

令和 4 年 5 月 18 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K12014

研究課題名（和文）イメージ生成能力の個人差が心的イメージ変換に及ぼす影響およびその神経基盤の解明

研究課題名（英文）Investigation on the effects of individual differences in imagery generation ability on mental image transformation and its neural basis

研究代表者

笹岡 貴史（Sasaoka, Takafumi）

広島大学・脳・こころ・感性科学研究センター・准教授

研究者番号：60367456

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）：心的イメージ変換の個人差に関して、物体・空間イメージ生成傾向や視覚イメージの鮮明さといった指標を用いて、行動指標、脳構造、安静時脳機能結合との関連を検討することでそのメカニズムを検討した。脳構造の解析により、物体イメージの使用傾向の個人差、および空間イメージの使用傾向の個人差が、それぞれ脳における空間変換、物体表現に関わる領域の灰白質体積から説明可能であることが示唆された。さらに、物体・空間イメージ生成傾向および視覚イメージの鮮明さの個人差はデフォルトモードネットワークと他の関連する領域との機能的結合によって特徴付けられることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

色や形のイメージを生成する傾向、空間的なイメージを生成する傾向、また視覚イメージの鮮明さの個人差に関して、それぞれに関連した行動指標、脳構造、安静時脳機能結合が明らかになった。これにより、これまで不明であった心的イメージの個人差に関わる脳内メカニズムの一端が明らかになった。この成果を利用することで、イメージ生成能力の個人差に基づいて個人に最適化されたりハビリテーションやメンタルトレーニングの提案に繋がると考えられる。

研究成果の概要（英文）：We investigated the mechanism of individual differences in mental image transformation by examining the relationship between behavioral indices, brain structure, and resting-state brain functional connectivity related to individual differences in imagery generation ability such as the tendency to generate object and spatial imagery and the vividness of visual imagery. The analysis of brain structure suggested that individual differences in the tendency to use object images and spatial images can be explained by the gray matter volume of the regions of the brain involved in spatial transformation and object representation, respectively. Furthermore, individual differences in the tendency to generate object and spatial imagery and in the vividness of visual imagery were characterized by the functional connectivity between the default mode network and other related regions.

研究分野：認知神経科学

キーワード：心的イメージ 個人差 安静時脳活動 脳構造

1. 研究開始当初の背景

我々は心の中でイメージを生成し、それを心の中で回転させ(心的回転)、視点変換によって別の視点からのイメージ(視点取得)を作ることができる。このような心的イメージの生成・変換において、運動の計画に関わる運動前野が重要な役割を果たし(Schubotz, 2007)、身体図式に基づく運動指令の遠心性コピーが心的回転などのイメージ変換に関わっている、すなわち、心の中で仮想的に手などを用いた運動シミュレーションを行うことでイメージの変換を行っていることが指摘されている(乾, 2007; Sasaoka et al., 2014)。心的イメージ変換に関わる脳内メカニズムはこれまで多数の研究で検討されてきたが、一貫した結果が得られていない。例えば、Zacks(2008)は心的回転の脳画像研究についてレビューを行い、注意や視覚運動統合に関わる頭頂間溝を含む頭頂葉の活動は一貫して見られるが、運動関連領域の活動に相違があることを指摘した。また、その相違は、各研究で用いられている課題を解くために、回転させる物体の表象とそれを回転させるための効果器の表象が互いにどのくらい結びつく必要があるかに依存するとしている。よって、心的イメージ変換の個人差には、どのくらいイメージ変換に運動系からの情報を利用しているか、どのくらい鮮明にイメージ生成が行えるかについての個人差が関わっていることが考えられる。

イメージ生成に関する個人差の指標としては、心的回転課題(MRT-A)の得点や質問紙(vividness of visual imagery questionnaire; VVIQ; Marks, 1973; visual imagery style questionnaire; VISQ; 川原・松岡, 2009)があり、心理学的な検討が多数行われてきたが、その脳メカニズムを検討した研究は未だ少ない(例えば, Logie et al., 2011)。Sasaoka et al. (2017)は、VVIQやVISQの得点に関連した安静時脳活動(resting state fMRI; rs-fMRI)、および認知課題のrs-fMRIへの効果を検討するため、物体認知課題と物体の外観を観察する課題を行う前後でrs-fMRIを計測した。実験では、参加者にとって新奇な物体をCGで作成し、その外観をマッチングする物体認知課題を2セッション行った。セッション間には、3Dプリンターで出力した実物体を手を持って自由に回転させ、外観の変化を観察する能動群と、能動群の参加者の視点で録画した映像を観察する受動群に分けて観察課題を行った。rs-fMRI計測で得られたBOLD信号の低周波変動の振幅(fractional amplitude of low frequency fluctuations; fALFF; Zou et al., 2008)と視覚イメージの鮮明さの指標であるVVIQ得点との相関を全参加者で調べたところ、イメージの鮮明さが低い個人では運動野と視覚野に、イメージの鮮明さが高い個人では背外側前頭前野と頭頂間溝において課題前のfALFFが高くなった。この結果はイメージの鮮明さが低い個人ほど運動系からの情報がイメージ生成に用いられていることを示唆している。さらに、課題後にはVVIQ得点とfALFFの相関が見られなくなったことから、物体の外観の観察がトレーニングの効果を生み、イメージ生成に関わる神経回路の個人差を小さくするように働いたことを示唆している。しかし、fALFFは局所的な脳活動の同期を表す指標であり、領野間の結合強度を知ることはできないため、さらなる検討が必要である。

2. 研究の目的

本研究は、心的回転や視点取得をはじめとする心的イメージ変換の個人差を反映する指標として、VISQによる物体、空間イメージ生成傾向やVVIQによる視覚イメージの鮮明さといった指標に注目し、行動指標、脳構造、安静時脳機能結合との関連を検討することでその脳内メカニズムを解明することを目的とした。特に、VISQは24項目からなる質問紙で、物体イメージ(物体の色や形などに関するイメージ)、空間イメージ(物体の空間的配置や動きなどに関するイメージ)生成傾向の二つの尺度に関する得点を得ることができ、本研究において心的イメージ変換の個人差を検討する上で有用であると考えられる。その上で、以下の2つの問題について検討を行った。

(1) 視覚イメージの鮮明さや物体、空間イメージ生成傾向の個人差が心的イメージ変換の個人差に与える影響

(2) 上記の影響に関わる脳内メカニズム

これらの問題について、特に視覚イメージの鮮明さが低い個人、あるいは物体イメージ生成傾向が高く、空間イメージ生成傾向の低い個人ほど運動や身体性が心的イメージ変換やその学習に影響するという仮説を立て、心的イメージ変換課題や安静時脳活動計測、脳構造計測と心理尺度を結びつけた解析を行うことで上記の問題について検討した。

3. 研究の方法

(1) イメージ生成能力の個人差と心的イメージ変換成績の関係

72名(うち女性32名、年齢 22.5 ± 2.8 歳)が実験に参加した。実験では様々な角度で(画像平面上で 30° 刻みで $0^\circ \sim 330^\circ$)回転された身体の線画を参加者に提示し、参加者は線画が挙げている腕が左手か右手かを口頭で回答した(Arm Laterality Judgment task; Parsons, 1987、以下ALJ課題と表記)。回答はボイスキーで取得し、線画の提示から回答までの反応時間を計測した。言い直し、または言いよどみが見られた試行は除外した。併せて、VVIQおよびVISQの

回答を参加者から取得した。

(2) 視覚イメージの鮮明さや、物体・空間イメージ生成傾向と関連した脳構造

ALJ 課題に参加した 72 名から脳構造画像を取得した。脳構造画像について Voxel-based morphometry (VBM)解析を行うことで、VVIQ および VISQ (空間、物体)の得点と灰白質体積が相関する脳部位を調べた。脳構造画像の取得には 3.0T MRI 装置 (Siemens MAGNETOM Skyra)を用い、T1 強調画像を MP-RAGE 法によって以下の撮像パラメータで取得した (TR = 2500 msec, TE = 2.98 msec, 176 スライス, ボクセルサイズ $1 \times 1 \times 1$ mm, flip angle = 9° , field of view = 192 mm)。VBM 解析は SPM12 で動作する CAT12 (Gaser et al., 2016) を用いた。各参加者の T1 強調画像は、灰白質、白質、脳脊髄液にセグメンテーションした後、DARTEL テンプレートを用いて標準化、FWHM = 8mm のガウシアンフィルタで平滑化を行った。集団解析では VVIQ および VISQ の物体イメージ、空間イメージ生成傾向に関する各参加者の得点と灰白質の体積が相関する脳部位を調べた。有意水準はボクセルレベルでは多重比較補正無し $p < 0.001$, クラスタレベルでは Family-Wise Error (FWE)での多重比較補正済み $p < 0.05$ とした。

(3) 視覚イメージの鮮明さや、物体・空間イメージ生成傾向と関連した機能的結合

ALJ 課題に参加した 72 名の開眼安静時 fMRI データ (5 分間)を用いて、VVIQ および VISQ (空間、物体)の得点と相関する機能的結合を調べた。解析は CONN Toolbox(Whitfield-Gabrieli & Nieto-Castanon, 2012)を用い、性別、年齢、BMI を共変量に含めることでこれらの影響を除去した。fMRI データの取得は Human Connectome Project (<https://www.humanconnectome.org/>) に準拠した撮像パラメータを用いて行った。

4. 研究成果

(1) イメージ生成能力の個人差と心的イメージ変換成績の関係

ALJ 課題について、各回転角度で正面像と背面像の間の反応時間の比 (正答 RT 比) を参加者ごとに計算し、自己身体イメージ変換にかかるコストの指標とした。その結果、VISQ の物体イメージ得点、および物体・空間イメージ得点の合計と 90° 回転された身体の線画における正答 RT 比に有意な正の相関が見られた (物体: $r = .26, p < .05$; 図 1, 合計: $r = .27, p < .05$)。ALJ 課題では線画が挙げている腕の左右判断の際、画像平面上で回転した身体を正立像に変換する心的変換過程と、正面像の場合は画面に正対する参加者自身の身体図式に合わせるために背面像に変換する心的変換過程が必要になると考えられる。 90° 回転した横臥位の身体の線画において、正面像の場合はこれら二つの変換の合成変換が必要となるため、他の回転角度より複雑な心的変換が必要となる。よって、この結果は、色や形のイメージを生成する傾向にある個人で複雑な身体イメージ変換が必要となる条件において反応時間が延長したことを示している。

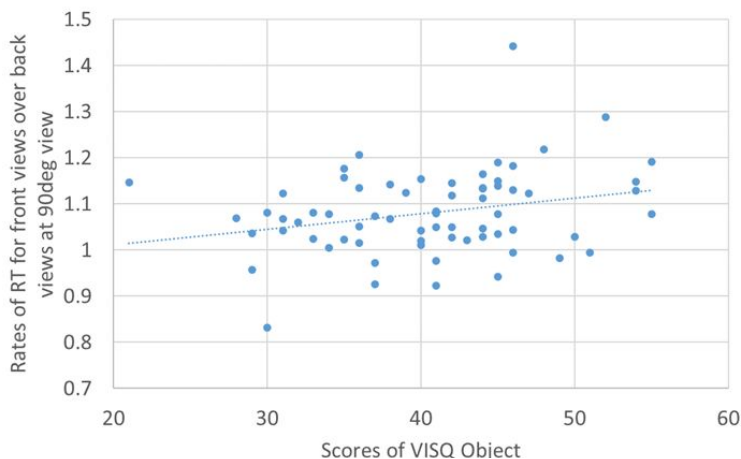


図 1. VISQ 物体イメージ得点と 90° 回転した身体の線画に対する正答 RT 比 (正面像 / 背面像)

一方、VVIQ に関しては有意な相関が見られなかったことから、視覚イメージの鮮明さは身体イメージの心的変換のパフォーマンスとの関連は小さいことが示唆された。

(2) 視覚イメージの鮮明さや、物体・空間イメージ生成傾向と関連した脳構造

VBM 解析の結果、VISQ で調べた物体イメージ得点が高かった参加者ほど、左後頭頭頂溝領域および右運動野 / 体性感覚野 (BA3/4) の灰白質体積が小さいことが分かった (図 2 左)。後頭頭頂溝領域は先行研究により、物体の空間座標の変換に関わることが知られている (Schendan & Stern, 2007; Sasaoka et al., 2014)。また、物体を手で実際に回転させてその変化を観察してから心的回転を行うことで、能動的に観察した群と比較して運動野が活動することも報告されている (Kosslyn, et al., 2001)。一方、VISQ の空間イメージ得点と左下側頭葉の灰白質体積に負の相関が見られた (図 2 右)。下側頭葉は視覚情報処理の腹側経路に位置し、物体の脳内表現が存在する領域として知られている (例えば Kriegeskorte et al., 2008)。以上の結果は物体イメージの使用傾向の個人差、および空間イメージの使用傾向の個人差が、それぞれ脳における空間変換、物体表現に関わる領域の体積から説明可能であることを示唆している。

また、VVIQ に関しては、視覚イメージの鮮明な参加者ほど前頭極の灰白質体積が大きいこと

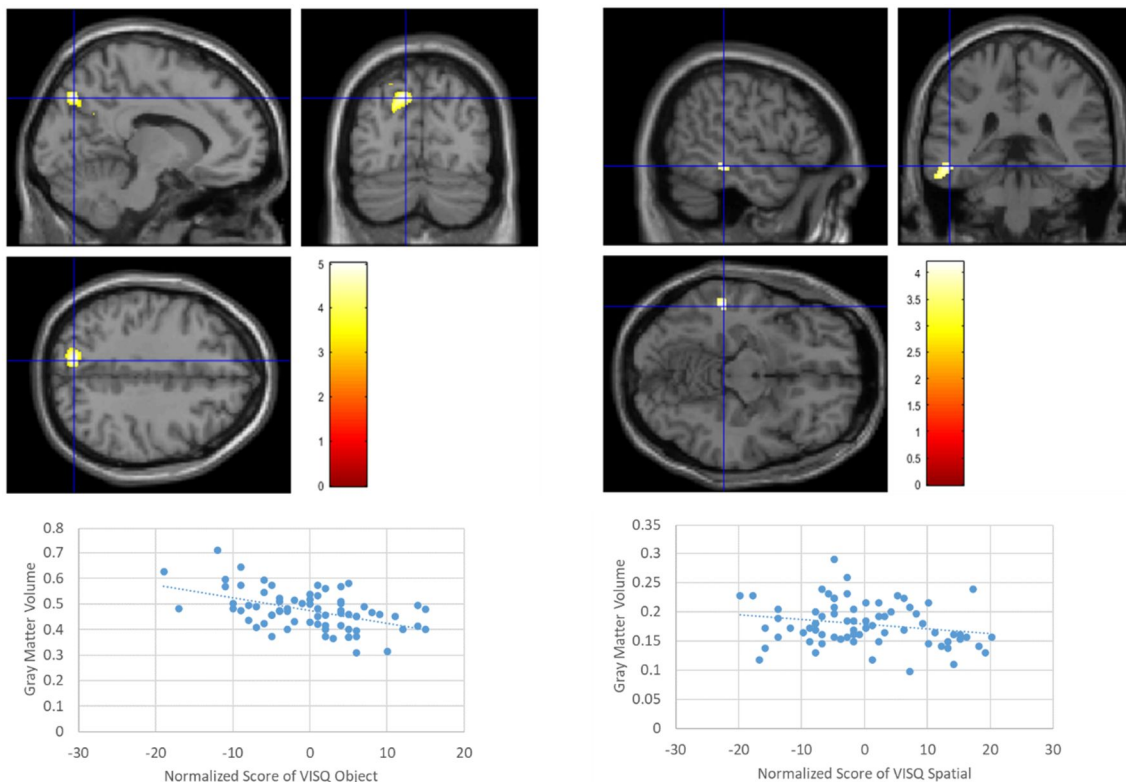


図 2. (左) VISQ 物体イメージ得点と灰白質体積が負の相関を示した脳領域(左後頭頭頂領域)(右) VISQ 空間イメージ得点と灰白質体積が負の相関を示した脳領域

がわかった。前頭極は展望記憶に関わることが知られており(例えば Okuda et al., 2003), 様々な感覚モダリティの情報の統合に基づくイメージ生成プロセスが視覚イメージの鮮明さと関連していることが示唆された。

(3) 視覚イメージの鮮明さや、物体・空間イメージ生成傾向と関連した機能的結合

VVIQ については、視覚イメージが鮮明な参加者ほど右下側頭葉をシードとしたとき前頭極および前部帯状回への機能的結合が強く、左楔前部をシードとしたとき左海馬傍回、海馬への機能的結合が強いことがわかった。楔前部、前部帯状回、および海馬はデフォルトモードネットワーク(Default mode network: DMN; Raichle et al., 2001) に属する脳領域であり、近年イメージ生成に DMN が関与していることが指摘されている(Pearson, 2019)。よって、物体情報をコードしている下側頭葉からの DMN への機能的結合が強く、また DMN において特に記憶の想起に関わる楔前部と連想記憶に関わる海馬の機能的結合が強いことで、物体に関する記憶に基づいて物体のイメージが鮮明に生成されていると解釈できる。

物体イメージ生成傾向については海馬尾部をシードとしたとき前部帯状回および後部帯状回への機能的結合に正の相関が見られた。これらは DMN に含まれる領域であり、視覚イメージの鮮明さと同様に DMN 内の機能的結合の強さが物体イメージ生成傾向と関連していることが示唆された。

一方、空間イメージ生成傾向が高い参加者では、左上側頭溝をシードとしたとき前頭極および内側前頭前野、両側側頭極への機能的結合が強く見られた。上側頭溝や内側前頭前野、側頭極は心の理論課題への関与が知られていることから(Gallagher and Frith, 2003), 特に心の理論課題に必要な機能である視点取得に関わる脳内ネットワークの機能的結合の強さと空間イメージ生成傾向に関連することを示唆している。

さらに、空間イメージ生成傾向がより高く、物体イメージ生成傾向がより低い参加者で、左体性感覚野(下肢領域および胴体領域)をシードとした DMN との機能的結合が見られた(図 3 左)。一方で、物体イメージ生成傾向がより高く、空間イメージ生成傾向がより低い参加者で左体性感覚野(下肢領域)をシードとした中心弁蓋および補足運動野との機能的結合が見られた(図 3 右)。この結果は、空間内の移動に不可欠な下肢に関わる体性感覚野と他の領域との機能的結合が空間イメージ生成傾向と関連していることを示唆している。特に、物体イメージ使用傾向が高い個人ほど、複雑な身体イメージ変換が困難であることが行動指標から示されたこと、物体イメージ使用傾向が高い個人ほど運動野の灰白質体積が小さいことを考慮すると、物体イメージ使用傾向が高い個人において感覚運動領域と DMN との機能的結合が見られなかったことから、空間イメージ使用傾向が高い個人と比較して心的イメージの生成および空間的変換に感覚運動情報が利用されていない可能性が考えられる。

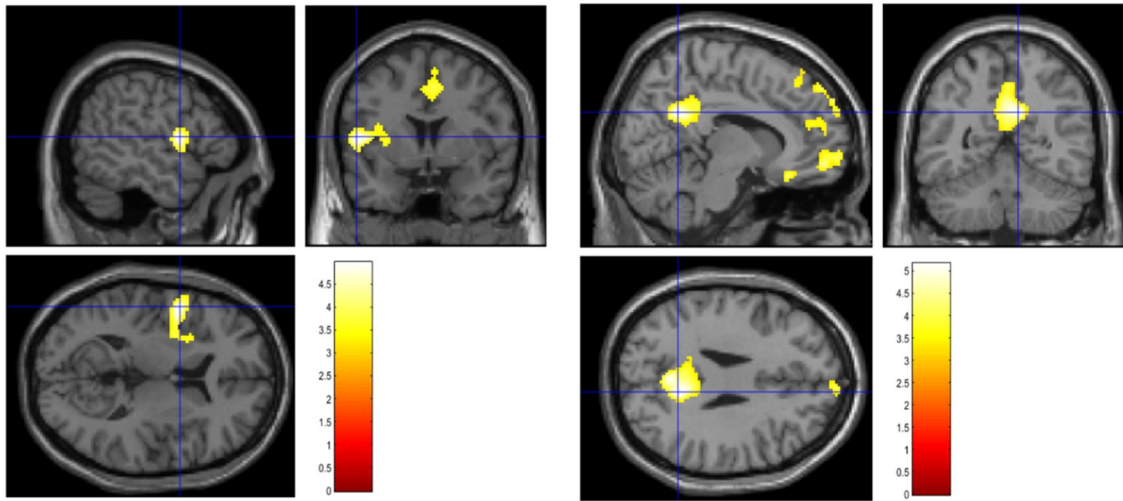


図 3. 左体性感覚野（下肢領域）をシードとした機能的結合が見られた脳領域 .(左)
 VISQ 物体イメージ得点と関連した機能的結合が見られた脳領域 .(右)VISQ 空間イメ
 ージ得点と関連した機能的結合が見られた脳領域

一方、空間イメージ使用傾向が高い個人では、心の理論ネットワークの機能的結合が強く、物体イメージ使用傾向と比較して下肢や胴体に関わる体性感覚野と DMN の間の機能的結合が強いことから、心の理論に必要な視点取得とも関連した空間移動イメージが鮮明に作られている可能性が考えられる。以上の結果から、下肢や胴体に関わる体性感覚野と DMN の機能的結合によって、これまでの研究で得られている物体認知における能動的運動の効果の個人差を説明できる可能性がある。すなわち、下肢や胴体などの体性感覚野と DMN の機能的結合が弱い個人において、物体の能動的操作による学習の効果が大きくなるという可能性である。これについては今後の研究で検討していきたい。

本研究では、物体・空間イメージ生成傾向や視覚イメージの鮮明さのそれぞれに関連した行動指標、脳構造、安静時脳機能結合が明らかになった。今後の研究では、本研究結果から推測される、物体イメージ使用傾向の高い個人においてイメージ生成や変換に感覚運動情報が利用されていないという可能性について、イメージ変換課題中の fMRI 計測を行うことで検証が可能と考えられる。これにより、身体性の観点で心的イメージの個人差に関わるメカニズムを明らかにすることができれば、効率的なリハビリテーション手法の提案や、メンタルトレーニングなどへの応用も期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sasaoka Takafumi, Asakura Nobuhiko, Inui Toshio	4. 巻 237
2. 論文標題 Ease of hand rotation during active exploration of views of a 3-D object modulates view generalization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Experimental Brain Research	6. 最初と最後の頁 939 ~ 951
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00221-019-05474-6	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 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 笹岡貴史, 廣瀬健司
2. 発表標題 視覚イメージ生成傾向に関わる神経基盤：VBM解析による検討
3. 学会等名 日本心理学会第84回大会
4. 発表年 2020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
---------	---------