

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月 1日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23650105

研究課題名（和文） 視覚認識における確率共鳴現象

研究課題名（英文） Stochastic resonance in visual recognition

研究代表者

設楽 宗孝 (SHIDARA MUNETAKA)

筑波大学・医学医療系・教授

研究者番号：10357189

研究成果の概要（和文）：視覚認識視覚認識において確率共鳴現象がどのような条件で起こるかどうかを調べるために、サルに逐次型遅延見本合わせ課題をトレーニングするための実験制御装置を作成した。ここで、ノンマッチ刺激およびマッチ刺激、背景にはランダムドットノイズを加える。ノイズ量と視覚認識の反応の早さとの関係を調べるために、サルのこの課題のトレーニングを行っているところであるが、ヒトで予備的検証を行ったところ、5%ノイズ程度のところで反応時間が最も短くなり、ヒトでも同様のプロセスがあることが考えられた。

研究成果の概要（英文）：We have made the experimental set-up to investigate the possibility of stochastic resonance in pattern recognition with visual noise. We are using the sequential delayed match-to-sample task in which random dot noise is added to the non-match and match stimulus and the background. We are training the monkey with this task, while we also checked the human subject response with this task, and preliminary results showed that the response was fastest at small amount of visual noise level (5%).

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：システム脳科学

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：感性脳科学、パターン認識、確率共鳴現象、視覚的ノイズ、セロトニン

1. 研究開始当初の背景

確率共鳴現象(stochastic resonance)とは、「少量のノイズが微弱な入力を引き出し観測可能にする」という物理現象である。生体においても、この現象を外界からの信号をよりよく検知するために利用しているのではないかとされている。この現象により、神経系における適度のノイズが、神経ネットワークが局所解に陥るのを防いで処理能力を向上させる働きがある可能性もある(Bressloff and Poper 2000)。

研究代表者はかつて、サルを用いて視覚認識実験を行っていた際に、視覚パターンにランダムドットノイズを加えた時の影響を調

べる研究をしていたが、このとき、少量のノイズがあった方が、ノイズが無いときよりもサルのパターン認識の反応時間が早い場合があった。これは、視覚認識においても確率共鳴現象が見られている可能性を示唆するものである。近年流行のデジタル写真において、ノイズ除去をしすぎる余りCG的に見えてしまい、逆にレタッチの過程でノイズを加えることがあることを考え合わせると、ノイズと視覚的感性という観点からも興味深いものである。実際、我々が外界を見てモノを認識するとき、外界に視覚的ノイズが全くない状況というケースは殆どなく、多かれ少なかれ何らかのノイズが存在している。このこ

と、デジタル写真においてレタッチで少量のノイズを加えた方が本物らしく見える場合がある、というケースがあることを考え合わせると、視覚認識の感性的側面にノイズが関わっている可能性が考えられてくる。

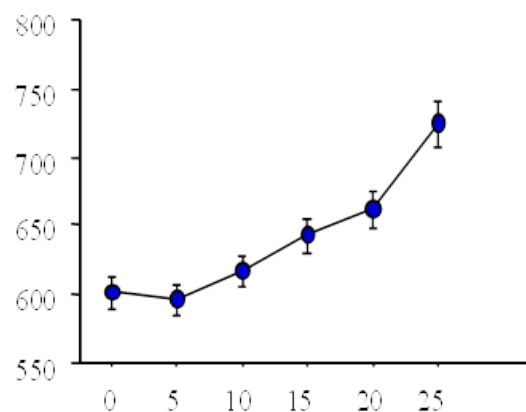
一方、セロトニンについては、これまでの行動薬理学的研究から、睡眠覚醒周期(Kocsis et al 2006)や、歩行(Veasey et al 1995, 1997)、呼吸(Mason et al 2007)、情動(Cools, Robert & Robbins 2008)などを制御していると従来考えられてきた。しかし認知機能に関わる局所の神経回路に対して、セロトニン神経からの信号がどのような影響を与えているのかについては、詳細は不明である。セロトニン神経は大脳皮質や大脳基底核群に広く投射し、数ヘルツ程度の低い発火頻度で持続的に発火し続けている。またセロトニンの枯渇による記憶や学習の効率の低下なども知られている。これらはセロトニン神経の活動が、大脳の各部位の局所回路において、**baseline activity** を変化させることにより確率共鳴現象に関与している可能性を示唆するものである。また、この仮説に従えば、セロトニン神経が過剰に活動することで却って S/N 比が低下することも考えられる。事実、セロトニン神経の過剰な活動に伴うと考えられる幻覚体験なども報告されている(González-Maeso et al 2007, Geyer & Vollenweider 2008)。もし、血中セロトニン濃度の操作によって脳内のセロトニンのレベルを変化させることにより **baseline activity** を変化させることができれば、確率共鳴現象の生起に変化が起これ、パターン認識にかかる時間とノイズ量との関係に影響を与える可能性がある。いままでに確率共鳴現象が脳内の神経ネットワークで本当に見られるのか、見られるならばどう制御されているのかについてはわかっていないが、本実験結果を基に、将来、パターン認識に関するニューロン活動がよく調べられている下部側頭葉のニューロンを調べることにより、ニューロンレベルでの確率共鳴現象の情報処理機構を探る研究に発展する可能性を持つと考えられる。

2. 研究の目的

視覚的ノイズ存在下での逐次型遅延見本合わせ課題をサルに学習させてパターン認識反応時間を詳細に解析することにより、(1)少量のノイズがあった方が、ノイズが無いときよりもパターン認識の反応時間が早いという現象が視覚認識において常に見られるものなのか、(2)この現象は脳内のセロトニンシステムと関係しているか否か、を調べる。セロトニン神経の活動が確率共鳴現象に関与している可能性を検証するため

には、血中セロトニン濃度を操作した条件下、サルにノイズ存在下での遅延見本合わせ課題を行わせ、パターン認識の反応時間に影響があるのかどうかを解析し、確率共鳴に対するセロトニン神経の役割を検討する。

「逐次型遅延見本合わせ課題でバーを離す反応時間(縦軸:ms)が5%ノイズ(横軸:%)の時に最も早かったサルの例」



3. 研究の方法

視覚認識において確率共鳴現象によるかもしれない「少量ノイズによる反応時間の短縮」が常に起こるかどうかを調べるために、まずサルに逐次型遅延見本合わせ課題をトレーニングする。最初に課題制御とデータ取得用PCと視覚刺激提示用PCから成る実験制御システムを構築する。次に、サルに、固視点の色が赤から青に変わったら、モンキーチェア内にあるバーから1秒以内に手を離すというバーリリース課題をトレーニングする。バーリリース課題の正解率が80%を超えたら、視覚的ノイズの無い逐次型遅延見本合わせ課題をトレーニングする。まずはサンプル刺激—マッチ刺激の順に視覚刺激を提示して、マッチ刺激が提示されてから1秒以内のバーから手を離す様にサルをトレーニングする。サンプル刺激とマッチ刺激の感覚および刺激の提示時間は500—1000ミリ秒である。背景はランダムドットとする。課題の正解率が80%以上になったら、サンプル刺激とマッチ刺激の間に、ノンマッチ刺激を1つから最大3つまで入れ、ノンマッチ刺激中はずっとバーを握っており、マッチ刺激が提示されたところで初めて、かつ1秒以内にバーから手を離すようにトレーニングする。この課題の正解率が80%を超えたら、ノンマッチ、およびマッチ視覚刺激パターン、および背景に少量(5%程度)の視覚的ノイズ(ランダムドットノイズ、大きさは3ドットx3ドット)を加えてトレーニングする。

サルが視覚的ノイズを加えた逐次型遅延見本合わせ課題を正解率80%以上まで学習したら、徐々に加える視覚的ノイズの量を増やし、最終的には25%の視覚的ノイズを加えても逐次型遅延見本合わせ課題を正解できるようにトレーニングする。課題の学習が成立した後に、サルの行動データ（パターン認識の反応時間＝バーリリースの反応時間）を解析し、視覚的ノイズが無い場合よりもノイズがある場合の方が行動成績が良いかどうか、また最も行動成績が良いのはどの程度のノイズを加えた場合なのかを解析する。特に、以前の実験で行動成績が最も良かったケースが5%ノイズの時であることに注目し、5%付近のノイズ量はより細かく調べる。次に、セロトニン前駆体であるトリプトファンを枯渇させることにより、血中セロトニン濃度を下げた状態で同じ課題を行わせ、行動成績に影響を与えるか否かを解析する。このためには、トリプトファンを含まない飼料を作成し、実験直前にこの飼料をサルに与えることにより、血中セロトニン濃度を下げる。このときにバーリリースの反応時間が最も早くなるのはどのくらいのノイズなのかを検討する。また、逆に5-水酸化トリプトファンの投与によって血中セロトニン濃度を上昇させた時の行動成績への影響も調べる。

4. 研究成果

(1) 視覚認識において確率共鳴現象が起こっている可能性を示唆するパターン認識反応時間の短縮が、より厳密にどのような条件で起こるかどうかを調べるために、サルに逐次型遅延見本合わせ課題をトレーニングするための実験制御装置をまず作成した。「逐次型遅延見本合わせ課題」で用いるパターンとしては、数学的に厳密に定義できる、白黒のWalshパターンを用いた。サンプル刺激の大きさは48ドットx48ドットである（視野角10度）。サルがモンキーチェア内のバーを握るとタスクが開始され、コンピューターモニターの中央に固視点が提示される。サルが固視点を固視すると、500ミリ秒後にサンプル刺激が呈示される。この後、サンプル刺激とは異なるパターンであるノンマッチ刺激が0-3個呈示された後に、サンプル刺激と同じパターンであるマッチ刺激が呈示される。サルは、マッチ刺激が呈示されてから1秒以内にバーから手を離さなければならない。正解すれば報酬のジュースを与える。各刺激の提示時間、および刺激間の時間は500-1000ミリ秒である。ノンマッチ刺激およびマッチ刺激、背景にはランダムドットノイズを加える。ランダムドットは、3ドットx3ドットで、ノンマッチおよびマッチ刺激の白黒を反転させることでノイズとする。視覚刺激パターン全体の何%が白黒反転した

かでノイズの量を表す。この課題を行うために、パターン刺激の提示にはPresentation softwareを用いたPCを自作プログラムで制御し、課題の制御とデータの取得にはQNX operating system上で動くREXアプリケーション（real-time experiment system）を用いたPCで自作プログラムにより課題制御を行った。2つのPCは、DIOボードで接続して通信することでリアルタイムで課題の制御とデータの取得を行った。データ取得の時間分解能は1ミリ秒である。また、視線計測もできるようにした。視線計測はCCDカメラで眼球を撮影し、画像解析により視線の位置を検出する方式をとった（）。視覚刺激以外の光を防ぐために実験は暗闇で行うため、視線計測のためには赤外線を目に投射した。さて、本装置を用いてサルに逐次型遅延見本合わせ課題のトレーニングを行っており、学習成立には1年ほどかかる見込みである。一方、ヒトで少量のノイズにより反応が早まるのか否かの予備的検証を行ったところ、5%ノイズ程度のところで反応時間が最も短くなり、ヒトでも同様のプロセスがあることが示唆された。

「逐次型遅延見本合わせ課題の例」

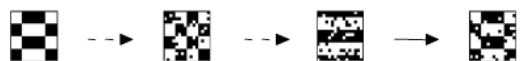
サンプル ノンマッチ ノンマッチ マッチ



最初にサンプル刺激が提示され、その後2つのノンマッチ刺激が提示された後、サンプル刺激と同じパターンであるマッチ刺激が提示された例。それぞれの刺激提示時間は500-1000ミリ秒で、マッチ刺激が提示された後1秒以内にバーから手を離したら正解である。

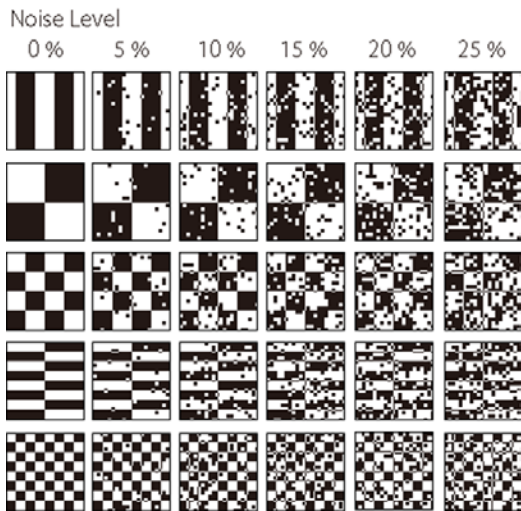
「ノンマッチ刺激およびマッチ刺激にランダムドットノイズを加えた逐次型遅延見本合わせ課題の例」

サンプル ノンマッチ ノンマッチ マッチ



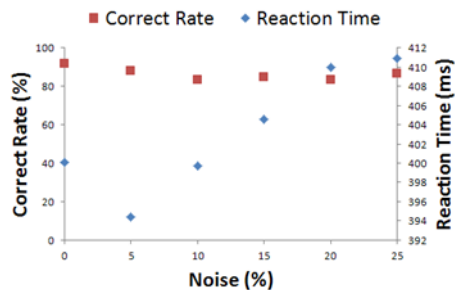
ノンマッチおよびマッチ刺激に3x3ドットの大きさのランダムドットを一定の割合で加えるが、ランダムドットが加わってもマッチ刺激提示から1秒以内にバーから手を離さなければならない。

「ノイズレベルの変化の例」



ノイズレベルは、パターン全体のピクセルの内、何%を白黒反転したかで表している。なお、5%、10%、15%、20%、25%のノイズ量で計測した後に、さらに5%付近を細かく、たとえば、3%、4%や6%、7%のノイズ量も調べることにする。

「ヒトでノイズ存在下の逐次型遅延見本合わせ課題を行ったときの予備的結果」



上図で、課題の正答率（赤四角）はノイズが25%まで増えても常に80%以上を保っていた。しかし、マッチ刺激が提示されたときにバーから手を離す反応時間（青丸）は、5%ノイズの時の最も早く、10%以上にノイズを増やしていくと再び反応時間が伸びていくことがわかった。すくなくともこの被験者では、以前サルを用いた実験で見られた傾向と同じ反応時間の傾向が見られ、5%ノイズの時の反応時間の短縮が特定のサルに特有の現象ではなく、一般的な現象であることが示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.md.tsukuba.ac.jp/basic-med/physiology/sys-neurosci/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

設楽 宗孝 (SHIDARA MUNETAKA)

筑波大学・医学医療系・教授

研究者番号：10357189

(2) 連携研究者

水挽 貴至 (MIZUHIKI TAKASHI)

筑波大学・医学医療系・助教

研究者番号：60463824

松本 有央 (MATSUMOTO NARIHISA)

独立行政法人産業技術総合研究所・ヒューマンライフテクノロジー研究部門・主任研究員

研究者番号：00392663