

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：34504

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K07357

研究課題名（和文）環境の変化に適応する柔軟なナビゲーション行動の神経機構

研究課題名（英文）Neural mechanisms for flexible navigation to adapt a change in an environment

研究代表者

佐藤 暢哉（SATO, Nobuya）

関西学院大学・文学部・教授

研究者番号：70465269

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ラットを対象に迷路内の移動を求めるナビゲーション課題を実施した。迷路内の構造は日ごとに变化させたが、試行を繰り返すごとにナビゲーションの効率は高まっていき、ラットが迷路構造を学習していたことが示唆された。この課題を遂行しているラットの脳梁膨大後皮質のニューロン活動を記録・解析した結果、迷路内の場所によって発火頻度を変えるものが見受けられた。このことは、脳梁膨大後皮質において迷路内のどこにいるのかという場所情報が表象されていることを示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

この研究では、ある地点から別の地点に移動するナビゲーション行動の神経メカニズムを検討した。毎日变化する環境で新たに道順を覚える必要のある状況での実験の結果、脳梁膨大後皮質の神経細胞が場所情報を有していることが示された。海馬と場所の関係はよく知られているが、脳梁膨大後皮質での検討はあまりない。ヒトではこの領域の損傷で、現在地は分かるが目的地にどう行けば分からないという道順障害が生じることが知られている。今回、神経細胞レベルでそのメカニズムの一端を検討することができた。しかし、詳細はまだ明らかとは言えず、今後の研究が望まれる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we required rats to perform a navigation task in which they had to navigate in a maze. The structure of the maze was changed day by day. As the trials proceeded, the distance the rats traveled and the time to reach the goal decreased, suggesting that the rats learned the structure of the maze. We recorded neuronal activity from the retrosplenial cortex of the rats performing the task and found some neurons that showed differential activity depending on the rats' place in the maze. This suggests that the retrosplenial cortex represents place information.

研究分野：行動神経科学

キーワード：ナビゲーション 認知地図 ルート知識 脳梁膨大後皮質 ラット

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ある地点から別の地点への移動行動であるナビゲーションは、私たちヒトを含めた動物が生きていくために必須な行動である。ナビゲーションを行なう際、空間の内部表象である認知地図が必要だと考えられている。行動学的に認知地図の存在を示すためには、空間構造を変化させた場合に、その変化に柔軟に対処できるかどうかが問われる。具体的には、すでに記憶した空間内において、通れなかったところが通れるようになったり、かつて通れたところが通れなくなったりした場合に、それまで利用していたルートを変更し、近道や回り道を取ることができるかが問われることとなる。つまり、空間構造の変化に対して柔軟に行動を適応させていくことが問われる。

ナビゲーションの神経機構に関する研究の多くは、海馬やその周辺領域に着目したものである。これは、それらの脳領域において場所細胞やグリッド細胞など特徴的なニューロン活動が報告されているためだと考えられる。これらのニューロンが有している情報は、現在地がどこかに関するものが中心となっている。そのため、ルートの認識に関わること、つまり、どのようにして目的地に至るのか、どのようにルートを選択するのかといったことや、環境が変化した場合にどのように対処するのかといったことの神経基盤についてはほとんど明らかではないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ラットを対象として、ルート知識の更新プロセスに関わる神経機構を明らかにすることである。生体が新奇環境に置かれた際、最初は環境に対する探索行動が生じ、その結果として目的地にたどり着くこととなる。そして、探索を通して目的地へ到達することを何度も繰り返すことによって、目的地に至るルートの知識が最適化され、最短ルートが取れるようになる。本研究では、まず、このプロセスに関わる神経活動を検討する。その上で、学習した迷路構造に変化を加え、環境の変化に対応して近道あるいは回り道するようにナビゲーション行動を変化させることに関わる神経機構について明らかにする。特に、本研究では、頭頂葉内側部に位置する脳梁膨大後皮質に着目する。

3. 研究の方法

二つの迷路装置を用いて、ラットの空間認知とその神経機構を検討する実験を実施した。

(1) ラットがルートの構造を弁別できるか、またその弁別に用いた手がかりを明らかにするために、四隅を取り替えることのできる周回走路を作製した。この周回走路では、スタート地点とゴール地点が同一地点となる。ゴール地点には、走路の内側壁と外側壁に反応のボックスを設置し、そこにノーズポークを行なうことを反応とした。ラットには、周回走路の四隅の形状を手がかりとして、内側あるいは外側のボックスへ反応する弁別課題を学習させた。学習成立後、走路四隅の内側壁と外側壁の構造が異なっている走路を用いて、内側壁と外側壁のどちらの形状を弁別手がかりとして用いているのかについて検討した。

(2) 自由に構造を組換えることのできる別の迷路装置を用いて、実験日ごとに新たな環境で目的地へのナビゲーションをラットに学習させた。装置の四隅にはボックスが取り付けられており、それらがスタートボックスあるいはゴールボックスとなった。ラットに一つのボックスをスタートして残り三つのボックスを巡回する課題を学習させた。目的となるボックスに到達すると報酬としてエサを与えた。学習初期には装置内を探索する行動が出現するが、学習の進行に伴って、しだいにラットが取るルートは最短ルートに最適化されていくと予測された。課題時の脳梁膨大後皮質のニューロン活動を記録した。

4. 研究成果

(1) ルートの構造の識別は認知地図の基本要素となると考えられる。ルートの構造の認識について検討するために、周回走路を用いたルート構造の弁別課題を開発し、ラットに特定ルートの形状の弁別が可能かどうかについて検討した。走路の一つは四隅が四角形で、もう一つは円形をしており、それらの形状に応じて選択地点で装置の内側あるいは外側の反応ボックスへのノーズポーク反応を要求した。多少の修正手続きなどを要した個体も存在したが、多くのラットがこの課題を学習することを確認できた。その後、ルートの形状の弁別に使用する環境手がかりを検討するために、四隅の内側壁と外側壁の形状が異なった走路を用いたテストを実施した。その結果、多くのラットが内側壁の形状と一致する側のボックスに反応する傾向が認められた。これは、走路の内側壁の形状を弁別手がかりとしていることを示唆している。また、内側壁と外側壁の形状の異なった走路を用いた再学習において、内側壁の形状が原学習のルールと一致する場合の方が、不一致の場合よりも課題成績がよかった。このことも、ラットがルート形状の弁別に内側の形状を手がかりとしていることを示唆している。

(2) また、脳梁膨大後皮質のナビゲーションにおける機能を明らかにすることを目的に、自由に構造を組換えることのできる迷路を用いたナビゲーション課題をラットに学習させた。日ごとに迷路の内部構造を組換えたが、日内において、しだいにラットの迷路内での移動距離が短縮し、巡回を終える時間も短縮していくことが認められた。このことは、ラットの迷路内でのナビゲーション行動がしだいに効率的になっていくことを示唆している。脳梁膨大後皮質を標的としてニューロン活動記録のための電極を埋め込み、迷路内を走行している際のニューロン活動の記録を行なったところ、迷路内の特定の場所において活動性を上げるニューロンが見受けられた。このことは脳梁膨大後皮質が迷路内での空間位置の情報を有していることを示唆している。ただし、ラットの頭部の方向や迷路内での特定の行動（右に曲がるなど）についての詳細な解析は未実施で、この点を今後詳細に分析していく必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Hayashi Tomohiro, Oguro Masashi, Sato Nobuya	4. 巻 154
2. 論文標題 Involvement of the retrosplenial cortex in the processing of the temporal aspect of episodic-like memory in rats	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neuroscience Research	6. 最初と最後の頁 52 ~ 55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neures.2019.05.005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yamagishi Atsuhito, Okada Maya, Masuda Masatoshi, Sato Nobuya	4. 巻 153
2. 論文標題 Oxytocin administration modulates rats' helping behavior depending on social context	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neuroscience Research	6. 最初と最後の頁 56 ~ 61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neures.2019.04.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kawai Takashi, Yamada Hiroshi, Sato Nobuya, Takada Masahiko, Matsumoto Masayuki	4. 巻 29
2. 論文標題 Preferential Representation of Past Outcome Information and Future Choice Behavior by Putative Inhibitory Interneurons Rather Than Putative Pyramidal Neurons in the Primate Dorsal Anterior Cingulate Cortex	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Cerebral Cortex	6. 最初と最後の頁 2339 ~ 2352
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/cercor/bhy103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 山岸厚仁・佐藤暢哉	4. 巻 69
2. 論文標題 オキシトシンが向社会的行動にもたらす影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 人文論究	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 山岸厚仁・中島定彦・廣野翔太・三島美緑・木本琢海・記田浩明・鹿瀬大稀・松藤未宇・酒井太郎・賈擎宇・橋本侑希美・水江春美・大久保綾香・北野孝太・佐藤暢哉	4. 巻 45
2. 論文標題 ラットの条件性抑制における阻止効果の再現	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 関西学院大学心理科学研究	6. 最初と最後の頁 9-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sato Nobuya, Fujishita Chihiro, Yamagishi Atsuhito	4. 巻 151
2. 論文標題 To take or not to take the shortcut: Flexible spatial behaviour of rats based on cognitive map in a lattice maze	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Behavioural Processes	6. 最初と最後の頁 39 ~ 43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.beproc.2018.03.010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Inoue Kazuya, Yagi Yoshihiko, Sato Nobuya	4. 巻 46
2. 論文標題 The mere exposure effect for visual image	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Memory & Cognition	6. 最初と最後の頁 181 ~ 190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3758/s13421-017-0756-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Inoue Kazuya, Otake Keiko, Sato Nobuya	4. 巻 31
2. 論文標題 Satiety changes elicited by repeated exposure to the visual appearance of food: Importance of attention and simulating eating action	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Health Psychology Research	6. 最初と最後の頁 9 ~ 19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11560/jhpr.171031094	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawai Takashi, Yamada Hiroshi, Sato Nobuya, Takada Masahiko, Matsumoto Masayuki	4. 巻 29
2. 論文標題 Preferential Representation of Past Outcome Information and Future Choice Behavior by Putative Inhibitory Interneurons Rather Than Putative Pyramidal Neurons in the Primate Dorsal Anterior Cingulate Cortex	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Cerebral Cortex	6. 最初と最後の頁 2339 ~ 2352
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/cercor/bhy103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 HAYASHI Tomohiro, SATO Nobuya	4. 巻 38
2. 論文標題 Effect of Lesions of the Retrosplenial Cortex on Spatial Tasks in the Rat	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Physiological Psychology and Psychophysiology	6. 最初と最後の頁 34 ~ 47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5674/jjppp.2002si	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamagishi Atsuhito, Lee Joungmin, Sato Nobuya	4. 巻 393
2. 論文標題 Oxytocin in the anterior cingulate cortex is involved in helping behaviour	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Behavioural Brain Research	6. 最初と最後の頁 112790 ~ 112790
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbr.2020.112790	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sato Nobuya	4. 巻 11
2. 論文標題 Episodic-like memory of rats as retrospective retrieval of incidentally encoded locations and involvement of the retrosplenial cortex	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 2217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-81943-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小松丈洋・幸地あゆみ・道野菜・佐藤暢哉
2. 発表標題 生理反応に対する隠蔽意図がCITに与える影響
3. 学会等名 日本基礎心理学会第38回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 道野菜・小松丈洋・佐藤暢哉
2. 発表標題 同時弁別課題時における接近・回避行動の学習過程の検討
3. 学会等名 日本基礎心理学会第38回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北野孝太・山岸厚仁・佐藤暢哉
2. 発表標題 he effect of helped/non-helped experience on helping behavior in rats
3. 学会等名 日本動物心理学会第79回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤朱夏・佐藤暢哉
2. 発表標題 Discrimination of the shape of looped runways in rats
3. 学会等名 日本動物心理学会第79回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林朋広・池川真奈・佐藤暢哉
2. 発表標題 An attempt to clarify spatial abilities of rats in a three-dimensional maze
3. 学会等名 日本動物心理学会第79回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋良幸・佐藤暢哉
2. 発表標題 Do rats keep on obtaining the redundant information?
3. 学会等名 日本動物心理学会第79回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸厚仁・内田有咲・佐藤暢哉
2. 発表標題 Rats help conspecifics even when they receive aversive stimuli to do it
3. 学会等名 日本動物心理学会第79回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sato, N., Yamagishi, A., Inutsuka, A., & Onaka, T.
2. 発表標題 Involvement of anterior cingulate cortex in helping behavior in rats
3. 学会等名 The 42th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤暢哉・沖悠司・道野菜
2. 発表標題 回想的映像に対する事象関連脳電位
3. 学会等名 第37回日本生理心理学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 道野菜・佐藤暢哉
2. 発表標題 物体位置に関する視覚・言語情報の呈示が空間的視点取得に及ぼす影響
3. 学会等名 日本基礎心理学会第37回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yamagishi, A., & Sato, N.
2. 発表標題 Behavior of a demonstrator affects helping behavior of an observer in rats.
3. 学会等名 日本動物心理学会第78回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sato, N., Zhu, Q., & Takahashi, Y.
2. 発表標題 The effect of prior visual exploration on the following in situ exploration in rats.
3. 学会等名 日本動物心理学会第78回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sato, A., & Sato, N.
2. 発表標題 Discrimination of shape of mazes in rats.
3. 学会等名 日本動物心理学会第78回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 道野菜・佐藤暢哉
2. 発表標題 多視点観察時に生じる空間記憶統合の阻害
3. 学会等名 日本心理学会第82回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hayashi, T., & Sato, N.
2. 発表標題 Effect of lesions of the retrosplenial cortex on tracing a learned route that includes a small change in spatial structure.
3. 学会等名 Annual meeting of Society for Neuroscience
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yamagishi, A., & Sato, N.
2. 発表標題 Activation of oxytocin receptor-expressing neurons in anterior cingulate cortex during helping behavior in rats.
3. 学会等名 Annual meeting of Society for Neuroscience
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋良幸・佐藤暢哉
2. 発表標題 Do rats show the behavior to reduce uncertainty?.
3. 学会等名 日本動物心理学会第80回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林朋広・佐藤暢哉
2. 発表標題 Examination of the spatial ability in rats using a complex maze.
3. 学会等名 日本動物心理学会第80回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山岸厚仁・小出剛・佐藤暢哉
2. 発表標題 Wild-derived heterogeneous stock (WHS) mice demonstrate helping behavior toward distressed conspecifics.
3. 学会等名 日本動物心理学会第80回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kitano, K., Yamagishi, A., Nishimori, K., & Sato, N.
2. 発表標題 Oxytocin receptor knockout prairie voles display deficits in helping behavior.
3. 学会等名 The 43th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, Kobe, Japan
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北野孝太・佐藤暢哉
2. 発表標題 Sex differences in helping behavior in prairie voles.
3. 学会等名 日本動物心理学会第80回大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 太田 信夫・片山 順一	4. 発行年 2019年
2. 出版社 北大路書房	5. 総ページ数 176
3. 書名 神経・生理心理学	

1. 著者名 日本基礎心理学会	4. 発行年 2018年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 608
3. 書名 基礎心理学実験法ハンドブック	

1. 著者名 子安 増生・丹野 義彦・箱田 裕司	4. 発行年 2021年
2. 出版社 有斐閣	5. 総ページ数 1002
3. 書名 有斐閣 現代心理学辞典	

〔産業財産権〕

〔その他〕

佐藤暢哉研究室
<https://sites.google.com/site/nsatolab/home>
関西学院大学心理科学研究室
<http://psysci.kwansei.ac.jp/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------