

脳機能をダイナミックなネットワークとして理解する —ダイナミックブレインネットワーク研究室



研究室紹介

北澤 茂*

Understanding the network for brain functions
—Dynamic Brain Network Laboratory

Key Words : optimization reaching movements cerebellum temporal order autism

1. 研究室のミッション

ヒトの脳は知覚・運動・認知からコミュニケーションまで多彩な機能を発揮しています。1000億のニューロンの一つ一つが1000個とつながって構成される複雑なネットワークはどのようにしてこれらの機能を発揮しているのでしょうか。1861年のプロカ野（言語野）の発見以来、脳の研究は機能局在を追及することで発展してきました。しかし、局在する一領域、一コラムを取り出しても脳は機能しません。局在した複数の領域が動的に連携して初めて意味のある機能が発揮されるのです。生命機能研究科・ダイナミックブレインネットワーク研究室は、脳が発揮する大切な機能から出発して、その機能に関係する脳のネットワークとその動作原理を解明することを研究テーマとしています。

2. 注目している研究テーマ

テーマの1つは大学院以来取り組んでいる運動制御の研究で、手や眼を効率よく動かすための神経メカニズムの解明です。2つ目は、2つの信号の時間的な順序を脳がどのように決めるのか、というWhenの脳科学です。3つ目はコミュニケーションの脳科学です。前任地の順天堂大学ではコミュニケーションの障害を特徴とする自閉症の治療研究を5年にわたって行いました。以下、簡単に研究テーマ

について説明します。

テーマ1. 運動制御・学習の神経機構に関する研究

私達は、物を手に取ったりボタンを押したりするたびに、対象に手を伸ばしています。ありきたりの運動ですが、実は力の変化が最も少ない最適な運動が選択されています。運動指令に信号の大きさに比例した分散のノイズが乗るという条件のもとで、終点の誤差の分散を最小化する運動が実現されている、という説もあります²。どのようにして脳は運動の「最適化」を行っているのでしょうか。

到達運動がなめらかに行えるのは小脳と大脳が作るループのおかげです（図1）。しかし、運動野—橋核—歯状核—視床—運動野が作るループは興奮性で、このままでは発散してしまいます。このループにブレーキをかけて強弱の時系列を作るのが、小脳のプルキンエ細胞です。プルキンエ細胞と平行線維の間のシナプス結合は、下オリーブ核の登上線維からの信号に応じて可塑的に変化します。運動の最適化は、この学習の仕組みをうまく使ってブレーキのタイミングと強さを調整することによって実現されているに違いありません。

私達は小脳の出力を歯状核で遮断すると、運動が加速減速を繰り返すようになり、最適化された運動が失われることを示しました。つまり小脳—大脳のネットワークは確かに最適化に貢献しています。一方、登上線維信号には到達運動の終点の誤差（手と対象のずれ）の情報が表現されていることを明らかにしました。登上線維の誤差信号を使って、運動の終点の誤差の分散が小さくなるようにシナプス荷重を調整するにはどうすればよいのか、が解決すべき問題です。私達は、信号のランダムな「ゆらぎ」が最適化に重要な役割を果たしているに違いない、



*Shigeru KITAZAWA

1962年12月生
東京大学大学院医学系研究科博士課程
(1991年)
現在、大阪大学 生命機能研究科ダイナ
ミックブレインネットワーク研究室
教授 医学博士 神経生理学
TEL : 06-6879-4431
FAX : 06-6879-4437
E-mail : kitazawa@fbs.osaka-u.ac.jp

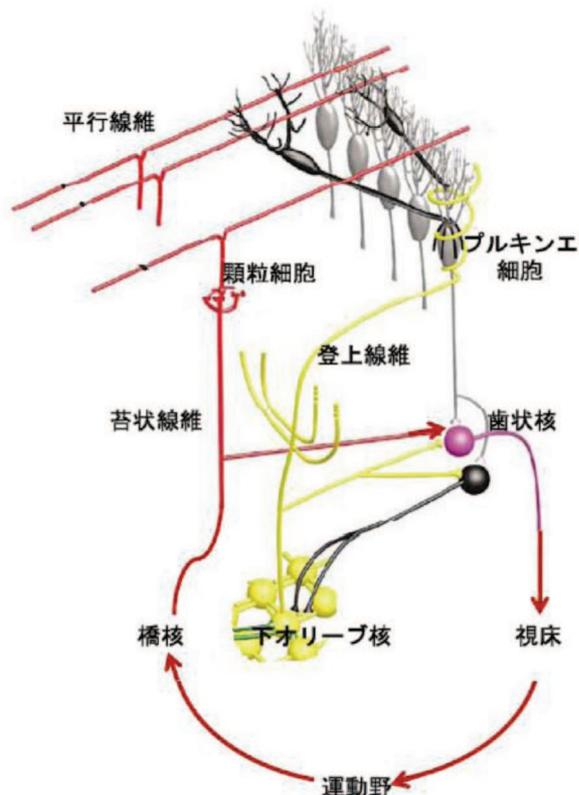


図1：「最適化」された運動を実現する小脳-大脳ネットワーク

と考へて「ランダムウォーク仮説」を提案しました。このモデルを検証するための研究をヒトとサルを対象にして続けています。

テーマ2. Whenの脳科学

運動の最適化の研究を進める中で、コンピュータと脳には決定的な違いがあることに気がきました。コンピュータでは、運動指令の時系列を配列として宣言します。配列で宣言された信号の時間順序は崩れないので、安心して繰り返し計算を施して最適化することができます。しかし、脳にはそのような都合のよい仕組みはありません。信号が多数のループの中を行き交うので、信号の順序は簡単に入れ替わるはずで、しかし、われわれはなかなかの精度で感覚信号の時系列を処理しているし、見事な運動指令の時系列も作り出しています。脳はどのようにして、信号の時間順序を表現したり、保存したり、再生したりするのでしょうか。

われわれは、最も単純な2信号の順序を決定するという課題として、右手と左手に加えた刺激の順序

を判断する順序判断課題を使った研究を進めています。手を普通に置いて刺激を加えると、刺激時間差が50ms程度あれば、8割程度の確率で正しい順序を答えることができます。ところが、手を交差すると刺激時間差200ms程度のところで時間順序判断が逆転します。手を交差するだけで、時間順序が逆転するのは、信号の時間順序が皮膚座標系のレベルの信号を使って決まるのではないことを意味しています。さらに高次の領域で、空間内で位置づけられてから時間順序が決定されるということになります。MRIを使って人の非侵襲脳活動計測をしてみると、空間に関係する領域の他に、「動き」を表現するとされてきた領域も時間順序の判断に伴って活動することを発見しました。これらのデータから、脳は2つの信号で生じる「変化=動き」のベクトルと、2つの信号の空間位置に分解された情報を統合して、時間順序を再構成する、という「動き投影仮説」を提唱して、その検証を進めています。

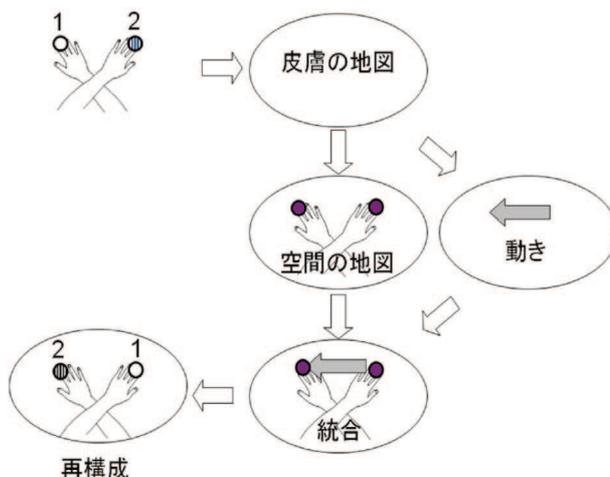


図2：信号の順序を判断するためのネットワーク (動き投影仮説)

テーマ3. コミュニケーションの脳科学

自閉症はコミュニケーションの障害を特徴とする発達障害です。社会性の障害、言葉の遅れ、繰り返しの行動、の3症状が3歳以前に発症すると、自閉症と診断されます。自閉症と診断される子どもの数は、30年前の10倍以上に増えています。また、男児は女児の5倍程度多く発症します。今や、男児では50人に一人が自閉症スペクトラム障害と診断されるほどの数に上り、社会的にも大きな問題となっ

ています。

ここ数年の研究の結果として、自閉症は脳の長距離接続の低下で特徴づけられる「離断症候群」ではないかと考える研究者が増えています。実際、自閉症で障害される社会性、言語、コミュニケーションの機能には脳の複数の領域が関与しますから、長距離接続の不足でこれらの機能は低下するでしょう。また男性の脳は女性の脳に比べて、長距離線維が少ないことが知られています。男児に自閉症が多いのも長距離接続の不足でよく説明できます。

私達は、自閉症のコミュニケーション障害を定量的に捉える課題の開発に取り組んできました。例えば、ビデオを見る際の視線の時系列パターンの相違を多次元尺度法を使って定量化して、自閉症児群と対照群を87%の確率で弁別できることを示しました。他にもすき間の後ろを通過する絵を判断するスリット視課題や、瞬目のタイミングの引き込みに注目した定量指標の開発を進めてきました。今後は、これらの定量化された機能が脳のどの領域間のいかなる情報通信によって支えられているのかを明らかにしたいと考えています。

自閉症の方の具体的な脳の情報通信の弱点がわかれば、それを補うような教育法、治療法の開発にもつながるでしょう。

3. 研究室のメンバーと進路

これまでの研究は、神経科学（神経生理学）、工学、教育学、心理学、医学、など異分野にまたがるバックグラウンドを持つメンバーで進めてきました。研究室から巣立った人たちの多くは、研究所の常勤研究員、大学の助教などの研究・教育職、新聞科学部記者や大学病院医師など研究の経験を活かせる道に進んでいます。

4. 今後の展望

阪大吹田キャンパスでは、「脳情報通信融合研究センター」の新しい実験棟の建設が進んでいます。これまでの心理学的な手法や、動物を使った生理学的な手法に加え、間もなくこのセンターに装備される7TのMRIや脳の微弱な活動を捉える脳磁界の計測機を駆使して、脳内ネットワークのダイナミックな情報処理機構の解明を目指した研究を進めていきます。

また、国内では順天堂大学、東京大学、昭和大学など、国外ではHFSP国際共同研究を通じてJohns Hopkins大学、Lyon大学、Montréal大学、Birmingham大学などと連携しています。これからも学際的、国際的な研究を進めていきたいと考えています。脳機能に興味があって研究してみたい人は、ぜひ相談に来て下さい。

