



研究室紹介

## 大阪大学大学院生命機能研究科 脳神経工学講座 視覚神経科学研究室

大澤 五住\*

Visual Neuroscience Group, Laboratories for Neuroscience,  
Graduate School of Frontier Biosciences, Osaka University

**Key Words :** vision, perception, stereopsis, binocular vision, neural representation,  
視覚, 知覚, ステレオ立体視, 両眼視, 脳内表現

### 1. はじめに

私たちの研究室は平成14年4月に発足した生命機能研究科の6基幹講座の一つである脳神経工学講座に所属している。生命機能研究科はこれからの生命科学の分野で最先端研究をおこない国際的にもトップレベルの研究者を養成するため、医学、理学、工学を融合した新しい理念にもとづく研究科である。このため、従来のような前期・後期に分かれた博士課程を置かず、5年一貫制の博士課程による教育研究を行っている。私たちの研究室を含めて、脳神経工学講座の多くの研究室は「科学と技術の融合」を基本理念に掲げる基礎工学研究科の生物工学分野から移籍し、さらに分野間の融合を生命の研究、特に脳に関して推し進めようとしている。生命機能研究科は学部を持たない独立研究科だが、多くの教官が学部教育を兼担しており、私は日々基礎工学部の学生と電子回路、生体計測学、生物情報論などの授業と卒業研究を通じて接している。生物学と同等あるいはそれ以上に数学、物理や工学的考え方を重視する基礎工学部生物工学分野の理念を実践的にたたき込まれた学生たちが生命機能研究科に進学してきており、分野の融合に関しては長い伝統をもつ基礎工学部の理念をさらに新しい研究科において発展させようとしている。また、生命機能研究科では入学生

の6割が阪大以外の大学出身(15年度入学生実績)であることから、全国から優秀な大学院生を集めた刺激の多い環境を作り出している。私自身は基礎工学部の出身ではないが、学部で電子工学を専攻した後、カリフォルニア大学で20年余り脳の視覚系の研究を行うことで、自分なりの分野の融合を試みてきた。言語や国の文化の違い以上に研究分野間での文化や考え方の違いは融合を阻む原因にもなる。微力ではあるが、自分の経験をいかすことができる環境を阪大において与えられたと感じている。

当研究室は2000年4月に発足してから3年目の新しい研究室だが、ようやく研究室の陣容も整い小林康助教授、田中宏喜助手、畑中信技官、大学院生(博士2名、修士11名)、学部4年生7名というかなりの大きさになった。

### 2. 研究概要

当研究室の基本的な目的は、視覚に関係する脳の領域の神経活動を個々の神経細胞の反応として実際に記録しながら視覚刺激や学習条件などをコントロールし、脳の情報処理の機構を解明することにある。具体的な主な手法としては、ネコやサルなどの動物の視覚を司る脳領域に微小電極を挿入し細胞の活動電位を記録しながら、コンピュータ画面上に生成した視覚刺激を目から導入することで、網膜から記録している細胞までの入出力関係をシステム論的に計測し、数理モデル化しようとしている。また、脳活動の光学的イメージングなどの手法も併用している。以下に、主な研究プロジェクトについて述べる。

#### (1) 両眼立体視の脳内機構とモデル化

人間や高等動物の多くは2つの目を顔の前面に持ち、視野の大部分を両方の目で見ることができる。両眼の視点は目の間隔分だけ少し異なっているが、

\* Izumi OHZAWA  
1955年11月生  
1986年カリフォルニア大学バークレー校・視覚生理学プログラム博士課程修了  
現在、大阪大学・大学院生命機能研究科・脳神経工学講座・視覚神経科学研究室、教授、Ph.D, 視覚生理学  
TEL 06-6850-6520  
FAX 06-6850-6557  
E-Mail ohzawa@fbs.osaka-u.ac.jp



この視点の違いにより2つの網膜像には両眼視差と呼ばれる像の位置ずれが生じる。脳はこの小さな両眼視差を有効に活用し、2枚の2次元画像から3次元世界の知覚を我々に与えてくれている。このようなステレオ立体視はどのようにして脳で実現されているのだろうか？当研究室の目標の一つは脳で実際に機能しているステレオ立体視の原理を生理学的実験および計算モデルにより解明することである。

もちろん、1980年代頃からステレオ画像から奥行きマップを作り出すための計算法は、いろいろ開発されてきている。最も有名な例としては、各単眼画像をバンドパス・フィルタを通し、その出力のゼロ交差を左右画像間で対比させ、両眼視差を計算する方法がある。ステレオ視の機能に限定すればこれは有効な計算法であるが実際の脳で行われている計算とは異なる。脳で最初に視覚入力を受け取る領野、すなわち一次視覚野では両眼から線形に入力を受けとり、両眼画像を図1のようなある種の線形ウェーブレット変換したような形で視覚情報を表現している両眼性の細胞層がある。この層の細胞は単純型細胞と呼ばれる。図1はある視野領域を受け持つ多くの神経細胞が外界を覗くため「窓」の集合を表している。これらの窓のことを細胞の受容野と呼ぶ。この図から分かるように、いろいろな角度と大きさの受容野を持った細胞の活動がセットとなって各視野領域の画像ブロックを表現している。余談ではあるが、実際の窓の形は異なっているが、このような画

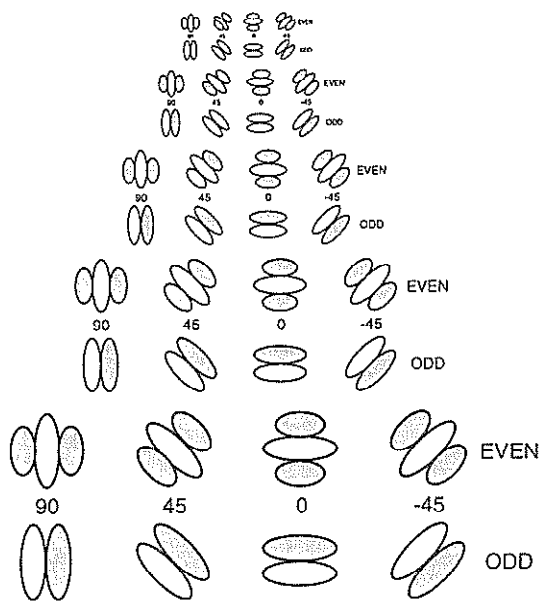


図1 一次視覚野の単純型細胞の受容野

像表現は画像や動画ファイルで使われるJPEGやMP EG4等の符号化法と非常によく似ている。コンピュータによる画像処理に先立つこと何万年、脳が既にこのような符号化法を獲得していたのは興味深い。

さらに、1段目のいくつかの単純型細胞の活動の2乗和を図2のような神経回路で計算するような、一次視覚野では2段目の細胞層があり、「視差エネルギー」(disparity energy)という量を計算していることが我々の研究によりわかった。この層の細胞は複雑型細胞と呼ばれている。さらにこれらの複雑型細胞の多くは、両眼視差情報と同時に動きに関する情報も「運動エネルギー」(motion energy)という量により表現している。つまり、一次視覚野での情報表現はまだステレオ視といった特定の機能に特化してはおらず、奥行き、物体の動き、形、色など、すべての視覚情報を表現していることが分かってきた。このように多くの種類の情報が神経細胞の活動で表現されている状況、すなわち多重表現としての視覚情報処理の機構は、まだあまりよく理解されていない。我々の今後の目標の一つは、このような多重表現から必要なさまざまな情報が抽出されていく脳内プロセスを一次視覚野を起点として順次高次の脳領域での理解にまで推し進めていくことである。

ステレオ視に機能を限定したゼロ交差検出法などの従来の手法は、確かに工業用ロボットの視覚などへの応用では有効だが、動物や人間のようにどのような視覚環境にも適応できる高度な認知機能を支えることはできないだろうと考えている。この意味では、生物に倣う余地はまだ無限にあるはずで、そこに生物の脳で行われる視覚情報処理を理解する

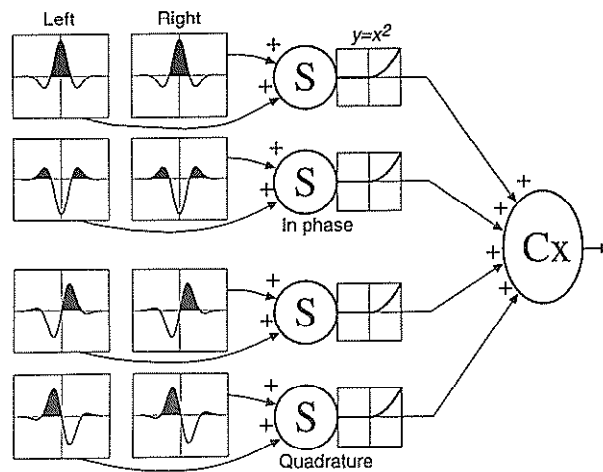


図2 視差エネルギーモデルの神経回路構造

1つの大きな意義があると考ええる。

## (2) 大脳における階層処理と脳の座標系

視覚情報は網膜の視細胞での2次元画像としてのデータから出発して、一次視覚野での第一段目の単純型細胞による線形ウェーブレット表現に変換される。さらに、一次視覚野の2層目、複雑型細胞では視差エネルギーや運動エネルギーの表現形態をとっていることは既に述べた。では、一次視覚野の次の領域の一つである二次視覚野では、いったいどのような量が表現されているのだろうか？ 脳内の神経細胞がどのような量を計算し、表現しているかを知ることが、いわば脳の座標系を理解することでもあり、視覚を理解する上での根本的な問題である。一次視覚野の単純型細胞では座標軸は画像の各領域に含まれる明暗によるパターンの角度と大きさであった(図1)。二次視覚野を始め、さらに高次の視覚領域での神経活動は、下位の領域の細胞の活動を統合したものであると考えられる。

当研究室ではこの問題を神経細胞の受容野の精密測定と計算モデルによる理論的な研究によって行っている。神経細胞の受容野とは、工学的表現をすればいわば細胞のインパルス応答であり、それを完全に知ることはシステムの完全な理解と等価である。実際には、脳はとてつもない多層の非線形系であり、通常非線形システム解析などの手法をそのまま適用することはできない。生理学的実験をやってみればすぐ分かることであるが、理論的には可能であっても、1つの神経細胞から記録することができる時間の制限が重くのしかかってくる。この限界を乗り越えるための様々な工夫を視覚刺激や分析法に適用することで、高次の脳領域の神経細胞の受容野を測定しようとしている。現在は、二次視覚野を中心に、このような高次受容野の実験を行っている。このような研究手法は、従来の生物学とはだいぶ異なるア

プローチを使用しており、まさに基礎工学部や生命機能研究科の分野融合の理念を具体化する一例であると考ええる。

## (3) 眼球運動と視覚

ヒトと含む高等動物では、目は単に受動的に外界の光刺激をうけて脳に情報を送り出しているのではない。脳は能動的に眼球を視野のあちこちに動かし、短時間の間に効率的に重要な部分の情報だけをサンプリングしている。つまり、視覚を本当に理解するためには、このような能動的な要素を考慮したシステム解析が重要である。現在、この面でのプロジェクトとして、小林助教授を中心に視点を大きく動かすときに起こる衝動性眼球運動(サッカード)と呼ばれる眼球運動と視覚の関係の研究を行っている。サッカードが起るまでの反応時間の制御を指標としてサッカード課題の訓練を施したニホンザルにおいて行動学および生理学的解析を行い、脳幹-大脳基底核系を中心とした報酬による強化学習および注意と動機付けの制御に関わる神経機構を調べる研究を行っている。

## 3. おわりに

3年足らずの間に、カリフォルニア大学から大阪大学への移籍、さらに基礎工学研究科から生命機能研究科への移籍と大きな環境の変化があった目まぐるしい時期であったが、何ものにも代え難い充実した研究と学生との共同作業を楽しませてもらっている。基礎工学研究科と生命機能研究科の方々、特に(旧)生物工学分野の方々には多大なサポートをいただいている。遺伝子、ナノバイオロジーとともに脳は生命科学の大きなフロンティアである。脳の複雑さを思うと、どこまで到達できるかは分からないが、学生・スタッフと協力して、脳機能の解明にむけて研究をつづけていきたい。

