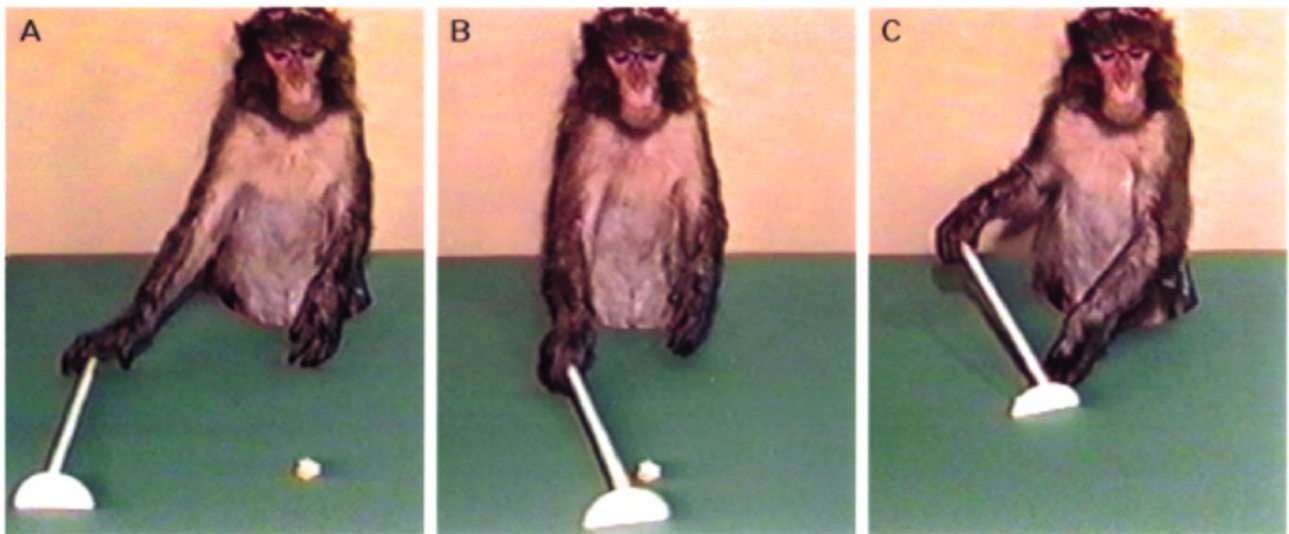


Brain Mechanisms of Symbol Manipulation シンボル操作の脳内機構



プロジェクトリーダー 入 来 篤 史
東京医科歯科大学
大学院医歯学総合研究科 教授



ニホンザルの道具使用行動：餌（リンゴの角片）を手の届かない距離に置くと、手近にある熊手状の道具を取り上げて（A）、その先で餌に到達し（B）、手元に引き寄せて反対側の手で取り上げる（C）。

1. 研究の目的

『ヒトは、進化の過程で二足で直立したことによって、歩行から開放された両手で道具を使うようになり、さらに道具を巧みに合理的に使うために脳神経系を発達させた結果、シンボル操作能力の獲得からさらには音声言語の獲得に発展し、ひいては社会・文化を持つに至った』とする考え方があります。これは、「道具使用」にヒトの高い知性の原点を求める説ですが、この道具使用能力の萌芽は、類人猿だけではなく、より下等なニホンザルでも認められています。ヒトの知性を特徴づける『言語』の起源に関する多くの説に従えば、ヒトの祖先はその環境の中にある様々な物を指し示すために個別の身振りや音声を割り当て（象徴的意味表現）それを他の個体に伝達するために共通理解可能な法則（統語・文法構造）を創り出し、さらにそれらを自由に関係化・再構造化すること（象徴操作）を発明・進化させて言語機能の獲得に至ったと考えられます。したがって、言語機能の本質的部分を担うのは、『事象をシンボル（象徴）化しそれを操作する』能力であって、その萌芽は、身振り手振りなどの行為を制御・認知する霊長類の脳神経機構に存在することが期待されます。そして、サルにおけるその最も高度な行為の一つが「道具使用」行為なのです。道具を手にとると、それは物理的・機能的に手の延長となって、自己の体に同化し、自己意識や身体像が意図によって変化します。ここには、「自己と周囲の空間を認識し、これを機能に基づいて意識的に構造化して、さらにそれを操作する」という柔軟な空間構成能力、あるいは洞察的なゲシュタルト転換能力が要求されます。すなわち、道具使用行為の根底にもまた、自己および環境の空間構造を認識し、さらに物理的拘束条件から離れてそれを操作・再構造化する『シンボル操作』の機能が想定されるのです。

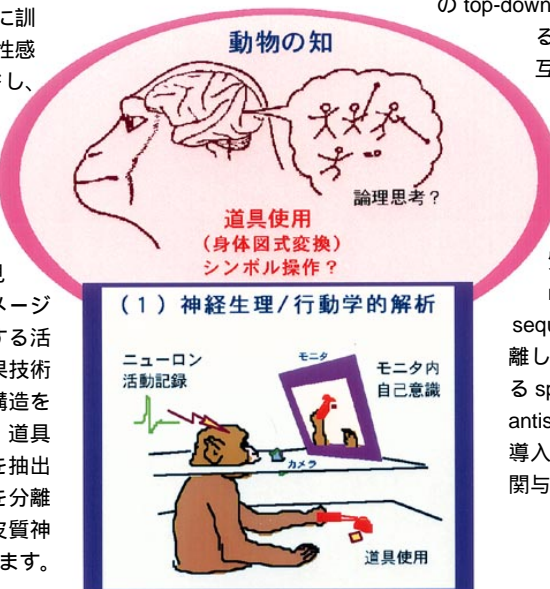
本研究は、状況に応じた自在な道具使用という、霊長類以上に特有な高次脳機能の特性を生かした学習課題を訓練したニホンザルを一貫して用いて、ヒトでその損傷により失象徴症（象徴的概念の操作の傷害）が引き起こされることからシンボル操作能力の中核として想定される大脳皮質頭頂葉に焦点を絞り、シンボル操作の脳内メカニズムを原理的、物質的に解明しようとするものです。本研究の成果は、より高度なシンボル機能であるヒトの言語機能の脳内メカニズムの解明へと発展する可能性を持ち、さらにはシンボル操作による論理的概念思考のメカニズムを知り、それに基づいて形成される文化・社会の特性を理解することにも貢献すると期待されます。

2. 研究の内容

本研究の特色は、以下のように、訓練された慢性サルを系統的に一貫して用いるトップダウン的アプローチにあります。すなわち、まず1) 複雑な道具使用に必須な種々のシンボル操作能力に関わる神経回路網の動作様式についての行動学的解析を行ってこの機能の獲得に対応する大脳皮質ニューロン活動を神経生理学的に記録した後、2) この神経回路を構成する皮質間神経結合様式を明らかにするための神経解剖学的解析およびポジトロンCT (PET) による同一個体の学習過程における経時的・動的機能解剖学的解析を行い、3) この神経回路網の学習依存的形成を制御する遺伝子発現調節機構に関する分子遺伝学的メカニズムの解明を目指します。

(1) 神経生理/行動学的解析:

頭頂葉後方下部は、体性感覚、視覚などの複数の感覚が統合される脳領域です。これまでに、熊手状の道具を使って手のとどかない遠くの餌をとるように訓練したニホンザルのこの脳領域に、体性感覚と視覚を統合して身体図式をコードし、道具使用時には道具が手に同化する心理学的経験に対応する活動を示すニューロン群を見いだしました。さらにこれらのニューロンは、直接手元を見る代わりに、モニタ上に写された自分の手のリアルタイム映像を見ながら餌をとるとき、視覚的身体イメージがモニタ上に投影されたことを反映する活動を示しました。今後さらに、映像効果技術を駆使してビデオ画像の時間・空間構造を変化させた条件下で学習を行わせて、道具使用に内在する種々のシンボル成分を抽出し、それに対応するニューロン活動を分離し、シンボル操作に関与する頭頂葉皮質神経回路網の計算アルゴリズムを検討します。

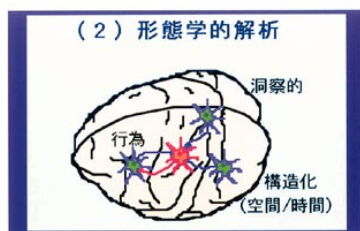


(2) 形態学的解析:

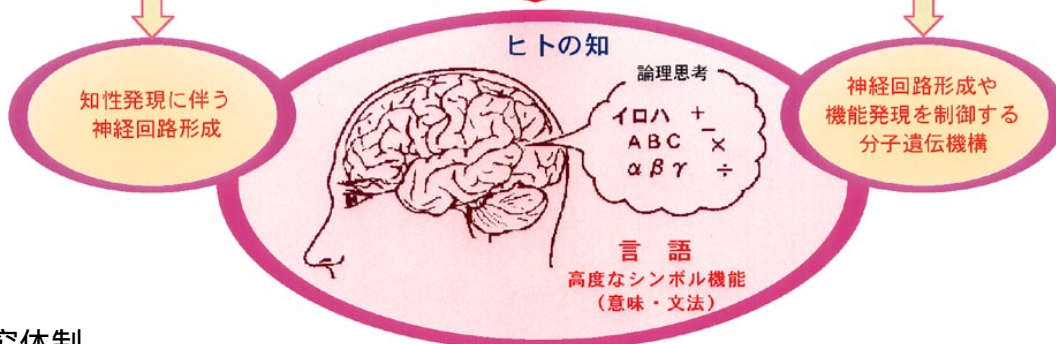
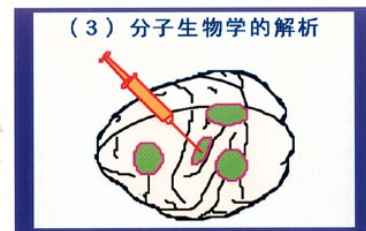
これまでの生理学的実験によって、サルの道具使用学習に伴い、視覚入力が入頭頂葉の体性感覚皮質に侵入し強化されて、ニューロン活動特性が変化することが示唆されています。そこで、この神経投射起源を同定し、その神経回路の形成様式を明らかにするために、異なる道具学習熟度にある個体を用いて、光顕・電顕レベルでの順/逆行性神経標識法による形態学的解析を行っています。さらに、学習中の同一個体を対象に、ポジトロンCT (PET) による神経結合・活動様式の反復的解析を行って、神経回路形成の動的変化を解析します。

(3) 分子生物学的解析:

上記の学習依存的な神経回路形成は、通常約2週間の訓練期間中に達成されますが、その速度は学習中の動物の意欲の程度に依存するようです。この皮質領域には「注意」などの内的要因のみによって活動するニューロンが存在するので、この変化は、動物の top-down 的なニューロン活動によって制御される、タンパクの活性化、タンパク間の相互作用、リン酸化などのタンパクの修飾、あるいはタンパク合成を伴う新規遺伝子の発現、等が関与する可能性が想定されます。そこで、これらを制御する脳内遺伝子や転写調節因子を、学習前後のサル頭頂葉皮質で differential display, subtraction, representative difference analysis, random sequence を行って探索します。さらに、単離したクローンの in situ hybridization による specific expression の解析を行ったのち、antisense oligonucleotide の脳内限局的微少導入などによって、それらの行動発現への関与の様式を検討する計画です。



総合的・相互関連的研究



3. 研究体制

期間: 1996年10月~2001年3月

構成: プロジェクトリーダー1名、コアメンバー3名、研究協力者6名(内日本学術振興会研究員2名、日本学術振興会協力研究員1名)で構成されています。

実施場所: 東京医科歯科大学大学院歯学総合研究科顎顔面頸部機能再建学系専攻顎顔面機構制御学講座顎顔面生理学分野を中心にプロジェクトを進めています。