像関係の程度を高めていくのが学習の本質ではないか？

学習能力を失ったり完全に学習が終了したもののみがスタティックな鏡像関係で十分であるのではないか、と気づいたのです。

当時のニューラルネットワークの研究、ことにその核とも言うべき学習法にはアメリカのルーメルハートが発明した誤差逆伝搬法（BP法）を使用していました。しかしBP法は今振り返れば固定した学習法だったと言えます。一方、人間の神経細胞は絶対に揺らいでいるはずで、真剣に考えたり学習している時ほど揺らぎ強度は大きいと想像できる。このことをヒントに、ニューラルネットワークの各ニューロンのしきい値にランダムな揺らぎを導入し、自分としては新しい学習法を見つけたと思っています。それを「ゆらぎ駆動学習法」と呼びました。学習にも鏡像関係が存在し、それはダイナミックに動いている部分のところの鏡像関係が学習なんだろうと気が付いたのがすごく印象に残っているんです。それを助成成果報告書のむすびにも書かせていただきました。

○ 助成が研究のキッカケとなったということで財団としてもうれしいことです、報告書以降も随分進展があったのでしょうか。

ダイナミックな鏡像関係に気づいた当初は、撮動法と言うか微小の近似解析に基づく学習理論で、本格的なダイナミックな学習法とはいえないものでしたが、それを大振幅理論にまで拡張できたのは、その2～3年後だったと思います。近似理論ではなく、大振幅理論による揺らぎ駆動学習法であるため、各レイヤで、かなり大きな揺らぎにより広範囲な鏡像関係を探索できるようになりました。ダイナミックな鏡像関係は、平均値と分散により評価できます。平均値と分散が合っていれば、ほとんどの目的通りの学習が達成可能であることを、その後見つけて、いろんな実験で検証できました。例えば、アクセルとギヤシフトによる自動車の自動走行制御学習。連続量であるアクセルだけによる制御学習でしたら従来のBP法によっても可能ですが、ギヤシフトを含む場合は不連続量の制御学習課題を含みますので、従来のBP法では解けなかった。揺らぎ駆動学習法を用いれば、連続ニューロン群と離散ニューロン群が混在するニューラルネットワークモデルでギヤシフトとアクセルで自動車の目的に合った速度に合わせる学習シミュレーションも可能となった。このようなニューラルネットによる微分不可能なシステムの制御学習には関係者は関心をもってくれたんじゃないかなと思っています。基本概念がはっきりしているので、アプリケーションは無限といっています。

○ これから単に技術だけではなくてますます大きく揺らぎそうな混沌の時代の基本概念の一つかも知れないとですね。

揺らぎ強度を大きくとればとるほど、大局的で大まかな最適状態が見えてきます。その大まかな最適状態周辺で揺らぎを小さくしていくと、その周辺での局部的な微細構造、すなわち最適点も見えてくるという特徴をもっています。揺らぎ強度のコントロールによって、大局的構造と局所的な最適解の両方が見られるような学習法で、他の学習法とは異質な特徴を有していると関係者に訴えているところです。



研究室の前にて（上部の看板が象徴的で、つよく印象に残りました。向かって左から、葉原選考委員長、渡邊教授、渡辺）

両先生の訪問を通して、お二人とも極めて自然な、それだけに本質的な発想の研究を進められていることを改めて感じました。その根底には北海道の自然という土壌があるように思われてなりませんでした。

（レポーター：事務局長 渡辺太郎）