

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名 : 幼児脳の発達過程における学習の性質とその重要性の解明

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点)

研究代表者: 杉田 陽一 ((独)産業技術総合研究所脳神経情報研究部門 研究グループ長)

主たる共同研究者:

端川 勉 ((独)理化学研究所脳科学総合研究センター ユニットリーダー)

3. 研究内容及び成果

本研究では、サルを使って、脳機能が最も劇的に変化する生後発達初期に特殊な視覚体験をさせて、「色」、「動き」および「顔などの複雑図形」の知覚に対する初期視覚体験の効果を明らかにし、さらに単一細胞活動記録および組織学的方法で線維投射様式を解析し、視覚体験の効果を生理心理学的に解明することを目指した。その結果、「色彩感覚」、「動きの知覚」、「視覚-運動協応」、「顔など複雑図形」の知覚のどれに対しても明瞭な感受性期が存在していることが明らかになった。これらの成果の概要を以下に示す。

①色彩を見た経験がない動物の「色」の認識(杉田チーム)

生まれてから数年間、単色光だけで照明された環境でニホンザルを育てた。この間、網膜に入射する光が、網膜の全ての光受容細胞を賦活するように配慮した。この後に、様々な視覚刺激に対する色見本合わせ課題や類似性判断を行い、「色」をどのように認識しているのか心理学的方法を用いて検討した結果、単色光サルは、光の波長成分の違いを弁別することはできなかったが、「色の恒常性」に重篤な障害を持っていることが明らかになった。正常サルを麻酔非動化して第1次視覚野から単一細胞活動記録を行った結果、方位選択性細胞の多くがマンセル表色系に対して選択性を持ち、照明光の波長成分を大きく変えても選択性が変わらない細胞が数多く存在していることがわかった。これに対して、単色光サルでは、マンセル表色系に対して選択性を持つ細胞が極めて少なく、さらに照明光の波長成分を変えると選択性も変化した。これらの結果は、「色の恒常性」にも感受性期が存在していること、第一次視覚野の方位選択性細胞も「色の恒常性」に深く関わっていることを示している。

②左右逆転視野への順応(杉田チーム)

ヒトやサルは逆転眼鏡装着による視野の逆転に対して、40日程度の期間を経て円滑な行動の回復とともに順応した視空間認識を達成できる。ところが、生後6か月のニホンザルに逆転眼鏡を装着したところ、装着した初日から活発に動き始め7日程度で順応が達成された。これらのサルに、1歳になった時と2歳になった時に再び逆転眼鏡を装着すると、再び7日間程度の期間で順応した。一方、生後1年経過したサルに逆転眼鏡を装着すると順応には40日程度の期間を要した。また、1歳半になった時と2歳になった時に再び逆転眼鏡を装着しても、以前に順応した効果が認められず、40日程度の期間を経てようやく順応が達成された。これらの結果は、「視覚-運動協応」にも、明瞭な感受性期が存在していることを示している。

③「動き」を検出する神経回路の発達(杉田チーム)

生まれて間もないサルを、1年間、ストロボ光の照明だけで飼育し、なめらかな動きを知覚できないようにして育てた。これらストロボ光で育ったサルの視覚を検査したところ、点滅光の知覚は正常サルと変わらない

成績が得られたが、運動視に障害があることが明らかになった。ストロボ光サルは、静止しているものと動いているものの区別は可能だったが、動きの速度あるいは方向の判断をさせると、正常サルと比べて極めて劣った成績しか得られなかった。機能的磁気共鳴撮像法(fMRI)によって脳活動を測定すると、グレーティングやランダムドットを動かしても側頭葉 Middle Temporal (MT) 野の応答が全く見られなかった。ところが、チェッカーボードパターンを点滅させると、MT 野が強く応答した。この結果は、1 年間、ストロボ光の照明だけで飼育したことによって、MT 野の応答特性が大きく変化したことを示している。ストロボ光サルに動きを手がかりにした形の判断(たとえば、枠が見えない 4 角形の枠内にあるランダムドットと枠外のドットが異なった方向に動いていると、4 角形が明瞭に知覚される)をさせると、運動視に重篤な障害があるにも関わらず、正常サルと全く変わらない成績が得られた。視野の動きが複数の経路で処理されていて、動きを見えないように育てることで影響を強く受ける経路と影響をあまり受けない経路が存在している可能性を示唆している。これらの結果は、「動き」の知覚にも感受性期が存在していることを示している。

④顔など複雑な図形知覚の発達(杉田チーム)

生後まもないサルを、親から離して「顔」を見せずに育てた。生後 16 日目には、正常な成人サルが示す表情を全て表出させた。これらの表情は、文脈と無関係に無作為に表出させるのではなく、授乳者を呼ぶとき、飲んでミルクを取り上げられるとき、驚いたときなどに応じて、正常サルと同じ表情を表出させた。「顔」を見せずに長期間(1 年以上)育てても、適切な場面で適切な表情を表出させることが出来た。選択的注視法を用いて、これら「顔」を見せずに育てたサルが、「顔」をどのように知覚するかを調べた。生まれてから1度も「顔」を見ていないにも関わらず、サルの顔に対する成績には正常サルとの違いが全く認められなかった。さらに、ヒトの顔に対する成績は、正常サルよりも正確に判断できることが明らかになった。ところが、ひとたびヒトもしくはサルの顔を見ると、見たことがある種の顔の相違は弁別できるが、他方の顔の相違を見分けることが困難になった。これらの結果は、「表情」の表出が生得的に備わっていること、また、複雑図形としての「顔」と「表情」の知覚には初期経験が不要であること、さらに顔の知覚にも明瞭な感受性期が存在していることを示している。

⑤高次視覚機能獲得過程に関する組織学的研究(端川グループ)

本研究グループの課題は、杉田グループの生理学的解析に引き続き、神経回路の形態学的解析を行うことである。本課題の組織学的研究を遂行するために、まず、標識技術の開発に取り組んだ。特に、特定の機能に特化する皮質・皮質間の視覚情報伝達様式を効率的に捕らえるため、安全、且つ信頼性の確保できるウィルストレーサー標識法の開発を進め、信頼性の高い手法を開発した。

4. 事後評価結果

4-1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

本研究により、単色光のもとで飼育し、色を経験しないように育てたサルは「色の恒常性」が備わっていないこと、生後6ヶ月及び1年経過したサルに逆転眼鏡を装着したところ、6か月で装着したサルは7日程度で順応するが、1年経過後に装着したサルでは順応するのに40日程度の期間を要すること、ストロボ光のもとで飼育し、「なめらかな動き」を見たことがないように育てたサルは静止しているものと動いているものの区別が可能だが、動きの速度あるいは方向の判断能力がよく発達しないこと、さらに顔を見せずに育てたサルは自らの表情表出や顔の認知は可能であったが、表情が表す情動あるいは社会的意味に対しては、正しい応答を選択出来ないこと等、の新知見を得た。これらは、いずれも世界に先駆けた画期的な成果で高く評

価できる。これらの研究成果は、論文(国際7件)、学会発表(国内8件、国際9件)、招待講演(国内3件、国際1件)として発表された。さらに、17件の新聞報道で紹介された。これまでの発表論文数は、必ずしも多くはないが、当初の研究計画に沿って着実に研究が進行中であり、近い将来未発表のデータも含めて、極めてインパクトの大きい論文発表が期待できる。

4-2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

本研究は国内外を含めて誰もなしていない極めて重要且つ独創的研究であり、本研究で、色彩感覚、動きの知覚、視覚変化への運動適応のどれに対しても明瞭な感受性期が存在することを明らかにした。現在進行している単一細胞活動記録と線維投射の解剖学的検討が遂行されれば、高次視覚機能の生後発達及び可塑性についての理解が各段に進むものと期待される。また、サルの色知覚、運動視、顔や表情認知の発達に及ぼす生後初期体験の重要性を示す本研究の成果は、自閉症などにおける顔認知や社会性認知の障害の理解など臨床的研究につながり、さらに、将来神経科学的基盤に立脚した教育システムの開発への貢献も期待される。

4-3. その他の特記事項(受賞歴など)

本研究の目的は、脳機能が最も変化し易い生後初期の子ザルに特殊な視覚体験をさせて、生後初期視覚体験の高次脳機能発達に及ぼす効果を解明するという極めて困難な研究である。このような研究の重要性は以前より広く認識されていたが、これまで実験の難度の高さのため国内外を含めて研究されたことはなかった。本研究の遂行は、生後間もないサルを特殊な視覚環境下で育てる過程において、代表者をはじめ、研究室のスタッフの長期間におよぶ大変な努力により、可能となったものである。

以上