

Social Context Dependent Modulation in Primate Parietal Cortex

藤井 直敬

理化学研究所 脳科学総合研究センター 象徴概念発達研究チーム
〒 351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1

1. 研究の背景

我々ヒトは、高度に発達した言語によるコミュニケーション手段をもっている。言語は、その多層構造により、非言語性コミュニケーションと比べ、はるかに複合的な情報を伝達する事が可能であり、その言語の持つ多層的情報構造化能力のおかげでヒトの知性は他動物種と比較し抜き出ていると考えられている。

近年そのようなヒト知性の進化の原因のひとつに、ヒト社会の持つ複雑な構造の中で自己の要求を実現させるために、社会構造を認知してそれを積極的に操作する能力、つまり社会脳^{1,2)}という能力の獲得があるのではないかと提唱されている。今まで、社会脳という機能を科学的に捉える試みは様々試みられてきた。しかしながら、視覚や聴覚と異なり、社会脳が取り扱う変数が、数値として捉えることのできない「社会」という構造であるために、実験の条件設定が難しく、神経科学的なアプローチはうまくいっていなかった。

一方、認知行動学においては、自然状態での野生動物の集団観察により、ヒトのような構造的言語を持たない日本サルを含む霊長類においても、社会脳の存在を反映する、個体間の相互関係に依存した対立や協調などの社会的行動のパターンが報告されている。すなわち、そこには、非言語性情報に基づく社会構造がサルの行動を規定していることが示されている。そのようなサルにおける社会脳の理解は、我々がいかに情報の構造化を獲得し、知性を進化させてき

たかという疑問に対して重要な切り口であると考えられる。

しかしながら、社会構造を科学的に記述することが難しいこと、また個体間の相互作用を神経細胞活動レベルで記述するのに必要な技術が存在しなかった事などの様々な技術的な理由から、社会脳の神経細胞レベルでの神経生理学的探究はあまり進んでいない。そこで今回我々は、多次元生体情報記録手技という全く新しい記録手法を開発し、社会的適応行動を取っている日本サルの頭頂葉の神経細胞活動を記録することにより、日本サルの社会的脳機能の解明に挑むことにした³⁾。

2. 実験手続き

2.1 多次元生体情報記録手技

多次元生体情報記録手技は、自由行動中の複数サルの行動を詳細に記録し、それぞれのサルの神経細胞活動を、出来るだけ数多く、出来るだけ広い脳領域から同時に記録することを目的とした技術である。この目的のために、私たちはモーションキャプチャ技術と多電極慢性記録手技を統合した。

モーションキャプチャシステムは、非侵襲的に実験動物の行動を記録することの出来る手法である。今回はサルの行動を詳細に記録するために、サルにモーションキャプチャスーツを着せ、その両側の肩、肘、手首、手に頭部2箇所合計10箇所にもマーカーを着け、その位置を記録した。マーカーの位置は、モーションデータを3次元空間に再構築することで得ることが

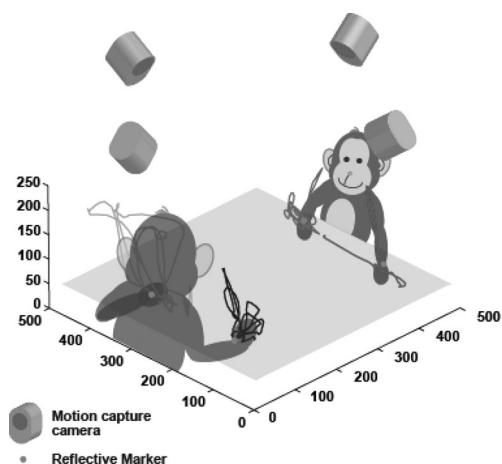


図1 実験環境を模式的に示す。実験には2頭のサルを用い、それらをテーブルのまわりに配置する。サルの行動はモーションキャプチャシステムによりモニターする。それぞれのサルの手首についたマーカーの3次元位置を4本の軌跡で示す。

出来た。(図1)

多電極慢性記録手技は、脳の中に慢性的に多くの電極を留置して神経細胞活動を記録する手法である。今回用いた電極は直径120ミクロンのタングステン電極で、頭頂間溝の前壁に刺入された。この電極は、留置後2-3ヶ月に渡って使用でき、記録の際には最適なSN比を得るため、微小マニピレーターの操作によりそれぞれの深さが微調整された。

2.2 実験課題

今回の実験には2頭の日本サル(M1: 6Kg, M2: 5.5Kg)を用いた。サルはそれぞれテーブルの周りに置かれた専用の椅子に座り、下半身はカバーにより椅子に固定された。しかし上半身は、椅子に固定された首輪によって首の位置の制限を受ける以外は、上肢や頭部を自由に動かす事が出来た。

サルが行う実験課題は「餌取り課題」と呼ぶ非常に単純な課題である。実験者は、1試行ごとに小さな餌を一つずつテーブルの上に置く。もしサルがテーブルの上に置かれた餌を食べたいと思えば、その餌の位置に手を伸ばすことができれば、それに手を伸ばして餌を食べることは

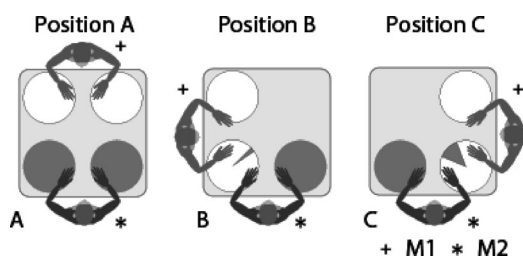


図2 課題中の2頭のサルの相対位置を三種類示す。位置Aでは互いに向かい合い、位置BとCでは角を挟んで座る。テーブル上の円グラフは、円グラフの位置に餌を置いたときにどちらのサルが餌を取ったかの割合を示す。M1が餌を獲得した割合は白、M2が獲得した割合は灰色で示す。

自由である。この実験では、どちらのサルが餌を取るべきかについては、全てサルの自主性に任せ、実験者は具体的な指示を与えなかった。

2頭のサルはテーブルの周りに三つ(位置A,B,C)の相対位置に置かれ(図2)、それぞれの位置で「餌取り課題」を行った。位置Aでは、両者はテーブルを挟んで向かい合わせに座る。位置BとCではテーブルの角を挟んで座った。位置Aでは両者の手の到達範囲が重なることが無いので、餌の競合は起きない。しかしながら、位置Bと位置Cでは両者の片方の腕の到達範囲の一部が重なり合う為、その位置に置かれた餌の獲得に関して競合が生じる。

2.3 解析

神経細胞活動とサルの行った運動の相関を調べるためには、いつサルがどの手を動かしたかを知らなければならない。そのため、モーションキャプチャによって記録された手首の位置情報を元に速度を計算し、その速度が3センチ/秒を超えた期間をそれぞれのサルが手を動かした運動期間として抽出した。この各腕の運動期間中の神経細胞活動を、運動の全く起こらなかったコントロール期間と比較し、有意に神経活動が上昇している神経細胞を運動関連細胞(MR細胞)と呼ぶことにした。

3. 結 果

3.1 課題中の行動

2頭のサルが3つの相対位置に置かれた場合の、それぞれの位置における餌の獲得率を図2に示す。まず位置Aでは空間の競合が無いのでそれぞれのサルが自分の到達範囲に置かれた餌を100%獲得した。また、どちらのサルももう一方のサルの存在を完全に無視していた。一方、位置Bではテーブルの左下の空間で競合があり、その空間に置かれた餌を獲得したのは殆どM1だった。この位置ではM2は競合空間に置かれた餌に手を伸ばすことを殆どせず、M1の行動を盗み見るようにしていた。その際M1は位置Aと同じようにM2の存在を完全に無視していた。ところが、位置Cになると、競合空間においてM2の行動がやや積極的になった。M2は、位置Bでは殆ど餌をとることが無かったのに対して、位置Cになると約2倍の確率(13%)で餌を獲得するようになった。M1は位置Cになり、M2が頻繁に競合空間で餌を取るようになって、初めてM2の存在に気がつき、威嚇などの社会行動を見せるようになってきた。つまり位置Aでは全く他者の存在を無視していた両者の間に、位置Cになって初めて双方向的な社会的な繋がりが形成されたと言える。

3.2 神経活動解析

上記のような課題行動を行っているときのM1とM2の頭頂葉から神経細胞活動を174個記録しました。このうち、94個の神経細胞がMR細胞と定義された。図3に其々の位置で其々のサルの頭頂葉からMR細胞が記録できた割合を示す。この図を見ると、位置Aでは、どちらのサルも自分の右手の運動に強い反応を見せるのに対して、それ以外の運動、つまり自分の左手及び他者の運動にはあまり反応を示さなかった。位置Bになると、M1の頭頂葉細胞は、依然として位置Aと同じような活動の様式を見せたが、M2の神経細胞は自分の右手への強い反応性を低下させ、同時に他の腕の運動への反応性を上げた。そして位置Cでは、M1、M2のどちらの

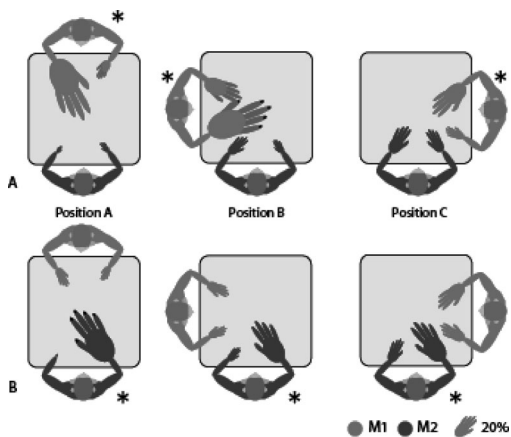


図3 頭頂葉の神経細胞が自己および他者の行う運動に応じる割合を3種類の相対位置に分けて示す。上段AはM1、下段BはM2の神経細胞の反応の様子である。それぞれの手の運動に反応した神経細胞の割合を手の相対的な大きさに変換して表示した。神経細胞を記録したサルを*で示す。右下に20%に相当する手の大きさを示す。

神経細胞も自分の右手への反応性を有意に低下させ、それ以外の腕の運動に対する反応性が上昇した。

上記の解析では、其々の細胞が複数の運動に反応しているかどうかについては明らかではなかった。そこで、MR細胞が運動のAgentをどのように区別しているか、そして運動を行っている腕の左右の区別をしているかを調べるためにActorインデックスとActionインデックスを用いて相対位置の変化によるMR細胞の反応性の変化を調べた。図4はその結果を示している。この図をみると、やはり位置AではM1、M2の両者で自分の右手に対して強い反応性を示していることがわかる。そして位置Cになると、M1、M2の両者の頭頂葉のMR細胞は、自分の右手への反応性を有意に低下させ、それ以外の腕の運動への反応性を上げる一方、運動の行為者もしくは腕の区別を行わない、non-specificな細胞群が新しく現れてくることが明らかになった。

これらの結果は、頭頂葉の神経細胞が環境内部の社会構造の空間的变化に応じて働きを変え

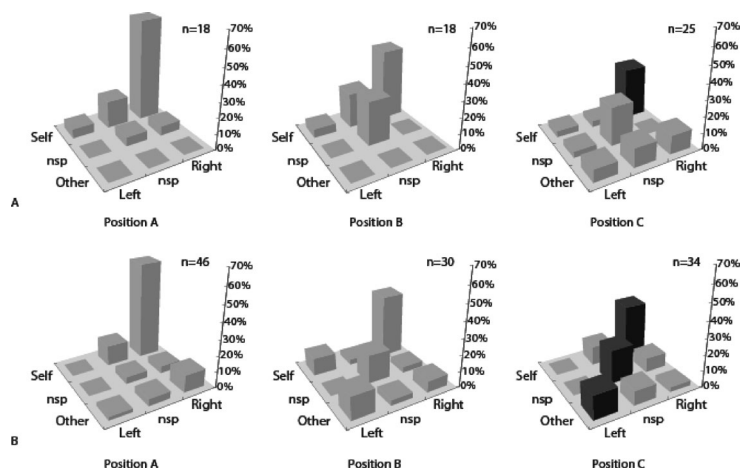


図4 図3の結果をActorインデックスとActionインデックスを用いて分類しなおし、それぞれのカテゴリに属する神経細胞の割合を、相対位置ごとに、棒グラフで示した。AにM1、BにM2の結果を示す。黒く示したカテゴリは位置Aの同一カテゴリの割合と比較して、有意にその割合が変化することを示す。

ることを示唆している。このような社会文脈依存的な適応的神経活動は、社会的脳機能の中では必須の情報表現だと考えられた。

4. 考 察

今回新たに開発した多次元生体情報記録手法は、社会性課題という、従来にない新しい実験環境での記録と解析を可能にした。社会的文脈は時々刻々変化している。その文脈を正しく読み取ることで、私たちは社会的に正しい行動を選択することが可能になる。日々の生活では誰しもが当たり前に行っている社会的文脈への適応的行動が、脳のどのような仕組みによって実現されているかは殆ど分かっていなかった。

今回の実験で、頭頂葉の神経細胞が他者との社会的繋がりを持つことによって空間認知の様式を大きく切り替えることが明らかになった。この結果は、頭頂葉の空間認知が、単純に物理的な他者の存在に反応しているのではなく、他者の存在が自分にとって社会的意義をもって初めて認識されるということを示している。しかしながら社会的脳機能は他者の認知のみならず、

他者の意思の推定や、より広い環境認知、さらに社会構造と過去の経験に関する記憶など様々な情報を統合して初めて実現されるものである。すなわち、今回社会文脈依存性の神経活動を見せた頭頂葉は、その機能を実現する社会的脳機能ネットワークの一部であり、社会的脳機能解明のためには、今後より広範な領域からの脳神経活動を記録する必要があると考えられる。

文 献

- 1) R. Adolphs: Cognitive neuroscience of human social behaviour. *Nature Review Neuroscience*, **4**, 165–178, 2003.
- 2) J. S. Beer, J. P. Mitchell and K. N. Ochsner: Special issue: Multiple perspectives on the psychological and neural bases of social cognition. *Brain Research*, **1079**, 1–3, 2006.
- 3) N. Fujii, S. Hihara and A. Iriki: Dynamic social adaptation of motion-related neurons in primate parietal cortex. *PLoS ONE*, **2**, e397, 2007.