

「脳のダイナミクスと意識」セッションの企画について

京都産業大学 工学部 伊藤 浩之

今回の複雑系研究会において多賀（以下敬称略）と「脳のダイナミクスと意識」というタイトルのセッションを企画した。今回のセッションでは「動的な情報表現」と「意識をいかに理解するか？」をテーマとして関連する研究者を講演者として選択した。櫻井（京大、霊長研）、苅阪（京大、心理）、津田（北大、数学）という分野の異なる3人の研究者の講演を連続させるという形でセッションは進行したが、伊藤が始めにセッションの意義を簡単に説明した。以下の文章は、その内容をもとに再構成したものである。この内容はあくまでも、企画者側の意見であり、当然の事ながら3人の講演者はこの意図とは全く独立に各自の立場から主張を行った。

まず、このセッションを企画するに当たっては「現状の脳研究において何が本質的な問題なのか？」という事を明確にしておきたいという願望が基礎となっている。脳研究というものが非常に興味深い問題を多く含んでいることは理解できても、実際の研究に当たっては、「それらの問題を論理的に探求して行くためにはどのような方法論を取れば良いのか？」とか「実験と理論との分離が本質的に不可能な脳研究において、研究の方向づけの基盤となるパラダイムの構築は如何に行われるのか？」など基本的な問題を避けては通れない。特に今回取り上げた「動的な情報表現」や「意識をいかに理解するか？」などの課題を真面目に考えると、この問題を回避する事はこれらの課題の持つ本質そのものを放棄する事のようにすら思われる。

Hubel & Wiesel の功罪

60年代のMountcastle, Hubel & Wiesel らによる機能的に特殊化した単一細胞の発見とその理論的構成として提出された Barlow の「単一細胞仮説」は、「単一細胞＝ひとつの機能」という情報（機能）の細胞レベルでの局在を原理とした。視覚皮質での低次視覚情報処理に関しての Hubel & Wiesel の研究におけるこれらの発見は、位置、色、形、方位、運動方向などの物理的特徴が超並列処理される脳のアーキテクチャを「ハイパーコラム理論」として定式化した。これは、ニューロンの発見以来の大きなパラダイムシフトをもたらした。現在の神経科学における研究は、このパラダイムから支配的影響を受けているように思われる。このパラダイムに基づけば、研究における指導原理は、以下の二つの原理としてまとめることが出来る。

原理Ⅰ：「測定している単一細胞を最大に発火させる刺激、課題は何か？」

外界の刺激に対応する脳内の「もの」を探せ。

原理Ⅱ：外界の刺激（物理的対象）と脳内での物理的事象を外部の観測者が対応づける。

外界と脳内の物理現象の写像を調べ、整理することにより脳の情報処理メカニズムは解明される。

しかし、最近の神経科学の理論的および実験的展開において（特に今回のセッションで取り上げたような問題に関しては）、これらの原理が絶対的なものではないことを暗示している。

原理Ⅰの危機： 関係性による情報コーディング

個々の細胞の機能は、それ自身では決定しない。

機能は、他の細胞との関係性という文脈の中でのみダイナミックに決定する。

脳内の「こと」による情報表現

例1：Hebb アセンブリーによる分散的信息表現

「外界の一つの刺激」は「皮質内の細胞集団」と関係付けられる。

「心理学的時間に渡って同時に平均発火率を上昇させている細胞の集団」が情報をコードする。

(Hebb 1949)

- 一つの対象（「私のおばあちゃん」、「赤い」など）自体が、複数の細胞の活性の組み合わせで表現される（分散表現）。
- 一つの細胞は、集団のメンバーを変えることにより、複数の情報表現に参加できる。

例2：細胞集団でのスパイク発火タイミングによる関係性コーディング

Gray & Singer（同期振動現象）、Vaadia & Aertsen, 櫻井（スパイク相関の文脈依存性）などの実験データ

Vaadia の実験データ（覚醒サル、運動前野）

2つの異なる課題実行下での2つのニューロンの活動の同時記録において、どちらの課題においても、どちらのニューロンも平均発火率を変化させない。これは、Hubel & Wiesel 的なパラダイムに従えば、ニューロンはこれらの課題に関与していないとしてデータは棄却される。しかし、2つのニューロンのスパイク発火の非定常的な時間的關係性において2つの課題の違いが検出される。

- ニューラルネットワークでの情報処理過程は、本質的にダイナミックであり、細胞集団のスパイク発火の非定常的な関係性として検出される。
- 力学的状態による情報表現

原理Ⅱの危機： 知覚、意識の問題に含まれる論理的複雑性

例えば、実験者が実験対象の脳内において「赤」色の視覚刺激を提示した時に特異的に生じる「物理的事象」を発見したとする。単一細胞であれば「赤」ニューロンとでも命名される。この場合、「物理的事象」は、単一細胞の発火率の増加、細胞集団の発火率の増加、細胞集団のスパイク発火間の非定常関係性など何でもよい。ここで、原理Ⅱに従って「刺激（外界の物理対象）」と「脳内の物理的事象」の対応を観測する実験者は、脳内に同じ「物理的事象」が生じた場合、外界での「赤」色という「刺激（外界の物理対象）」の存在を推論する事が出来る。

では、実験対象の脳自身は、自分の内部の「物理的事象」をいかに解釈して「赤」の知覚を構成するのか？ 脳自身にとっては「外部の物理対象」など存在しない。あるのは「外部の物理対象」によって引き起こされた「脳内の物理的事象」のみである。これは、単なる神経細胞の時空間的活動であり、

どこにも「赤」というクオリアは存在しない。では、この本来意味の存在しないはずの「脳内の物理的事象」に「赤」という属性を対応させる論理は脳内という閉じた世界において如何に発現したのであろうか？ 果たして、Hubel & Wiesel 的な研究パラダイムの延長線上にこのような「知覚および意識とはなにか？」という問題への理解が存在するのであろうか？「脳内での物理的事象そのものが認識であり、何もそれ以上のものは必要ない」という解答は全く正しいが、何も本質的な問題を解明していない。

結局、原理的に我々にできることは、脳で生じているダイナミクスの物理的測定であり、これは研究者の設定した実験プロトコルの上に投影された脳のダイナミクスの断片をかき集める作業である。研究者自ら、脳のダイナミクスに対するモデルを設定し、これらの断片的データをモデルに当てはめていく逆問題を解いていく。この作業をつなぎ合わせて、手持ちのモデルをフィルターとして眺めた場合の脳のメカニズムに関する可能なシナリオを構築する。

脳は、脳自身の活動を自身のモデルにより解釈し、脳内世界を構成する（自己言及系）。一方、我々実験者は、実験対象の脳の活動を我々の設定したモデルで我々が解釈する。本来は、切れ目の無い一連のプロセスを、我々の都合から勝手に切れ目を入れて、

前半のシナリオ： 外界の刺激が脳内にいかに取り込まれるか？

後半のシナリオ： 自分自身を解釈する脳をいかに外から記述するか？

とシナリオを作り、他人の頭を自分の首に移植するかのように傷跡少なくつなぎ合わせる作業が当面の研究方策ではないか？これもすべて、人の脳を理解したい自分の脳を有する研究者のジレンマである。切れ目を入れてしまって内部が外部と接触した段階ですべてが駄目になるという可能性もある。

最後に「複雑系5」の研究会に参加しての個人的な印象を述べさせて頂くと、自分の企画した「脳のダイナミクスと意識」セッション自体の内容よりも、他のセッションでの講演からより多く「脳研究」へのヒントが得られたように感じた。研究会全体を通して、表面上は全く異なる問題ではあるが背後に潜む論理的複雑性というレベルにおいて驚くべき共通性が存在するように思われた瞬間が少なからず存在した。これは、単に私が色眼鏡をかけているのでも、トビックスがマンネリ化したのでも無い事を願っている。今回集まった研究者が、自分の抱える問題に対して他の分野から独立してよりローカル（専門的）に研究を深めていく事が、結局は複雑系という問題の抽象化をグローバルに進めていく作業になるという逆理を信じている。

参考文献

伊藤浩之、「脳におけるダイナミカルな情報コード」

数理学 4月号「生命システムの多様性とそのモデル」27-37 (1996).

H. Fujii, H. Ito, K. Aihara, N. Ichinose and M. Tsukada

Dynamical Cell Assembly Hypothesis - Theoretical Possibility of Spatio-Temporal Coding in the Cortex
Neural Networks, vol. 9 1303 - 1350 (1996).

F. クリック 「DNA に魂はあるか 驚異の仮説」 中原 英臣訳 講談社 (1995).

木村 敏 精神病理学（分裂病）に関する諸作