

令和元年6月9日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01843

研究課題名(和文) 高次報酬としての情報量の計算の脳内神経機構

研究課題名(英文) Neural mechanism for computing information value as abstract reward

研究代表者

中村 清彦 (Nakamura, Kiyohiko)

東京工業大学・情報理工学院・教授

研究者番号：10172397

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：ヒトは水や食料と同様に情報を求める欲求をもつ。本研究は、情報を求める行動課題遂行中のサルの前頭前野外側部から神経細胞活動を記録し、それらが先行研究の3つの情報評価基準、即ち、経済学的情報価値、シャノン情報量、確率ゲインのいずれと相関をもつかを調べた。得られた結果は、記録した約千個の全神経細胞の集団活動を主成分分析した結果、サルが情報価値を評価する時間の細胞集団活動の時間変化は経済学的情報価値と相関する時間が最長で、確率ゲインとが2番目で、シャノン情報量と相関する時間はなかった。結論：神経系は情報量を細胞集団活動によって経済学的情報価値または確率ゲインとして表現していることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒトは自らの外界からより多くの情報を効率良く収集する能力を持つ。この行動には複数の行動選択肢のそれぞれで得られる情報の量を評価する機能が必要である。この機能はこれまで心理学および経済学で研究されてきた。この機能の脳内機構を明らかにできれば、ヒトと同様の外界から情報を効率的に収集する情報機器を設計することができる。本研究は情報量評価の神経機構を明らかにして新しい情報処理機構の設計原理を提示するとともにヒトの情報処理に関連する疾患の機序解明の基礎的知見を与えるものである。

研究成果の概要(英文)：The desire to obtain information is a powerful motivator in daily life, as well as desires for primary rewards such as food and water. Psychological studies have presented several criteria that human subjects use to assess information. We examined which criterion the nervous system uses to assess information among the following criteria, the value of information (VOI), the probability gain, and Shannon information. We recorded the activity of about 1000 neurons from the lateral prefrontal cortex (IPFC) of two monkeys while they conducted information seeking tasks. Results: 1. A principal component analysis showed that responses of the entire populations of the recorded neurons effectively discriminated between the tasks performed. 2. Dynamics of the population responses showed that the population responses could encode the VOI longer than the probability gain, and not Shannon information. These indicate that the IPFC encodes the VOI and the probability gain to assess information.

研究分野：神経行動学

キーワード：抽象的報酬 情報量 不確実性削減 好奇心 サル 細胞集団活動

1. 研究開始当初の背景

ヒトは常に情報を求める欲求を持っている。例えば、インターネットを調べたり、テレビを観たり、書物を読むために多くの時間を過ごす。情報を求める欲求は、食べ物や水のような1次報酬への欲求と同じように、日常における行動の強い動機源となっている。1次報酬を処理する機構はホメオスタシス系の研究において詳細に調べられている。例えば、摂食は脂肪組織を成長させる。そのことが脂肪組織からのレプチンやその他のホルモンを分泌を促進する。これらのホルモンは視床下部の神経活動を変化させて食欲を制御する(Stanley et al., 2005; Ahima and Flier, 2000)。それに比して、情報や金銭のような抽象的報酬を求める欲求はホメオスタシス系から生じるのではなく、したがって抽象的報酬を求める機構はほとんど解明されていない。

情報を求める行動はこれまで心理学で研究がなされてきた。その行動は内적および外的に生起する行動として2種類に分類される。情報を求める行動は「好奇心」によって内的に喚起される(Eliasz and Schotter, 2007; van Lieshout et al., 2018)。被験者の内적状態を推定することは難しいために、好奇心の理解は不完全なままに留まっている(Kang et al., 2009; Gruber et al., 2014)。情報を求める行動は身近な利得のような外的な報酬によっても生起される。例えば、天気予報における降水確率の情報は傘を携帯すべきか否かの決めるために役立つ。このような情報は外界の将来の状態に関する知識の不確かさを減少させてくれる。不確か性の減少のための情報探求は心理学(Nelson, 2005; Baron, 1985; Baron et al., 1988; Oaksford and Chater, 1994; Oaksford et al., 1997)および経済学(Hubbard, 2010)で深く研究されている。これらの研究では、ヒトの被験者がいろいろな行動課題において情報量の多い行動を選択するために、外界の不確か性を表現している確率分布から情報の価値を計算する評価法を調べている。しかしながら、それらの評価法の中のどの評価法を、どの神経系が使って情報探索における情報を評価しているはまだ分かっていない。

少数の先行研究がいろいろな脳領域で情報の価値を表現している単一神経細胞の活動を報告している。サルの運動前野背側部の神経細胞活動は、サルが受けることが期待される情報の量と相関している(Nakamura, 2006)。中脳の神経細胞は、報酬情報の予測誤差と1次報酬の予測誤差の両方を表現している(Bromberg-Martin and Hikosaka, 2009, 2011)。前頭眼窩野には情報の価値と1次報酬を独立に表現している神経細胞が存在している(Blanchard et al., 2015)。最近の研究によって、頭頂葉にも情報を求める行動を誘導する情報利得を表現する神経細胞活動があり、それらは報酬の期待値や報酬の予測誤差とは異なることが報隠されている(Foley et al., 2017)。fMRIを用いた研究では、好奇心は結果が不確かなほど大きくなり、好奇心が生じることによって頭頂葉の活動が高まることが示されている(van Lieshout et al., 2018)。これらの研究は多様な脳領域に情報の価値と相関する神経活動が存在することを示している。しかし、神経系がどのような評価法で情報の価値を計算しているかは未知のままである。

2. 研究の目的

我々は神経系がどのような評価法を用いて情報の価値を評価しているのか明らかにすることを研究の目的とした。具体的には、神経系が心理学や経済学で提案されている情報の評価法のどの評価法を用いて情報価値を計算していると考えられるかを調べた。そのために、情報を求める行動課題を遂行中のサルの前頭前野外側部から単一神経細胞の活動を記録した。そして、記録された活動が情報の3つの評価法、すなわち、経済学的情報価値(Hubbard, 2010)、シャノン情報量(Oaksford and Chater, 1994; Oaksford et al., 1997)、確率ゲイン(Baron, 1985; Baron et al., 1988)のいずれで最も誤差が少なく説明できるかを調べた。これら3つの評価法は、それぞれ情報を得る前後の期待利得または期待損失の差、期待エントロピーの減少量、正しい行動をとれる確率の期待改善量を表している。神経系がこれらの中のどれを用いて情報を評価しているかが分かれば、情報を求める欲求を生じる神経機構の解明の重要な手掛かりが得られる。

3. 研究の方法

我々は情報を求める行動課題を遂行中の2匹のサルの前頭前野外側部から、それぞれ1,126個と737個の単一神経細胞の活動を記録した。4つの行動課題A, B, C, Dを次のように設計した。すなわち、各課題でサルが得ることができる情報の量を経済学的価値で計算すると価値が高い順に課題A > B > C = Dとなり、シャノン情報量を用いれば課題A > B > D > Cとなり、確率ゲインを用いれば課題A > D > B > Cとなる。記録された神経細胞活動がこれらの課題の順序と計算値のどれを最も誤差少なく表現しているかを調べた。

4. 研究成果

我々は前頭前野外側部から、情報の経済学的価値、シャノン情報量、および確率ゲインと相関する活動を示す神経細胞をサルAでそれぞれ75個、34個、41個、サルBで40個、25個、17個見つけた。2匹のサルで経済学的情報価値を表現する神経細胞が最多であるが、その数は記

録した細胞全体の中の僅かな数であった。

次に、記録した 1126 個と 737 個の神経細胞が細胞集団の活動としてどの情報の評価法を表現しているかを主成分分析と回帰分析を用いて調べた。その結果、サルが情報の価値を評価している時間の神経細胞集団活動は 4 つの行動課題を完全に(線形分離可能に)区別していること、および 4 つの評価法のいずれも表現し得ることが示された。

さらに、細胞集団活動をより詳細に調べるために、上記の時間内の神経細胞集団活動の動的変化を“targeted dimensionality reduction”分析(Mante et al., 2013)を用いて解析した。その結果、神経細胞集団活動は経済学的情報価値と確率ゲインを表現できる時間帯があり、その長さは経済学的情報価値の方が長かった。シャノン情報量を表現できる時間帯はなかった。

これらの結果から、前頭前野外側部では情報は経済学的情報価値または確率ゲインを評価法として用いて評価されており、シャノン情報量は用いられていないこと、および経済学的情報価値に基づく評価の可能性が最も強いことが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

1. Kiyohiko Nakamura and Misako Komatsu (2019)
Information seeking mechanism of neural populations in the lateral prefrontal cortex
Brain Research, 1707: 79-89, <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2018.11.029>

〔学会発表〕(計 2 件)

1. Kiyohiko Nakamura and Misako Komatsu (2018)
Neural mechanism for information seeking in monkey prefrontal cortex
Society for Neuroscience Abstracts, <http://am2018.sfn.org/>
2. Kiyohiko Nakamura and Misako Komatsu (2018)
情報を探る行動中に前頭前野の神経細胞集団の応答は情報の価値を表現する(The value of information encoded by neural populations of prefrontal cortex during information seeking.)
第 41 回日本神経科学大会, Late-breaking abstracts program.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。