

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18341

研究課題名（和文）視覚系の空間推定処理に関する神経基盤

研究課題名（英文）Neural basis for spatial estimation processing in the visual system

研究代表者

久方 瑠美（Hisakata, Rumi）

東京工業大学・工学院・助教

研究者番号：30588950

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：われわれの視覚系の主な目的は「何が」「どこに」あるかを視覚情報から認識することである。申請者は最近、高密度のテクスチャに順応するとその後に表示される物体間の距離や刺激のサイズの見えが縮小することを発見した。本研究では、この現象について、磁気共鳴機能画像および行動実験を用いて密度-距離順応に關与する脳部位を特定・検討することを目的とした。研究1のfMRI計測実験ではRapid event-related fMRIにて順応後のテスト刺激に対する脳活動を比較し、順応刺激に対しての活動が視覚野にみられた。また、行動実験では刺激の順応時間とリフレッシュ頻度が順応効果に影響を及ぼすことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究から、密度距離順応現象の時間特性が明らかになった。刺激の順応時間とリフレッシュ頻度が、その後に表示されるテスト刺激の知覚サイズに影響するという事は、この順応現象が比較的高次の処理段階で発生していることを示している。具体的には、Walsh（2003）で提案されているようなマグニチュード推定処理に關与しているだろう。マグニチュード推定では、数・時間・空間の「量」が同じ段階・同じ脳領域で処理されていると言われている。今回、順応刺激の時間的な「量」であるリフレッシュ頻度が、その後の空間推定を過小にしており、テスト刺激のサイズ推定はこのマグニチュード推定段階で処理されている可能性を示唆している。

研究成果の概要（英文）：The main purpose of our visual system is to recognize "what" and "where" from visual information. Applicants have recently discovered that adapting to dense textures reduces the visibility of subsequent object-to-object distances and stimulus sizes. The purpose of this study was to identify and examine the brain regions involved in density-distance adaptation using magnetic resonance functional imaging and behavioral experiments. In the fMRI measurement experiment of Study 1, Rapid event-related fMRI was used to compare the brain activity to the test stimulus after adaptation, and the activity to the adaptation stimulus was observed in the visual cortex. In addition, behavioral experiments revealed that the stimulus adaptation time and refresh frequency affect the adaptation effect.

研究分野：実験心理学

キーワード：空間知覚 密度順応 視覚情報処理 実験心理学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

われわれの視覚系の主な目的は「何が」「どこに」あるかを視覚情報から認識することである。「どこに」を処理する機能である空間認識の中でも、刺激の大きさや長さを推定する機能は空間の奥行きや構造を認識する上できわめて重要である。

申請者は最近、高密度のテクスチャに順応すると、その後に呈示される物体間の距離や刺激のサイズの見えが縮小することを発見した(Hisakata, Nishida & Johnston, 2016)(図1)¹⁾。この「密度-距離順応」は、従来知られている密度順応では説明できない。密度順応とは、高密度に順応した後はテクスチャが実際よりも「まばら」に見える現象である。しかし、今回発見された密度-距離順応では、順応の後ドット間の距離が近くなる、つまり単位空間あたりの密度が高くなっていることから、密度順応とは全く逆の現象である。申請者が行った複数の実験によって、密度順応や空間周波数順応、順応エリアが引き起こすと考えられるサイズ順応では今回の現象は説明できないことがわかった。密度-距離順応は、視覚系が距離を推定する時に密度情報をベースにして処理を行っていることを示している。

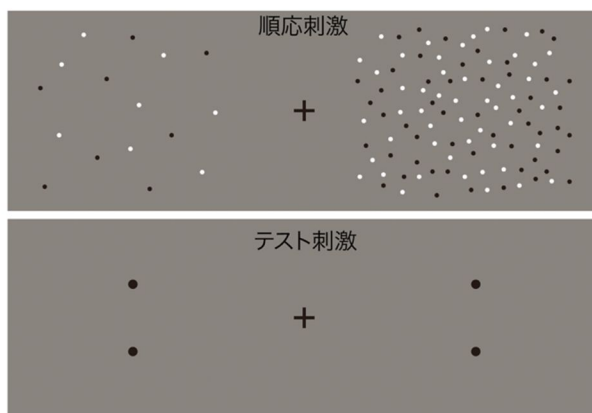


図1:密度-距離順応の例。真ん中の十字が注視点。下図の2点間のドットの距離は左右で同じだが、上図の注視点をしばらく凝視した後、下図の注視点を見ながら左右のドット間の距離を比べると、右の方がドット間の距離が短く見える。テスト刺激をサークルにすると、高密度順応した場所ではサークルのサイズが小さくなる。

Hisakataらは、長さを推定する際に用いられる内部の密度表現が順応することによって、推定値が少なくなってしまうと説明した。まず、順応していない状態では図2の左側のように、密度表現をスケール(定規)として円はその大きさが3であると推定される。しかし定規となっている内部密度表現が順応により粗くなると、円自体のサイズは内部では変わらないのだが、推定される大きさは順応後には2となる(図2右側)。このように、密度表現をスケールとして長さ推定を行っているとは仮説がたてられている。テスト刺激の呈示時間が長くなると順応効果が弱くなることから、このメカニズムは刺激の呈示時間が短い、またはコントラストが低いなど、テスト刺激の位置情報が正確にとれないような状況でより顕著に働くメカニズムなのではないかと推測される。もしHisakataらの仮説のように密度-距離順応が物体間の距離の推定段階の問題だとするならば、視覚野でのテスト刺激の位置表現はかわらず、頭頂間溝(IPS)での活動が密度順応によって変化すると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、磁気共鳴機能画像法(functional magnetic resonance imaging: fMRI)および行動実験を用いて密度-距離順応に關与する脳部位を特定・検討する。さらに頭頂間溝に關係が深い、把握

行動と順応によって変化した距離・サイズの知覚との関係を行動実験にて検討する。

3. 研究の方法

研究1では、密度順応後の距離・サイズ判断課題中に脳のどの領域が活動するのかについて、fMRI実験および行動実験を行い検討する。Aagten-Murphy & Burr (2016)では、数順応(多い数のドットに順応すると、テストのドットの数が少なく見える)は、順応刺激の呈示時間が短くてもその回数を多く呈示すれば数順応が引き起こされることを報告した²⁾。密度-距離順応も、順応刺激のフラッシュ呈示により引き起こされることがわかっており、数順応と同様の特性をもつと考えられる。本実験では、順応刺激の呈示回数や順応・テスト刺激がどの程度時間間隔においても効果が持続するのかについて測定し、fMRI実験の刺激呈示時間の参考とする。

研究2では、密度-距離順応に対して、視覚的な錯覚量と把握動作の錯覚量を比較し、その空間表現が同一かどうかを議論する。刺激はディスプレイ上に表示し参加者は瞬間呈示された刺激のサイズを記憶しそれを掴む動作をする。人さし指・親指をモーションキャプチャカメラで撮影し、指の3次元的位置を計測し、指の間隔距離を測定する。

4. 研究成果

研究1のfMRI計測実験ではRapid event-related fMRIにて順応後のテスト刺激に対する脳活動を比較した。順応刺激が呈示される前にテスト刺激である円およびテクスチャ刺激の活動を記録し、その後順応フェーズでは100個または9個のドットで構成されるテクスチャを1秒呈示したあとのテスト刺激の脳活動を記録した。被験者は注視点につねに注意を向け、呈示されるテスト刺激を判断するようなタスクは課されなかった。順応刺激に対する活動のコントラスト(100個 vs 9個)をとったところ、後頭部の視覚野に相当する領域の活動がみられた(図2)。さらに、円とテクスチャ刺激のコントラストなどを比較したが、いずれもはっきりとしたBOLD変化は観察されなかった。この結果を踏まえて、テスト刺激に対する反応がより計測されやすいよう、テスト刺激の呈示時間を長くする、または瞬間呈示を何度も呈示する、テスト刺激に対する判断課題をタスクに設定するなど、手続きの工夫が必要なのことがわかった。

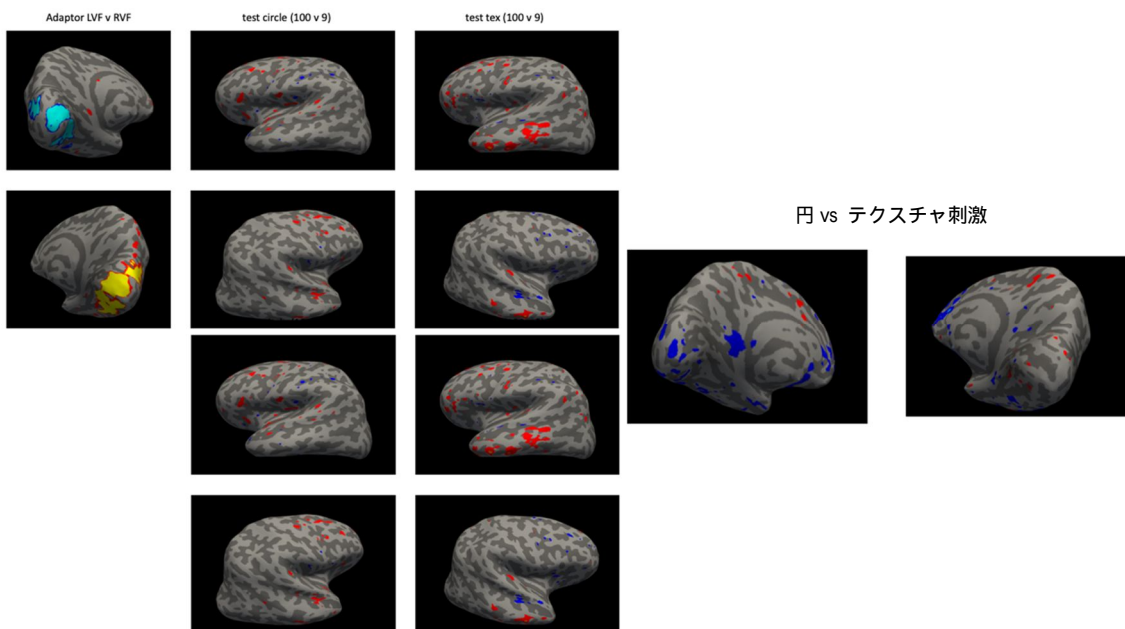


図2: 1名のfMRI実験の結果。左の2枚が順応刺激100個と9個のBOLD変化のコントラストを、さらに左右視野の呈示の条件でコントラストをとったもの。青が右視野の順応刺激に対する活動変化、黄色が左視野の順応刺激に対する活動変化を示している。test circle (100vs9)とtest tex (100v09)はそれぞれ100個と9個の順応刺激のあとに呈示された円とテクスチャに対する活動を示している。また、右の2枚はテスト刺激の円とテクスチャ刺激に対するBOLD変化のコン

トラストを示している。色がついている場所は多重比較補正をしたあとの $p < .05$ のボックスであるが、テスト刺激に対する活動で機能的な意義が推測されるクラスターは観察されなかった。

研究1の行動実験では、順応効果の順応時間の効果および順応効果の減衰時間を計測した。順応刺激として144個の白黒のドットで構成されるテクスチャを、テスト刺激として黒いエッジでできたリングを用いて予備実験を行った。順応時間1秒とし、順応刺激とテスト刺激の時間間隔(Inter Stimulus Interval : ISI)をと、1秒間にドットの位置と輝度をリフレッシュする回数を操作して、左右視野に呈示されるリングの大きさを判断した。被験者1はISIを0~300ms、被験者2はISIを0~1000msで変化させた。図3が結果である。横軸はISI条件、縦軸は順応したエリアのリング刺激の方が大きいと判断した確率であり、チャンスレベルは0.5(50%)となる。被験者1は1秒間の短時間の順応で、順応刺激のリフレッシュ頻度の影響がみられ、リフレッシュがないTF0の条件ではISIが大きくなるにつれてチャンスレベルの0.5付近へ収束していった。しかし順応刺激のリフレッシュがある条件TF5~50では収束がなだらかであった。しかしこの傾向はもうひとりの被験者2では見られず、一貫した結果ではなかった。

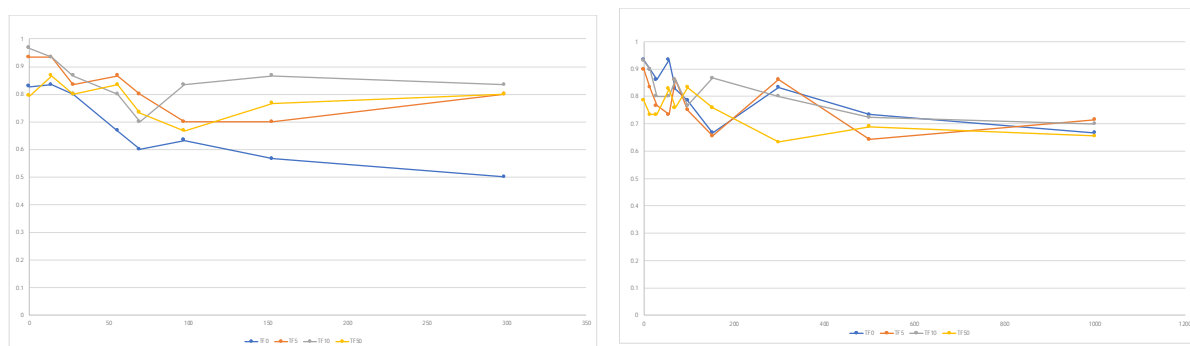


図3：左が被験者1、右が被験者2の結果。横軸はISI条件、縦軸は縦軸は順応したエリアのリング刺激の方が大きいと判断した確率を示す。各色のTFは順応刺激のリフレッシュ頻度を示しており、TF0はリフレッシュが0Hz(静止で変化しない)、TF50はリフレッシュ頻度が50Hzで20msごとに順応刺激が変化することを示している。

この結果を踏まえ、1回の順応時間と1秒と5秒、さらにその間のリフレッシュ頻度を1秒間に0回(静止)、3回(300msごとに更新)、10回(100msごとに更新)する条件の6条件を設け、順応効果の時間経過を計測した。図4はその結果を示す。最大縮小量を比較するとまず1秒ほどの短い順応では、順応刺激のリフレッシュ頻度のサイズ縮小への影響はみられなかった。しかし、5秒の比較的長い順応時間の呈示では刺激のリフレッシュ頻度の影響がみられ、リフレッシュしない条件よりもリフレッシュする条件の方が縮小効果が大きいことがわかった。また、順応時間とリフレッシュ頻度が順応効果の減衰に及ぼす影響を調べるため、縮小効果が減衰する時間を求めて比較したが、減衰時間については個人差が大きく、順応刺激の時間的な特性によって一貫した変化はみられなかった。

以上の結果から、刺激の順応時間とリフレッシュ頻度が順応効果に影響を及ぼすことが明らかになったものの、減衰時間については順応効果が大きいからといって効果が長引くとはいえないことが明らかになった。fMRI実験では順応刺激とテスト刺激に対するBOLD信号を分離するために、順応刺激とテスト刺激に対して1秒以上の時間間隔をあげ、そのISIの条件も複数

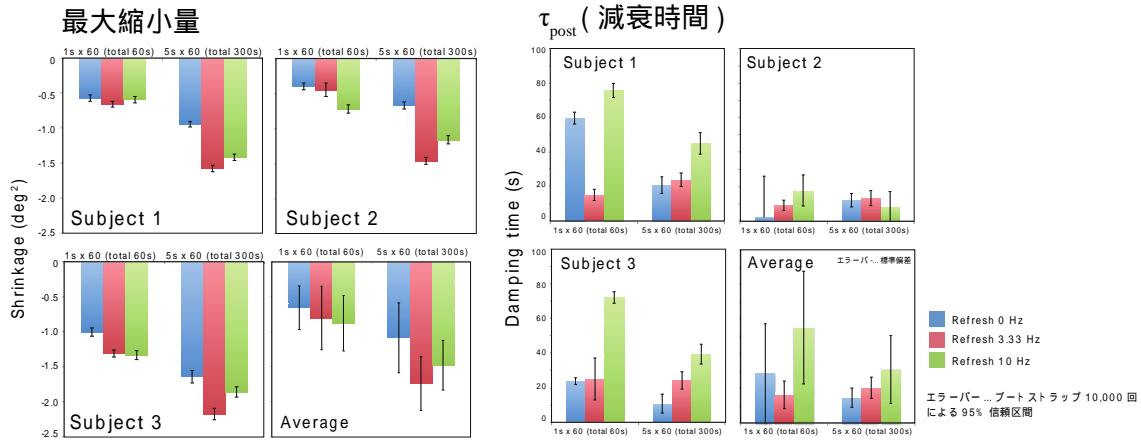


図 4: 被験者ごとおよび平均の順応後の最大縮小量の結果と減衰時間の結果。各パネルの右側の 3 本の棒グラフが 1 秒順応条件、左が側の 3 本の棒グラフが 5 秒順応条件、各色が順応刺激のリフレッシュ頻度、縦軸は順応後のサイズ縮小量を示している。エラーバーはブートストラップ法 10000 回繰り返しにより得られた 95%信頼区間である。

用意する必要がある。また、今回順応刺激の時間的な頻度が効果量に影響することが明らかになったことから、密度-距離順応が、時間・数・空間推定が行われる高次の次元との関わりで論じることが適切ではないかという可能性が浮き上がった。これらの結果を踏まえて研究計画を練り直し、基盤研究 B へ最終年度前年度応募し採択され現在検討中である。

研究 2 の把握動作の実験では、非接触型の 3D モーションセンサデバイスである Leap Motion (Leap Motion 社製)を用いて計測を行った。キャリブレーションのため呈示時間を定めずに直径視角 4 deg と直径視角 2.5deg(密度順応後短時間でリングを呈示した場合に観察される標準的な縮小量に匹敵)に対して人差し指と親指でその直径を複数回ポイントングし、指の 3D 空間位置を計測し人差し指と親指との間の距離を算出した。しかし物理的に異なるリングに対して把握運動をしたのにも関わらず、算出した平均距離は直径 4deg と 2.5deg で変わらず、かなり測定誤差が大きかった。上肢運動や手指に対する Leap Motion の精度は従来用いられてきた Optorack などと比較されており³⁴⁾、適切な計測環境や座標変換、ウェーブレットノイズ除去法などを用いることで十分な精度がでることがわかっている。本実験の問題点としては、刺激に対して遠くから到達運動と把握運動をさせており、大きな上肢運動と小さな指の運動が複合的に合わさった状態でこれが大きな測定誤差につながった可能性がある。できるだけ上肢を固定する、指先の小さな運動で知覚されたリングの大きさを再現するなど計測状況を改善することで精度をあげられるだろう。

- 1) Hisakata, R., Nishida, S. & Johnston, A. (2016). An adaptable metric shapes perceptual space. *Current Biology*, 26(14), 1911-1915.
- 2) David Aagten-Murphy, David Burr; Adaptation to numerosity requires only brief exposures, and is determined by number of events, not exposure duration. *Journal of Vision* 2016;16(10):22.
- 3) Niechwiej-Szwedo E, Gonzalez D, Nouredanesh M, Tung J (2018) Evaluation of the Leap Motion Controller during the performance of visually-guided upper limb movements. *PLOS ONE* 13(3): e0193639
- 4) Fazeli & Peng (2021) Estimation of spatial-temporal hand motion parameters in rehabilitation using a low-cost noncontact measurement system, *Medical Engineering & Physics*, 90, 43-53,

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Rumi Hisakata and Hirohiko Kaneko
2. 発表標題 Temporal property of the density-size adaptation effect
3. 学会等名 Vision Sciences Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Hisakata, H. Kaneko.
2. 発表標題 Spatial property of the effect of density-adaptation on perceived distances.
3. 学会等名 OSA Fall Vision Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久方瑠美, 金子寛彦
2. 発表標題 密度-サイズ順応効果の時間特性
3. 学会等名 日本視覚学会2018年夏季大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------	---------