

玉川大学・脳科学研究所 10 周年記念によせて

脳科学研究所 “ことはじめ”



玉川大学脳科学研究所 客員教授

塚田 稔

源泉は工学部の情報通信工学科・制御工学研究室

私の院生時代は伝送回路やフィルターの通信工学の研究をするいっぽうで、脳神経系の実験を学ぶため本川教授（後に東北大学長）の生理学教室に通っていた。私の学位論文の審査は、工学部と医学部教授による合同の審査であり、東北大学工学研究科では初めてであった。この研究は多チャンネル情報理論をシナプスの入出力関係に応用し、シナプスのパターン分離機能を評価した（Biol. Cybernetics, 1975; 1976; 1979）、世界に先駆けた研究であった。学位取得後、情報システム理論の研究室の助手となり、院生を指導することになった。このとき研究した確率システム理論が私の研究生涯の重要な手段となっている。

1972年4月より、玉川大学・情報通信工学科の制御研究室で“脳の神経系の情報伝達”の研究、すなわち、ザリガニの神経―筋肉系（鉗の開閉運動のメカニズム）、猫の視覚系（特に、網膜の情報処理）の研究が始まった。1978年にBiol. Cyberneticsに発表した菅野（直）（現在、玉川大学工学研究科長）とのザリガニ神経―筋肉系の実験と理論の2つの論文はスミソニアン博物館からの文献請求もあり、玉川大学・工学部における神経系の理論と実験の始まりであった。猫の実験は大変な苦勞をした。まず、猫小屋を作ることから始まった。研究室の卒論の学生とともに、労作教育の一環として、工学部の裏の丘陵（現在の大グラウンドの一部）に建てた。当時、学園には野生化した数百匹の猫が住んでいたもので、実験動物の猫を集めるのに困ることはなかった。当時我々の猫の視覚系の実験は、2日間徹夜で週2回実施し、夏休みも、冬休みもなかった。

猫の網膜の神経節細胞には物体の形を見分けるのに都合のよい、すなわち、空間分解能の高いX細胞と、動きの情報を検出する、時間分解能の高いY細胞があることが知られていた。この分類は、以前、NHK技研の斎藤（後に玉川大・工学部）、深田氏がタイプI、タイプIIと分類していたものに相当していた。我々の研究室では、光の点滅の時空間刺激による神経節細胞の応答を研究し、時空間受容野の概念を世界に先駆けて発表した（IEEE, Tran. Biomedical Eng. 32, 1985）。この研究では水野（現在、玉川大・工学部教授）の計算機オンラインによる非線形システム解析技術が重要な役割を果たした。これらの成果は、世界に先駆けて行なった情報システム論の脳神経系への応用であった。

斎藤秀昭教授をNHK基礎研から玉川に迎えて

我々は、さらに、この技術を脳の高次機能に応用するため、サルの高次連合野の研究を始めることになる。橋本（現在、芸術学部教授）、相原（現在、工学部長）両院生を都立神経研の岩井先生のもとに派遣

した。これによって、研究室にサル小屋（3匹収容）ができ、サルの高次機能の研究が始まった。この時期に、NHK 基礎研の斎藤先生が玉川大学に招聘され、共同してサルの視覚系の MT、MST の研究を開始した。このシステム論的実験結果を富山の国際会議で発表したときは、ニューサム等の研究に先駆けた新しい結果であったが、その後、ニューサムらは斎藤らの結果を含めて一連の成果を発表した。先を越された。実に残念であった。

その教訓を得て斎藤（当時認知研教授）、樋田（当時認知研助教授・現教授）は歴代大学院生、羽賀、大野（現鹿児島大学工学部助教）、倉地、小田島、橋本らと卒論生を総動員し、人間の2大視覚能力（物体が何であるかの対象認識と、運動情報に基づく空間の認識）の一つである空間視機能の脳内メカニズム（神経情報処理メカニズム）と心理学的認知（見え方）の対応の解明を目指した。この解明のためには、新しい仮説の導入と、それを実証するための長期にわたる粘り強い研究の継続を必要とする。玉川大学にはそれを可能とする研究環境が整っており、世界広しといえども同様の研究ができる研究所はなかった。研究の世界でも競争が激しさを増し、論文の数で研究者を評価する風潮が主流になっていたから、息の長い研究は研究者自身からも研究組織からも歓迎されなくなっていたのである。新しい仮説としては、「MSTにおいて運動情報を表現するポピュレーションコーディングがなされている」というただ一つの仮説を導入し、その仮説で運動残効を含む空間認知の心理現象全てが説明できるとしたのである。その実証には心理実験と神経生理実験を併行に進める十数年の研究を要した。

斎藤先生の話によると“ある時、玉川大学でやっていた上記の空間視の研究成果を脳科学者の私的な集まりで、甘利俊一先生（当時理研脳科学研究所所長）と風呂に入りながらたまたま話すと、「それは面白い、私の理論とも一致するし、甘利が理論モデルのパートを執筆するので私と共同論文を書きましょう」と言って下さり、2012年にCognitive Neurodynamicsに投稿して掲載された。塚田先生から玉川大学に呼んで頂き、「お前はさっぱり論文を出さない」と心配をかけどうしだったが、これで責任の一端を果たせたと同時に、私を研究の道に引き入れて下さった樋田大先輩（元NHK基礎研究所所長、故人）の念願だった生理・心理・モデルの三位一体の研究を実現し、恩返しのできた瞬間であった。”

学習・記憶（海馬）と推論（サル前頭葉）の研究

それと同時期に、塚田は視覚認識の問題より更に高次機能の学習・記憶と推論のメカニズムを研究するため、モルモットやラットの海馬とサルの前頭葉の研究に足場を広げていた。

共同研究をしようと声をかけてくれたのが東北大学時代の親友・加藤先生（山形大学医学部の生理学教授）であった。先生はビーカーの中で海馬の神経回路を生かして実験できるシステム（ビトロの実験）の研究に専念していた。以前から、「このシステムが完成したら、塚田のシステム論的方法で共同研究をしよう」と言われていた。良いタイミングであった。1か月山形大学医学部に出張して共同で実験した。その後、相原先生を含めて共同研究が始まり、我々の研究室にその手法を導入、さらに、光で神経活動を読み出す新しい技術（オプティカル・レコーディング）や多電極によるマルチユニット・レコーディングによって、海馬の神経回路の可塑性の研究が現在まで継続している。この成果は一連の論文として新しい時空間学習則の発見につながっている（Biol. Cybernetics, 1994; 1999; 2000; 2005; 2006; Neural Networks, 1996; Hippocampus, 1197; 2005; Neuroscience, 2006a; 2006b; J. Neurophysiol. 2009）。

いっぽう、サルの高次機能の研究では、「ヒトとサルの本質的違いはどこにあるのか?」、「サルは三段論法ができるのか?」できたとしても「やらされているのか?」それとも「理解して使えるのか?」この違いが能力の差だ! 塚田、斎藤と津田先生（北大）が国際会議の折り、ラスベガスのホテルで昼夜を徹して議論した。ラスベガスは賭博とエンターテイメントの街、それを楽しむことなしに議論した。その時の斎藤先生の大変残念な顔が今でも目に浮かぶ。その時生まれたアイデアをもとに、順天堂大学医学部彦坂教授に相談し、坂上先生を玉川に迎え、私のポストクの藩（現在、上海東華理工大教授）を加えて、共同研究が発足した。この研究の成果は、Nature Neuroscience（2009）をはじめとする一連の成果となっている。これも理論と実験の融合的研究の成果であった。

学際領域の脳研究施設の発足

思えば学生時代に学際的脳研究が総合大学の中にあるべきであると思いつけた夢が玉川大学で実現した。1980年、私がフンボルト奨学研究生としてドイツ・ミュンヘン工科大学に留学するとき、常務理事

の浜田教授に合う機会があった。この夢を話したとき、先生は若輩の私の話に熱心に耳を傾けて下さったのを今でも覚えている。

ドイツから帰国後、突然、浜田教授からお呼びがかり、「塚田君、学内の学際的研究会のメンバーを推薦しておいたよ」といわれた。その名簿に基づいて学内研究会が始まったのは1983年4月のことである。教育哲学の福井先生、ミツバチ研究の佐々木先生、心理学の大竹先生、経営学の川野先生等が常連のメンバーであった。この間の学内においては、玉川大学のトップの小原哲郎名誉総長と小原芳明学長は若い研究者の夢を大切にするとともに新しい全人教育の展開に熱心であった。宗教、哲学、心理学、科学を包含する学際的研究を実施する脳科学研究施設を学術研究所に創設してはどうか、そのための準備会を勧告したのは今から26年前のことである。当時哲学の福井先生（現在、鎌倉女子大学長）、佐藤（久）先生（前、リベラルアーツ学部長）、佐々木先生（前、農学研究科長・部長）、心理学の大竹先生（前、教育学部教授）、斎藤先生（前、工学部教授）と学際的研究として玉川大学に脳科学研究施設を創設（1991年）し、生命観部門を含めた文化系と生物理工系の接点の上に玉川大の脳研究の基盤が確立した。その頃、日本国内の脳研究においては、アメリカの“Decade of Brain”に対抗して、「脳とニューラルネット」（代表甘利）の文部省重点領域プロジェクトが始まっていた。この共同研究では、医学系を代表する酒田（前日大教授、故人）、外山（前京都府立医大教授）、津本（阪大教授）と工学系の甘利（前東大教授）、福島（前阪大教授）、塚田（玉川大教授）らの諸先生の協調による全日本ネットワークであり、21世紀に向けて、脳科学の全日本研究体制が誕生することになった。この体制は12年間継続し、「脳の世紀運動」（伊藤先生、金澤先生）へと引き継がれた。

玉川発進の国際会議「ダイナミック・ブレイン・フォーラム」

甘利先生から「ダイナミック神経回路網の日本発世界トップ・グループを作れ」との要請があり、ダイナミック・ブレイン・グループとして、津田先生（当時九州工業大学、現北海道大学教授）、合原先生（東京大学教授）、藤井先生（京都産業大学教授）、奈良先生（広島大学教授）、筆者の5人が安曇野の山荘に集まり、夜を徹して議論した。この議論は「ダイナミック・セル・アッセムブリ仮説」として、Neural Networks 誌（1996）に掲載された。玉川に起点を置くダイナミック・ブレインの考え方は理化学研究所の甘利俊一脳科学センター長、玉川大学小原芳明学長の支援を得て、玉川国際ダイナミック・ブレイン・フォーラムとして、1996年から現在まで、16回続いている。

他大学との共同研究—若い脳研究者が玉川に集まる—

1995年には未来開拓プロジェクト（安斎祐一郎代表）の「情報表現の自己組織化と学習ニューロチップ」のリーダを務めることになり、ニューロ・コンピュータへの応用の可能性を追究する研究が始動していた。この研究は玉川大学制御研究室、東北大学・医用電子の星宮研究室、東京大学数理科学の合原研究室の共同研究であった。玉川大学の意欲的な院生、小林、藤原（現在、山大・医）、阿蒜、松田（哲）（現在、玉川大・脳研教授）、大神田、北原、桜井、川井、児玉、芳賀、金城、碓井、三橋、塙、高井、杉浦らに加え、慶応大理工学研究科から優秀な大学院生（山本（現在、MIT）、高橋（宗）（現在、玉川大脳研）、高橋（晋）（現同志社・脳研）、武田、宮崎、島崎（現在、理研）、岡崎、高浦。東北大学から加納（現芝浦工業大学）、早稲田大学から、龍野（現NIH）、松田（広）（現鎌倉女大教授）。上智大から福島（現川崎医療福祉大准教授）、北大から山崎、東大から渡辺（現東北大）が共同研究に加わった。若い脳研究を志すポスドクや大学院生で研究室は活気付いた。

天空から降りてきた COE

文部科学省は全ての研究補助をボトムアップな科学研究費補助金の枠組みの中で決める方向を打ち出していた。この中で提案されたのは「21世紀COEプログラム」（2001）である。各大学の独創的かつ世界トップクラスの研究を助成するために、5分野20件程度の研究プロジェクトを選び、5年間数億円の規模で研究助成するというものであった。

私も、COEに挑戦することを決意した。このプロジェクト申請の条件は、玉川大学を代表する学長が如何に申請プログラムを支援するかが重要なポイントの一つであった。

学長にプロジェクト申請の相談に行った時のことである。学長が私に“どのビルディングがほしいのか”

と尋ねられた。私は、3000 平米の研究施設を要望した。脳研の現在のビルや MRI 棟が与えられた。学長の意気込みに惚れた。申請書「全人的人間科学プログラム」は塚田、斎藤を中心に夜を徹して書いた。その最後の夜に斎藤先生のお母さんが天に召されたが、斎藤先生は私とこの申請書を書き続け、親の死に目にあえなかった。

我々の申請はヒヤリングに進むことができた。嬉しかったが、厳しい壁を越えねばならなかった。このヒヤリングに際し、甘利先生からの助言があった。大学院重点政策の一環であるから、質問者は玉川大学のプロジェクトの弱点を突いてくるだろう。そのとき、質疑応答では、相手の指摘に、NO というのではなく、YES といったうえで（弱点をみとめたうえで）反論するよう助言された。当日、審査員の一人から、「世界トップの研究するためには、大学院生の数があまりにも少ないではないか」と質問された。私は、甘利先生の助言を思い出して、「はい、そうです。しかし、東大、慶応、早稲田などの他大学から 12 名の院生やポスドクと一緒に研究をしています」と答弁した。それ以上の追及はなかった。他大学との共同研究の実績が認められた場面であった。

2001 年 COE の申請より遡ること 10 年、1991 年には、学際的脳科学研究施設を設立し、遡ること 5 年、1996 年より、毎年この分野の世界トップクラスの研究者を集めて玉川国際ダイナミック・ブレイン・フォーラムの開催、ダイナミックな神経回路網の情報表現の重要性を玉川から世界に発信、さらには、10 数年遡る学長を中心とした熱心な支援組織は、COE に合格するに相応しい準備実績として審査員の認めることとなった。

COE の支援による最大の決定は、二つの新技術を導入することにあった。ひとつは、ミツバチ研究における遺伝子技術の導入であり、もう一つは、人間の脳機能の画像化技術（fMRI）の導入であった。ミツバチの研究に遺伝子技術を導入するため、新しい研究棟に遺伝子操作技術や P2 ルームを新設するとともに、東大から佐々木（哲）先生を迎え、社会的生活をするミツバチの記憶と学習の研究を進展させた。一方、人間の脳機能の画像化のために研究用 fMRI の導入には大変苦勞した。坂上先生の強い主張は今でも忘れないが、だれがこの装置を維持し、面倒を見るかが大問題であった。この相談に乗ってくれたのが ATR 脳科学研究所の所長・川人先生であった。玉川・脳研の fMRI を軌道に乗せるために、私の研究室の卒業生松田（哲）（現在・脳研教授）を医科歯科大から迎えるとともに、川人先生は実績のある ATR の研究者・正木博士を数か月にわたって派遣してくれた。ここに ATR—玉川脳研間の fMRI ネットワークの源泉がある。

しかし、2 年後の中間評価は極めて厳しいものであった。評価委員の一人から、「ミツバチの脳の研究は玉川の伝統で理解できるが、サルの高次脳機能脳の研究は意味がないのではないかと厳しく畳み掛けて質問され、反論の余地を与えられなかった。実に悔しい思いであった。我々の研究目的の一つは、「ミツバチ脳、ネズミ脳、サル脳、ヒト脳の比較を通じて、記憶・学習の情報表現の本質的な違いは何か？」を追求することであった。人間とサルの本質的違いはどこにあるのであろうか？ それに分かれれば人間の教育に生かせると考えていたからである。評価委員の中にはその重要性を理解できない人もいた。実に残念であった。中間評価の結果、現地調査が実施された。玉川脳研の研究施設には、10 匹のサルを同時に実験できる設備や、人間の脳機能の画像化装置 fMRI が稼働し、理科系から文科系までさまざまな学科を卒業した若い研究者（ポスドクや院生）が情熱をもって共同研究に励んでいた。評価委員は直接面接し、若手研究者の意欲に動かされた。評価は B から A へと変わった。ある評価委員は次のように述べた。「玉川の脳研には、いろいろの専門分野の異なる研究者が協調して脳科学の研究している。私の経験においてもこの考え方による研究体制は重要である。この体制を貫いて成果を上げて頂きたい」と励ましてくれた。

このプロジェクト「21 世紀 COE」（代表・塚田）の採択後、5 年間の評価はこの領域のベスト 8 に入る実績をあげ、さらには「グローバル COE」（代表・坂上）へと発展することになった。

学長のトップダウンの意気込みと支持によって、脳科学研究所の創設（所長・丹治）へと発展する。玉川学園の創立理念である全人教育の理念を脳科学の知見を踏まえ新次元に展開するものであった。玉川大学脳科学研究所では所長・丹治から木村に引き継がれ、若き研究者が主体性と協調の精神を持って思い切って独創的研究ができる基盤が着実に育っている。脳研究は忍耐強く持続することこそ重要である。人間とは何かという本質的課題に向けて人類に貢献する研究を期待している。