

脳内時間表現ラボ (Mental Timing Lab.)

研究項目：脳における時間表現の研究
研究期間：平成9年度～12年度

1. 研究の背景

脳の素子間の通信にはミリ秒の時間がかかり、しかも複数の素子を経由して通信が行われるために、情報処理の過程で時間の前後関係は容易に逆転しうる。ところが脳は、同期用の水晶時計もなしに100-1000億の素子を協調させて高度な情報処理を実現している。脳の中には時間を安定して表現するための何らかの原理が隠されているはずだ。脳の中で時間がいかに表現されているかを調べ、脳だけが真の意味で実現している非同期並列情報処理の基本原理に迫ることが本研究の目標である。

2. これまでの研究経過と現状

具体的には、複数の事象の時間順序が脳のどこで、どのように表現されているかを解明することを目標として研究を行ってきた。

2.1 時間順序判定の優位半球

右手と左手に加えた刺激の時間順序を判断する状況を例としよう。右手の信号は左の一次体性感覚野、左手の刺激は右の感覚野に到達する。では、時間順序を判断するのは左脳か、それとも右脳か？もし右脳で判断を行なっているならば、左右両手を同時に刺激しても左手の刺激が先に右脳に到達するから、左手の刺激を「早い」と知覚するはずである。一方左脳に時間順序のセンターがあるならば、右手の刺激をより「早い」と判断するはずである。実験では被験者15名のうち8名が左脳型、3名が右脳型、4名が両側型、という結果が得られた(図1)。

2.2 時間順序判断における動き投影仮説

では、時間順序判断を行う領域はそれぞれの右脳や左脳のどこにあるのだろうか。信号処理を行えば行うほど時間順序の情報が失われていけば、一次感覚野に隣接した領域で、一次体性感覚野の信号をそのま

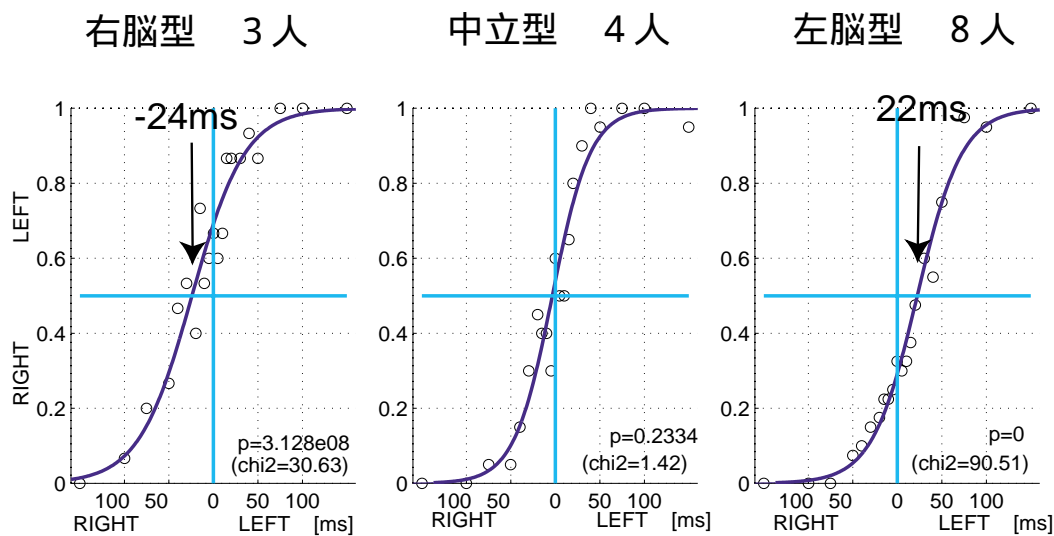


図1 時間順序判断の優位半球

横軸は右手と左手の刺激時間差（正は右手先行）。縦軸は右手が早いと回答した試行の割合。シグモイド関数でフィットした。右脳型、左脳型の被験者群ではシグモイドが有意に原点の左、右にずれていることに注目。

ま用いて時間順序の判断を行うのが有利である。しかし、一次感覚野に隣接した時間順序判定の機構が存在するとすれば、感覚の種ごとに複数の時間順序判定領域を設ける必要が生じる。

一方、一次感覚野から離れた、複数の種の感覚入力収束する連合野に感覚種に共通した時間順序判定の機構が存在するとすれば、領域を節約することはできるものの、時間順序判定の能力は落ちるので、極めてもろい時間情報を保存するための何らかの仕組みが必要となる。

我々はこの2つの可能性のいずれが脳で実現されているかを調べるために、右手と左手に与えた皮膚刺激の時間順序の判定を、左右の手を交叉した条件と、非交叉の条件で調べ、時間順序の判断に手の位置が影響を与えるかどうかを調べた。一次体性感覚野に十分近い領域に皮膚感覚専用の時間順序判定機構があるならば、皮膚表面の位置の情報が保持されていると考えられるので、時間順序の判断は手の空間的な配置には依存しないはずである。一方、時間順序の判断に手の位置が影響を与えるならば、一次体性感覚野から離れた連合野で時間情報の判定が行われている可能性、すなわち第二の可能性が示唆される。

我々が得た結果は、我々自身の予想を越えた興味深いものだった。手を交叉すると、手を交叉しない場合に比べて時間順序の判断の感度が前被験者の平均で4分の1以下に減少した。つまり、一次体性感覚野から離れた連合野で時間情報の判定が行われている可能性が示唆された。さらに一部の被験者では、手を交叉すると時間差200ミリ秒以内の刺激で時間順序判断が逆

転し、時間差を1.5秒へと伸ばすにつれて正解するようになる、という興味深い現象が見出された。我々はこの結果から200ミリ秒程度の時間差においては、「動き」として定着された動的な時空間情報を、時間的情報を持たない静的な「空間内の2点」の情報の上に投影して、時間順序を「再構成」しているだろうと予想し、「動き」投影仮説、と名づけた(図2)。

2.3 時間順序判定の脳内部位の探索

電総研に設置された最新鋭の磁気共鳴画像撮影装置を用いて時間順序判定を行う脳内部位の探索を開始した。磁気共鳴画像装置は超伝導コイルを用いて3テスラという超高磁場を発生しているため、検査室内に磁性体を持ち込むことはできない。そこで我々は空気圧を用いた非磁性の皮膚の刺激装置を新規開発し(図3)刺激の時間順序を弁別する際に活動する脳部位の検索を行っている。図4に活動部位の一例を示す。前々項の右脳、左脳型、前項の動き投影仮説、との対応関係を鋭意検索中である。

3. 研究成果のインパクト

我々の研究成果は、通信時間が問題となりうる工学的システム一般に対してのブレイクスルーを与える可能性がある。例えば、現在実用化されている同期型のコンピュータの性能を凌駕する可能性を指摘されながら、信頼性の向上が課題となっている「非同同期型コンピュータ」の設計にインパクトを与える可能性がある。

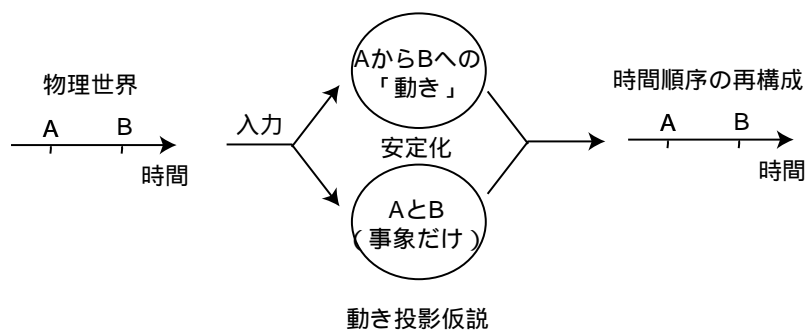


図2 動き投影仮説
物理世界の2つの事象の時間順序は、時間順序情報を失った2つの事象と、事象の情報を失った動きの情報に分解された上で必要に応じて再構成される。

電磁弁開閉システム



エアコンプレッサー



空気圧アクチュエータ



図3 非磁性皮膚刺激装置

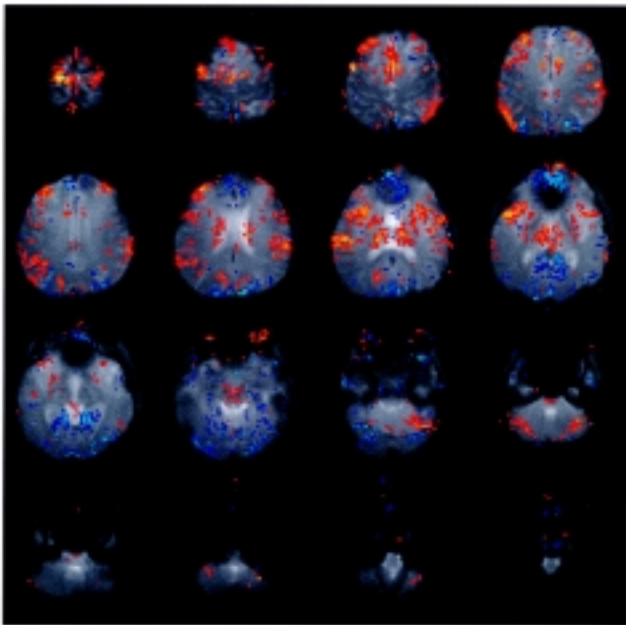


図4 時間順序判定課題遂行中の脳活動

経細胞の情報表現のレベルにいたるまで解明していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 北澤 茂 : 運動学習における時間遅れの問題 脳の科学 22: 275-282(2000)
- 2) 山本 慎也 ,北澤 茂 : ニカ所の皮膚刺激の時間順序の判定 - 動き投影仮説 - 第14回 生体・生理シンポジウム論文集 BPES '99: 239-242(1999)
- 3) Kansaku K., Kitazawa S., Kawano K. : Sequential hemodynamic activation of motor areas and the draining veins during finger movements revealed by cross-correlation between signals from fMRI, Neuroreport 9: 1969-1974 (1998).

当該研究担当者等

ラボ構成員(総数9名)

職員(7名) 北澤 茂*(情報科学部) ,河野憲二(首席研究官) ,設樂宗孝 ,松田圭司 ,西森康則(情報科学部) ,村木 茂(知能情報部) ,飯島敏夫(超分子部)
職員以外(2名) 神作憲司(千葉大学) ,山本慎也(筑波大学)

*ラボリーダー

4. 今後の研究展開の方向

我々は ,この時間順序判断の「動き」投影仮説 ,を出発点として ,ヒト被験者に対しては行動学的実験 ,非侵襲脳活動計測ならびに磁気刺激法を ,実験動物に対しては生理学的手法を適用することによって ,時間順序が脳のどこで ,どのように表現されているか ,を神