

前頭連合野のモジュール構造

Modular organization of the prefrontal cortex

澤口俊之（北海道大学大学院 医学研究科）

前頭連合野 (prefrontal cortex), とくにその背外側部は思考や推論, 計画, 問題解決などの高次な認知機能を担っている。とくに, 様々な認知機能のベースであるワーキングメモリ (working memory) のセンターとなっており, ワーキングメモリ過程に関するニューロンレベルでの研究はヒト以外の霊長類を用いてかなり進んでいる。ところが, ワーキングメモリなどの認知機能を再現する機能構築 (functional organization) の問題は, 基本的かつ重要な問題であるにも関わらず, ほとんどアプローチされてこなかった。本講演ではこの問題をめぐって行われてきた研究をレビューし, 前頭連合野が「認知コラム」から成るという仮説を提示したい。

多くの解剖学的研究によって, 前頭連合野が感覚性領野と同様に, コラム構造 (皮質円柱構造, columnar organization) を示すことが明らかになっている。コラムが機能的な単位となっていることは, 第一次視覚野や下側頭皮質の TE 野などで示されている。したがって, 前頭連合野でもコラムが機能単位となっており働いている可能性がある。

この仮説を検証するために, 私たちはサルを用いて一連の研究を行ってきた。まず, ワーキングメモリ課題を行っているサルで局所機能脱落法を用いた研究を行い, 前頭連合野に空間性ワーキングメモリのマップ, メモリマップ (memory map) が再現されていることを明らかにした (Sawaguchi & Iba, 2001)。すなわち, 前頭連合野背外側部のある部位はある特定の空間位置のワーキングメモリを再現しており, かつ, その空間位置の再現はトポグラフィックな性質をもっていた。また, 単一ニューロン活動記録を用いた研究で, 皮質に垂直方向に同様な空間トポグラフィを示すニューロンが集まっていること, ただし, そのニューロンの活動性は層によって異なることを見つけた (Sawaguchi, 2001)。すなわち, 前頭連合野背外側部の上層には視覚受容 (入力) に関係したニューロンが多く, 下層には行動反応 (出力) に関連したニューロンが多い。メモリに関連したニューロンは上層にも下層にもほぼ同様の頻度で見つかった。これらのデータは, 前頭連合野が機能コラムから成り, そのコラム内で層状の情報処理が進行することを示唆する。

この点をさらに直接的に調べるため, サル前頭連合野の脳スライスを用いた in vitro での研究を行った。この研究では皮質の各層への電気刺激によって誘発される活動の伝播を光学的に測定した。その結果, 皮質の入力層であるIII層下部やIV層を刺激するとはっきりとしたコラム状の活動が現れることをみつけた (Sawaguchi & Nakamura, in prep.)。コラムの幅は平均 750 μm で, 互いにかなりはっきりした境界をもっていた。

以上のデータを総合することにより, 前頭連合野にはワーキングメモリなどの認知機能を再現する「認知コラム (cognitive column)」が配列していることが示唆される。これら認知コラム内での層状の情報処理とコラム間の相互作用によって前頭連合野の認知機能が実現されると考えられる。