

生物とロボットが織りなす脳情報工学の世界

山川 烈 九州工業大学大学院生命体工学研究科脳情報専攻 yamakawa@brain.kyutech.ac.jp

脳情報工学という新しい学問分野を切り開き、九州工業大学大学院生命体工学研究科脳情報専攻を世界的研究教育拠点とするために、「神経生理・電気化学部門」、「心理・情動部門」、「数理・言語科学部門」、「脳型集積回路部門」、「脳型ロボット部門」の5つの分野からなる研究組織が互いに連携をとりながら研究を進めている。また、世界をリードする若手研究者を育成するために、COE学生制度を設け、博士前期課程の2年間には、半年ごとに4つの異なる研究部門で専門教育を受ける「マルチタレント英才教育」を実施し、博士後期課程における幅広い挑戦的研究課題に対応できる能力を養成している。

風呂敷文化から生まれる脳情報工学

デジタルコンピュータが発明されて約60年が経ち、半導体集積回路技術の発展に加速されて、今やデジタルコンピュータはインターネット、携帯電話、ATM、家電製品、自動車等々、私たちの日常生活からは切り離せない必需品となっている。しかし、それを使えば使うほど、それが機械であることを再認識させられる。やはり、人間が機械に合わせて生活をし、時にはその機械に振り回されている感がある。また、コンピュータネットワークでは、ウイルスやハッカーの侵入によって個人や組織の固有情報が脅かされたり、慣れない人にとっては、必ずしも使いやすい機械ではない。このような社会で、私たち人間は多くのストレスをコンピュータから受けている。いわゆるテクノストレス社会の真只中で日常生活を強いられているのである。

もしも、コンピュータやロボットが、私たち人間の気持ちをよく理解し、私たちの痒いところに手が届くような「ふるまい」をしてくれたら、どんなにすばらしいだろうと思う。そのためには、人間がどのような時にどのようなことを考え、どのような行動をとるのかをエミュレートできるようなシステムが必要であり、それがコン

ピュータやロボットに実装されなければならない。そうすることによって、人間を主体とするコンピュータ社会が来るに違いない。

一方、日本は、敗戦後わずか40年で経済面でも科学面でも世界の頂点まで達することができた。欧米並みに冷蔵庫とテレビと車のある生活、さらにはアパート住まいではなく庭付きの一戸建てのマイホームの生活、これらの夢に向かって多くの国民が、がむしゃらに努力した結果、かつて世界のいずれの国も成し得なかったことを成し遂げたのである。しかし、10数年前のバブル崩壊とともに未曾有の不況に陥り、いまだにその暗いトンネルから抜け出すことができないでいる。商品を作れば売れる、売れば儲かるという時代が過ぎ去り、私たちの生産活動・経済活動に対する考え方を、否応なしに修正せざるを得ない時代を迎えてしまった。2番手、3番手を走っているときは、1番手を見習って走ればよい。しかし、1番手になったとたんに、自分の走るコースを自分が決めなければならない。うっかりすると、2番手、3番手は別のコースを走り、結果として「1番手」はコースをはずれ、いつの間にか「迷える子羊」になってしまう。経済、科学のみならず文化、政治、教育などあらゆる面で、日本人は今、自信と誇りをなくしつつある。人真似から脱皮して、自分独自の歩むべき道を考えるときが来たようである。

日本の文化は、欧米の文化と対比して表現するのに「風呂敷文化」と称される。すべての道具や人材が、欧米では分業、固有の役割、合理性の下で機能分割されている。家の作り、会社組織、スポーツのトレーニング組織、身の回りのあらゆる道具がその哲学のもとに構成されている。科学的思想も然りである。物事の真理を明らかにするためには分解、分析を詳細に行う。それはそれでよしとして、分解した個々の成分をただ加え合わせるだけでは、全体の動き、特性、有様を知ることができない。非線形システム、時変システムなど複雑なシステムの場合

はまさにそうである。

生物の脳における情報処理に学んで、デジタルコンピュータとは一線を画する新しい脳型コンピュータの基盤技術を確認し、「脳情報工学」という新しい学問分野を創出しようというのが九州工業大学COEの目的である。そのために、脳に関する研究は生理学、工学、数学、心理学等、多角的視点での研究が必要であり、それらを単に分業しただけでは、しかるべき研究成果は望むべくもない。それらの研究成果を有機的に融合させる必要があるし、また若手研究者を育てる上では、それらの多くの分野に精通した研究者を養成する必要がある。いわゆる「風呂敷文化」の研究者の育成が必要であると考え、そうしなければ、新しい発想の研究はなかなか期待できない。このことに鑑み、「マルチタレント英才教育」を実施することにした。以下では、我々が目指す「脳情報工学」という新しい学問分野、それを創出するための多分野の研究組織とそれらの有機的な関係、幅広い知識と技術を持つ独創的な若手研究者を育成するための「マルチタレント英才教育」、脳情報工学の研究成果を社会に還元するための産学連携について述べる。

脳情報工学とは？

工学の2文字が付いているところが重要で、得られた知見・技術など、すべてを私たちの生活に役立てるという視点で、物事を考える（図-1参照）。

通常の情報工学は、いわゆるチューリングマシンを計算原理としており、その情報表現は0と1からなる2進符号で、あらかじめ処理手順をプログラムという形で構成し、記憶装置に格納しておき、それを順次取り出しながら所定の処理を完了する。情報やプログラムを記憶する場所は、特定の場所に集中している。扱う情報も得られた処理結果も、決定論的で寸分の曖昧さも認めず、きわめて機械的である。

一方、脳情報工学は、生体の脳の情報処理機能を解明し、その特長を盛り込んだハードウェアの設計基盤技術である。情報は、ハードウェア全体に分布して記憶され、トランジスタが1個壊れたぐらいでは大きなダメージにつながらない。処理機能は固定せず、外部から入ってくる情報によって、どんどん変わっていく、いわゆる学習機能・適応機能を持つ。人間特有の主観的曖昧さや直感なども受け入れてくれる。したがって、人間にとってきわめて扱いやすいシステムとなるだろう。

通常の情報工学（チューリングマシンを計算原理とする）

2進法を基礎(0,1)
すべての処理を事前にプログラム
集中記憶
客観的(決定論的)
機械的

脳情報工学（脳の情報処理機能に学ぶ）

頑健性(ロバスト)
学習により処理が変化
分散記憶
主観・直感
人間親和型

図-1 脳情報工学と通常の情報工学の相違

5部門からなる幅広い研究組織

九州工業大学COEの研究目的は、脳の情報処理機能に学び、デジタルコンピュータとはまったく異なる仕組みの脳型コンピュータハードウェアの設計基盤技術を確認し、それを人に優しいロボットや協調型の群ロボットに搭載し、その機能を検証することを目的とする。これを実現するために、図-2に示すような研究組織を編成した。大きく分けると「基礎研究」、その具体化を目指す「デバイス化研究」、そしてデバイスを検証するための「脳型IC応用」研究となる。

基礎研究は神経生理・電気化学部門、心理・情動部門そして数理・言語科学部門の3つからなる。

神経生理・電気化学部門は、ラットの脳から海馬を取り出し、そのスライスから神経インパルス列を誘導し、記憶のメカニズムを調べたり、またラットの舌上皮の味蕾の中の味細胞の活動電位を誘導したり、いわゆる生もの実験を主体とする研究組織である。林初男教授、吉井清哲教授、石塚智助教授、夏目季代久助教授、大坪義孝助手がこれに携わる。

心理・情動部門では、サルの集団行動や、蛙の食餌行動・逃避行動などと脳の動きの関係を解明する。粟生修司教授、花沢明俊助教授、中川秀樹助教授、磯貝浩久助教授、水野雅晴助手が、これに携わる。

数理・言語科学部門では、神経生理・電気化学部門や心理・情動部門で得られた知見をもとに、脳や神経系のモデルを数理化学的手法および曖昧な自然言語を用いた手法で記述し、その機能を解析する。石川眞澄教授、安井湘三教授、永松正博教授、田中繁教授（理化学研究所）、山川烈教授、神酒勤助教授、豊島孝之助教授、宮本弘之助教授、堀尾恵一助手、章宏助手が、これに携わる。

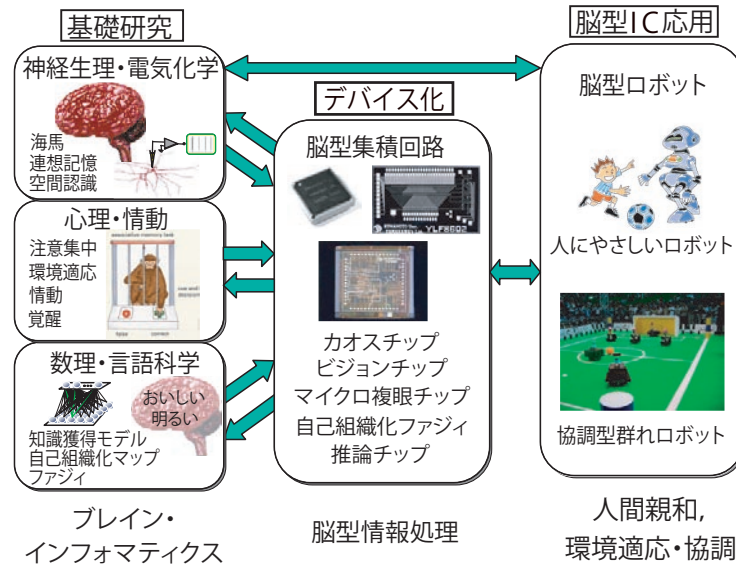


図-2 研究組織と協力体制

脳型集積回路部門では、基礎研究で得られた知見をもとに、機能別のチップのアーキテクチャ、情報表現、機能デバイスを考え、ビジョンチップ、自己組織化関係ネットワークチップ等の脳型集積回路の設計と試作を行う。また、その設計基盤技術の確立を目指す。山川烈教授、森江隆教授、Zimin Lev Grigorievich教授、神酒勤助教授が、これに携わる。

脳型ロボット部門では、脳型集積回路の妥当性、有利性、基礎研究の妥当性を検証するために、脳型集積回路部門で開発した脳型ICをロボットに搭載し、その動きから得られた所見を、基礎研究やデバイス化研究にフィードバックする。山川烈教授、石井和男助教授、宮本弘之助教授、神酒勤助教授が、これに携わる。

以上のような、5つの部門の間の横断的な研究プロジェクトが4つ形成されており、それぞれの研究成果が定期的に九州工業大学COEの中で発表され、各部門の内容が研究協力者も含めたメンバ全員に情報が行き渡るようになっており、新たな研究構想が出やすい環境になっている。

ユニークなマルチタレント英才教育

脳型コンピュータの基盤技術の確立や、九州工業大学COE終了後の脳情報工学の発展やその応用に寄与するには、多くの視点や学問分野に立った発想が必要であり、かつそれを具体化する技術を持っていないと行かない。現職の教官は前章でも述べたとおり、広い専門領域に渡り分布しており、教官個人はそれぞれの分野では研究業績も高く評価されているので、脳情報工学の要素的技術

の教育は可能である。しかし1人で多くの学問分野にわたる知識と技術を持っている教官は残念ながら不在である。そこで、できるだけ異なる専門分野の複数の教官が、力をあわせて1人の学生を指導し、結果として、1人の学生が脳情報工学に関する幅広い知識と技術を持つことができるような教育システムを考えた。これが、COE スチューデントのためのマルチタレント英才教育である。博士前期課程から博士後期課程まで、各学年5名を定員として動いている。この教育システムが成功すれば、世界をリードするような新世代の若手研究者を生み出すはずであり、これがまさにこの九州工業大学COEの使命でもある。

これまでのように博士前期・後期課程を通して同じ研究室で通常の教育研究を希望する学生は一般学生として取り扱われるが、COE スチューデントとしてマルチタレント英才教育を受ける学生は、博士前期・後期課程の5年間一貫教育を受けるために、希望者の中から厳選され、生活費の保証を受ける。博士後期課程進学希望の意志があっても、博士後期課程修了までの間の経済負担が重大な問題となり、進学の能力と意志がありながらも、それを断念して就職の道を選ぶ学生諸君が大部分であるのが実情である。九州工業大学COEでは、5年間の生活費を保証するために、博士前期課程で手取り8万円、博士後期課程で手取り10万円を支給している。北九州市若松で生活するには、これで十分である。この奨学金は返還の必要がないというのも大きな魅力である。

具体的な教育システムについて説明する。図-3に示すように、博士前期課程の2年間は、半年ごとに異なる分野の研究室を渡り歩いて幅広い知識と技術を身につ

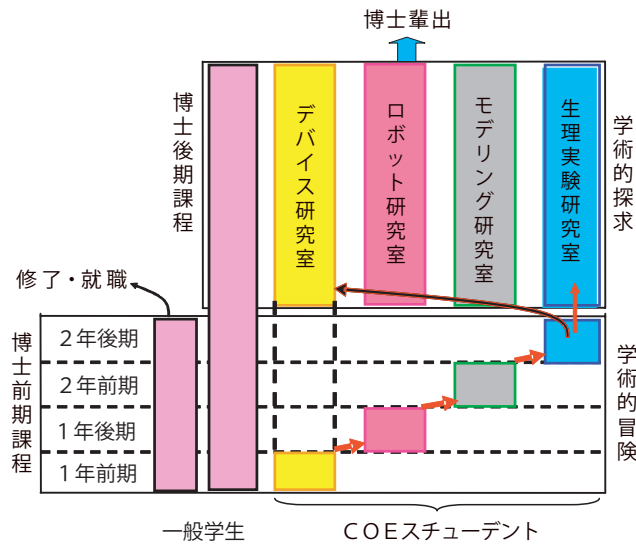


図-3 COEスチューデント制度によるマルチタレント英才教育

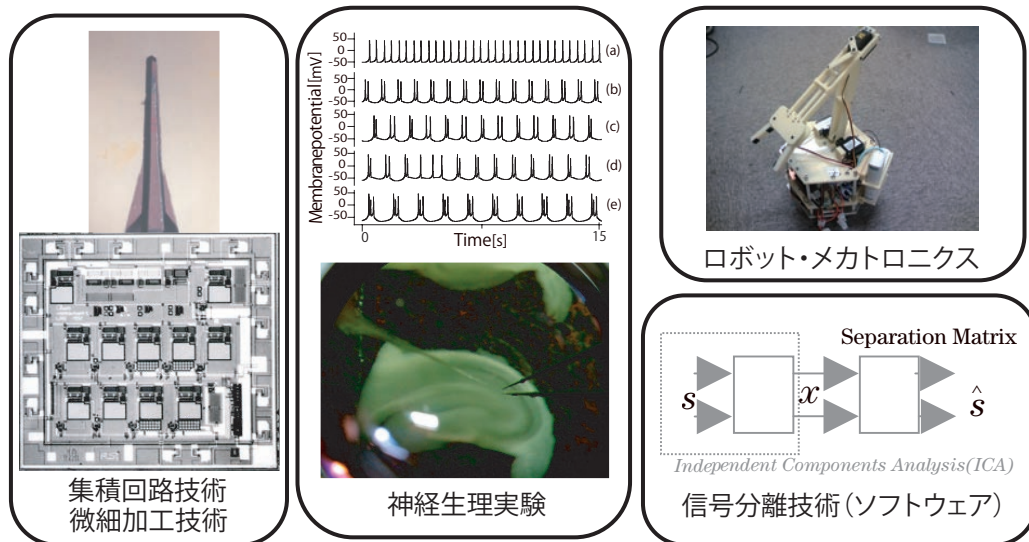


図-4 幅広い知識と技術を持った若手エンジニアの育成

ける。たとえば、1年前期にデバイス研究室に配属され、半導体工学、集積回路工学、ウェハプロセス技術を学び、半導体微小電極を製作する技術を身につける。1年後期には、ロボット研究室に配属され、ロボットアームのコントロールや、モーターの選定など、主にハードウェアの構成についての技術を身につける。2年前期には、モデリング研究室に配属され、C言語やjavaを使って、ニューラルネットや自己組織化マップなどのソフトを作り、コンピュータ上でシミュレーションを行ったり、各種フィルタプログラムや数理解析プログラムを作る。2年後期には、生理実験研究室に配属され、ラットの脳の海馬に

微小電極を刺入し、活動電位を測定・記録する。このように半年ごとにレポートを提出し、かつ公開の場で発表し、合格すれば次の研究室へ移動し、新たなカリキュラムをこなす。4研究室分がすべて合格となれば、修士論文を提出することなく修士の学位が授与される。

博士前期課程を修了した後は、そのまま生理実験研究室に残るもよし、また最初のデバイス研究室に戻るもよし、あるいはまったく別の研究室に行くもよし。いずれにしても博士後期課程における研究が本命で、ここでは一般学生とは一味違う研究テーマと内容が期待できる。たとえば、**図-4**に示すように、デバイス研究室で学ん

だ微細加工技術によって先端が数十ミクロンのマルチ微小電極を試作し、これをラットの脳の海馬に刺入し、深さ50ミクロンごとに10点の活動電位を記録し、その信号を独立成分解析(ICA)手法によって混合信号から特定の信号を抽出し、解析する。それをもとにロボットを動かす……というような、幅広い研究を自分1人で企画し、実行できるようになる。わずか6カ月ぐらいの専門教育で、果たして最先端の研究に役立つのかとの疑念もこれまでにいくどとなく投げかけられた。しかし、マルチタレント英才教育で行った教育が最先端ではなくとも、学生自身がそれに興味を持ち、短期間に集中して技術や知識を得たことに重要な意味を持つと確信する。なぜならば、一般の研究者は過去の研究テーマから飛び出して新しい研究領域に足を踏み入れることに相当の抵抗を感じ、エネルギーを消耗するが、COE学生は、そのようなアレルギー反応をまったく示すことなく、容易に新領域に足を踏み入れる訓練を受けているからである。人間は本来、狭い領域のみの適性しか持たずに生まれてきたわけではない。誰しも、Leonardo da VinciやSir Isaac Newtonや宮本武蔵のように多様な才能を持って生まれてきているはずなのに、日本の小・中・高校および大学における教育課程でいつの間にか多彩な才能を削がれてしまい、狭い範囲の好奇心や能力をその人の天性のものと考えがちである。マルチタレント英才教育は、眠っている多様な好奇心を目覚めさせる試験的教育であり、このような教育によって、現職教官をしのご世界的な若手研究者が多数生まれることを、我々は大いに期待している。

産学連携とベンチャー起業

九州工業大学COEの目的は脳情報工学の基盤技術の確立であり、工学という以上、研究成果を社会に役立たせる必要がある。そのために、本COEに関連する産学連携、ベンチャービジネスというものがきわめて重要な意味を持つ。

九州工業大学は、平成8年度に国内の理工系の大学で最初にビジネスマネジメントを正規の授業(大学院)に取り入れた。以来、学生特に大学院生の起業教育に

力を注いできた。その甲斐あって、学生の起業率(学生による企業数を学生数で除したもの)は現時点で0.506%(32社/6,319人)であり、国内の大学では最高である。

また、九州工業大学COEの基盤となる専攻(大学院生命体工学研究科脳情報専攻)は、北九州学術研究都市に立地している。このサイエンス・テクノパークには、他に早稲田大学大学院情報生産システム研究科および北九州市立大学国際環境工学部、福岡大学大学院工学研究科資源循環・環境工学専攻がある。国・公・私立の大学を1つのキャンパスに集積し、財源は別でも大学運営および教育研究を相補的・有機的に実行しようと、国内で初めての試みとして作られたパークである。ここには、大学のみならず、企業の研究施設や共用施設もある。ロボット特区にも指定されているので、公道でのロボット駆動実験も可能である。このような環境で、これから築く脳情報工学を応用するためのコンソーシアムを形成することを現在検討している。通常のコンソーシアムは、基本的な技術が開発された後、これを核として形成されるものであるが、九州工業大学COEで考えているコンソーシアムは、目的がすでに定まっているので、基本的な技術や周辺技術が開発されたらすぐに実用化できる体勢を整えておこうというものである。

夢の実現に向けて

脳や神経系に関する研究、なかんずく工学的研究は、1980年代から精力的に行われている。その成果が現在、ソフトコンピューティングという学問領域の主流として普及している。また、昨今はブレイン・コンピューティングと呼ばれる脳の情報処理メカニズムを模倣した計算パラダイムとして注目されている。我々のCOEは、心理・情動までも含めた高次脳機能の中のある側面から見た情報処理機能をより強調したかたちでハードウェアを構成し、それを工学的に応用できるような基盤技術を確立したいと思っている。このことは、脳機能を見る側面を変えればいくらか異なるバージョンが考えられるということの意味し、応用の幅もそれだけ広がることを意味する。あと3年間で、どこまで達成できるか、これからの正念場である。

(平成17年3月22日受付)

