

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月11日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21300126

研究課題名（和文） 大規模空間の認知地図形成と移動の制御に係る頭頂葉機能の解明

研究課題名（英文） Neural mechanisms for navigation in large space.

研究代表者

泰羅 雅登（TAIRA MASATO）

東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・教授

研究者番号：50179397

研究成果の概要（和文）：

本研究はナビゲーション係わる脳内神経機構を明らかにする事を目的として行った。頭頂葉内側面の風景と運動情報に関わるナビゲーションニューロンは静的な場所情報にも関わり、ニューロン群として空間全体を表象する可能性があることがわかった。また、これらのニューロン活動にナビゲーション全行程の文脈が影響することも明らかになった。一方海馬傍回にもナビゲーションに関わるニューロンがみつき、この領域のニューロンはより強く風景情報に関わることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：

Neural mechanisms for navigation in large space were investigated. We have already found the medial parietal neurons which related to process the scene and motor information for navigation. These navigation neurons may also process the place information and represent whole space by population. Furthermore, activity of those were affected by the context information of navigation route. We also found the navigation related neurons in the parahippocampal gyrus, which may process the scene information rather than motor information.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011年度	2,100,000	630,000	2,730,000
年度			
年度			
総計	8,200,000	2,460,000	10,660,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：神経科学・神経科学一般

キーワード：ニホンザル、頭頂葉内側面、海馬傍回、場所ニューロン、風景情報、運動情報

1. 研究開始当初の背景

我々は奥行きのある空間の中に生活している。頭頂連合野が属する背側視覚経路は空間視の経路であると言われている。奥行き情報は言うまでもなく空間情報のひとつであ

り、背側視覚経路、特に頭頂葉で処理される情報である。これまでの我々の研究で、頭頂連合野における物体の三次元形態に基づいた操作運動の視覚性制御機構について明らかにしてきた。また、この運動の視覚性制御

機構の背景には、物体の三次元形態を認知する神経機構があるはずという仮説のもとに検証をすすめ、頭頂連合野に様々の奥行き手がかりを統合して三次元形態を認知する神経機構があることも明らかにしてきた (Tsutsui et al. Science, 2002)。

これらの神経機構は、狭い空間内の三次元視覚情報、すなわち操作空間内の奥行き情報処理機構であるが、我々の脳にはより広い大規模空間に関する奥行き情報の処理機構が存在しているはずである。そして、頭頂連合野は操作運動の視覚性制御と同様に、この大規模空間の視覚情報に基づいて、その中での自己の運動を制御する視覚性制御の神経機構 (ナビゲーションシステム、navigation system) があると考えられる。

普段我々は、家から大学まで、あるいは大学構内などのよく知った移動空間であれば、特に意識することなくその中を自由に移動できる。おそらくこれは脳の中にこれらの大規模空間についての認知地図ができあがっているからと考えられる。これまで、動物では空間記憶による認知地図は海馬の機能とされ、ラットの海馬の場所細胞の性質や、海馬の局所的破壊による迷路学習の障害などが詳しく調べられてきた。しかし、最近の神経心理学的研究から頭頂葉の内側面の後脳梁膨大部に障害があると道順の認知障害が起きることがわかり、永続的な認知地図が頭頂葉に蓄えられている可能性が示唆されている。我々の研究室では、立体視刺激やバーチャルリアリティ (VR) 刺激を使ってサルの頭頂連合野の三次元形態認知機能について電気生理学的手法を用いて解析を行ってきた。この知識と技術を生かし、先行研究として、大型のVR環境内をサルが覚えた道順にしたがって目的地に到達するナビゲーション課題を作成し、課題遂行中のニューロン活動の記録し、頭頂葉の内側面にナビゲーション課題で特異的に活動するニューロン (ナビゲーションニューロン) があることを見つけた。このニューロンは目的地までの経路上のある地点の位置情報と、正しい行き先に到達するためにその場所で選択すべき自己の運動の情報を統合していると考えられた (Sato et al. PNAS, 2006)。

2. 研究の目的

本研究では、この研究をさらに推し進め、頭頂葉内側面ニューロンと場所情報との関連を、風景との関連、ナビゲーション全行程の文脈との関連について調べる。また、他領域 (特に海馬周辺領域) ニューロンとの比較をすることで、ナビゲーションシの脳内神経機構を明らかにする。

人間での認知心理学的研究では、大規模空

間を移動する際のプランには「大まかな俯瞰地図を思い浮かべてプランするレベルと、「ドアを出て右に、廊下の突き当たりを左に、・・・」という道順をたどる具体的なレベルとがある。道順を覚えることは、何度もその経路をたどり、途中の風景を詳しく解析することで正確な経路の表象を形成することであるとされている。そして、いくつもの経路の表象が形成されたあと、目印 (ランドマーク) を中心にいくつかの経路自体が再構成されて、まずは比較的狭い移動空間の認知地図が形成され、それが徐々に拡張されて大規模空間の認知地図ができあがると考えられている。したがって、経路の途中の風景と経路との関連がニューロンにどのように表象されているのか、すなわち、風景のみが表象されるのか、風景と経路が対となって表象されるのか、風景が連続して表象されるかなどの情報から、経路の情報がどのように表象されるのかを調べ、それを手掛かりとすれば、認知地図形成の基本的な神経機構が明らかになると考えられる。

一方、これまでの多くの研究は、海馬領域が場所認知に関係していることを示しており、さらに、ヒトでのイメージング研究において、腹側視覚経路に属する側頭後頭連合野に、風景の情報処理に特異的な領域が見つかっている。したがって、我々の研究領域である頭頂連合野のニューロン活動とこれらの領域の機能的な差異を明らかにすることで、ナビゲーション、認知地図形成に関与する脳全体での神経機構の概要が明らかにできると考える。そのため、まず、さきに述べたように、ナビゲーションニューロンの反応における視覚情報の詳しい解析を行い、ニューロン活動に対する経路途中の風景と経路の全体の情報の関わりを調べることで、経路自体がどのように表象されているのかを明らかにする。そのうえで、古くから場所情報との関連が研究されている海馬近傍領域 (海馬傍回) のニューロン活動を同じ条件で記録して比較を行い検討する。

3. 研究の方法

研究では、VR空間内を、サルがジョイスティックを使用して自由に移動するナビゲーション課題を用いた。サルの前方に100インチの大型スクリーンを設置し、サルに偏光めがねをかけさせて、プロジェクター2台で風景の立体映像を投影し、ジョイスティックを使って、その空間内をサルに移動させる。用意した空間は2階建てのビルディングで、サルは、玄関、あるいは廊下の途中から、指示された部屋にジョイスティックを使って移動する (図1)。

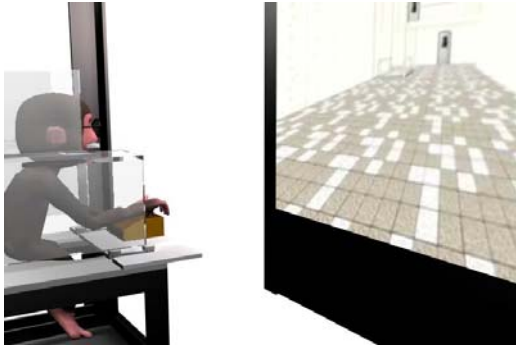


図1 実験の様子

ナビゲーション課題では、まずサルに目的の部屋の内部のスライドを呈示した。そのあとディスプレイ上の風景が玄関、または廊下の途中に移動し、スタートする。スタートから目的地までの間にいくつかのポイント設定しておき、各ポイントで直進、右回転、左回転の運動を選択させるようにし、ポイント間の移動の間は常にジョイスティックを倒していなければいけないようにした(図2)。

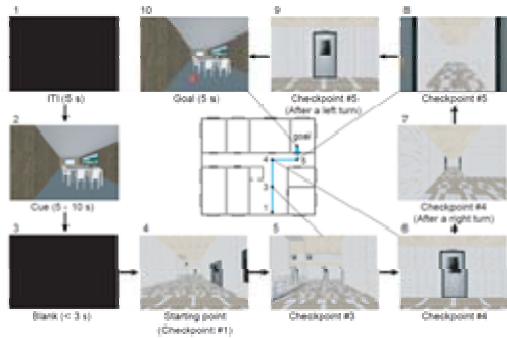


図2 ナビゲーション課題の手順

(1) ニューロン活動の記録

頭頂葉内側面、および、海馬傍回からナビゲーション課題遂行中に単一ニューロン活動の記録を行い、その性質を比較する。

(2) ニューロン活動の解析

記録されたニューロン活動を下記の観点から解析した。

- ① 場所との関係：VR環境内の特定の場所と関係があるかどうか。
- ② 行動との関係：直進、右旋回、左旋回など、特定の行動と関係があるかどうか。
- ③ 場所と行動の組み合わせ：特定の場所における特定の行動と関係があるかどうか。
- ④ 風景との関係：経路上の特定の風景と

の間に関係があるかどうか。連続した風景か単独の風景か。離れた場所の風景に反応するかどうか。

⑤ 全体の行動プランとの関係：上記のような活動が、どのゴールを目指している時にも起きるのか、特定のゴールを目指す時にだけ起きるのかについて調べる。

4. 研究成果

(1) 内側頭頂葉領域

頭頂葉内側領域(7 m野、脳梁膨大後部、帯状回後部)ニューロンの、空間内の位置に対する選択性を調べるために、ニホンサルにナビゲーション課題をトレーニングして、バーチャルリアリティビルディング内の場所に対するニューロンの選択性を調べた。

記録したニューロンの約三分の一はビルディング内のある特定の場所で活動する、場所選択性ニューロンであった(図3)。

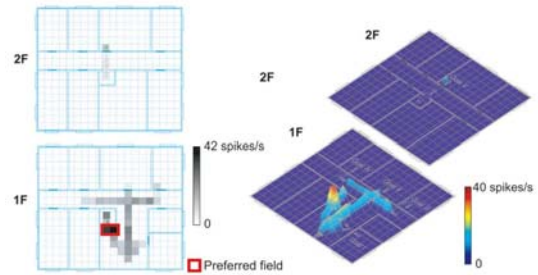


図3 特定の場所に選択性をもつニューロン

一つ一つの場所選択性ニューロンの持つ好みの場所の広さは狭いが、一カ所だけではなく、複数の場所に選択性を示すニューロンも存在していた。また、すべてのニューロンの好みの場所を統合すると、移動空間内のすべての場所が表現されていることがわかった。このような場所に選択性を示すニューロンの中には、場所以外にも方向や、運動に対して選択性を示すニューロンも存在したが、場所に対する選択性が他の要素に対する選択性に比べて、最も強かった。

一方で、ニューロンによっては、これらの場所に対する反応がどこからスタートするかによって、その反応の強さが変化した。このことは頭頂葉内側面のこれらのニューロンは、単に場所に反応するのではなく、ナビゲーション全行程の文脈の影響を受ける可能性を示唆している(図4)。

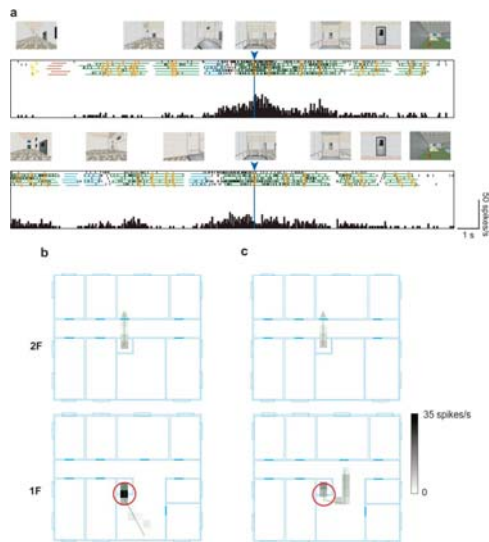


図4 場所に対する反応と文脈の影響

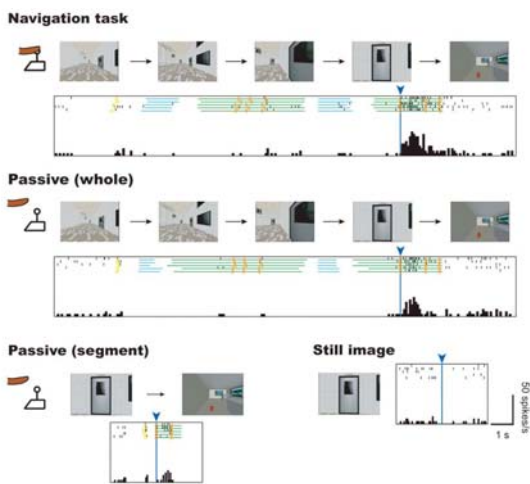


図5 風景に対する反応と文脈の影響

これまでの研究で頭頂葉内側面のナビゲーションニューロンは風景と運動の情報を処理していることがわかっている。場所の情報がナビゲーション全行程の文脈の影響を受けたように、風景に関する視覚情報も文脈の影響をうける可能性がある。そこで、1) 好みの風景を含む、たどるルート全体のアニメーション、2) 好みの風景近辺のアニメーション、3) 好みの風景の静止画像に対する反応を調べたところ、調べたニューロンのうち約半数のニューロンは好みの風景近辺のアニメーションでは反応が減少するかなくなり、70%のニューロンは風景の静止画像に対して反応しないか、反応が減少した。この結果は、ナビゲーションニューロンの反応は、単に特定の場所の風景に対する反応ではなく、出発点からその場所まで、あるいはその場所から目的地までの文脈情報を含んだ反応であるといえる。

(2) 海馬傍回

これまでの研究で、頭頂葉内側領域（7 m野、脳梁膨大後部、帯状回後部）のニューロン群が広い空間のナビゲーションに関連しており、場所情報と運動情報の組み合わせる、ナビゲーションのモデルにおける道順知識のリストの要素に相当することが明らかになってきた。

一方、この領域のニューロンの中には、バーチャル空間内の特定の場所で活動するいわゆる場所ニューロンが見つかった。この場所ニューロンはこれまで海馬、海馬傍回で多く見つかっており、これらの領域が地誌的情報を扱うことの実証とされていた。また、頭頂葉内側領域への場所情報は海馬、海馬傍回からの入力によるのではないかと考えられる。本年度は、広い空間内のナビゲーションにおいて、頭頂葉内側領域と海馬傍回との間どのような機能的差異が存在するのかを調べることを目的として、同じ課題を用いて両方の領域から単一ニューロン活動を記録し、その性質を調べ比較した。

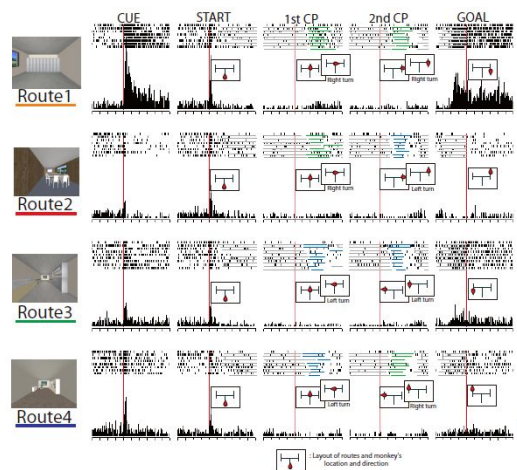


図6 海馬傍回の風景に反応するニューロン

その結果、海馬傍回ニューロンの多くは課題の最初の目的地の提示時期に目的地の風景に選択性を示しながら活動した。また、そのようなニューロンの割合は頭頂葉内側領域に比べ有意に多かった。一方、頭頂葉内側領域のニューロンは運動中に運動方向に対して選択的に活動するものが多かった。ポピュレーションヒストグラムを作り活動の時間経過を比べたところ、頭頂葉内側領域のニューロンは移動開始の直前から移動中にかけて活動が増加するのに対して、海馬傍回のニューロンは移動が停止する直前から停止中に活動していた。この結果は海馬傍回のニューロンは主として風景情報を処理しているのに対して、頭頂葉内側領域のニューロンは運動情報の選択に係わる可能性を示唆する。

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)

〔雑誌論文〕(計5件)

- ① Sato N, Sakata H, Tanaka Y, Taira M. Context-dependent place-selective responses of the neurons in the medial parietal region of macaque monkeys. *Cerebral Cortex*, 査読有, 20 (2010) 846-858
- ② Katsuyama N, Yamashita A, Sawada K, Naganuma T, Sakata H, Taira M. Functional and histological properties of caudal intraparietal area of macaque monkey. *Neuroscience*, 査読有, 167 (2010) 1-10.
- ③ Katsuyama N, Usui N, Nose I, Taira M. Perception of object motion in three-dimensional space induced by cast shadows *Neuroimage*, 査読有, 54 (2011) 485-489
- ④ 泰羅雅登、頭頂葉と身体の運動、*Clinical Neuroscience*、査読無、29巻、2011、917-920
- ⑤ 泰羅雅登、脳の中のナビゲーションシステム、*BRAIN and NERVE*、査読無、64巻、2012、263-271

〔学会発表〕(計5件)

- ① Taira M., Neural mechanisms for navigation, 56th NIBB symposium, 2010.3.12, Okazaki.
- ② 海野俊平、佐藤暢哉、泰羅雅登 ナビゲーション課題遂行時のサル海馬傍回ニューロンの活動 第32回日本神経科学大会 2009年9月 名古屋
- ③ 勝山成美、臼井信男、泰羅雅登、Square over Checkerbord 錯視における奥行き知覚のメカニズム、第34回日本神経学大会、2011年9月16日、横浜
- ④ 海野俊平、佐藤暢哉、泰羅雅登、サル海馬傍回と頭頂葉内側領域のナビゲーション関連ニューロン、第34回日本神経科学大会、2011年9月15日、横浜
- ⑤ Taira M., Neural mechanisms for navigation: Comparison between the medial parietal region and the parahippocampal gyruus, Internarional Symposium on Frontiers in Primate Neuroscience Researches, 2012.2.23, Tokyo

〔図書〕(計1件)

泰羅雅登、株式会社新興医学出版社、高次脳機能障害 Q&A(編者:川村満)、2011年、236

〔産業財産権〕
○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

泰羅 雅登 (TAIRA MASATO)
東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・教授
研究者番号：50179397

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

勝山 成美 (KATSUYAMA NARUMI)
東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・助教
研究者番号：00291906