

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01806

研究課題名(和文)感性機能側性化と視覚系機能分化との関連

研究課題名(英文)Relation between lateralization of Kansei function and differentiation of visual function

研究代表者

小島 治幸(Kojima, Haruyuki)

金沢大学・人間科学系・教授

研究者番号：40334742

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、視覚対象の検出感度を左右視野において調べることによって、大脳左右半球の視覚情報処理機能を比較検討した。視覚刺激として、「等輝度(明るさの情報を持っていない)」の色刺激と(明るさ情報のみの)無色刺激を用意し、同じ参加者群に対して、静止対象ならびに運動対象の検出閾等を計測した。その結果、無色刺激では静止対象と運動対象いずれにおいても検出閾に左右視野差はなかったが、色刺激では運動検出閾および運動方向弁別閾において左右視野差が示された。これらの結果は、運動処理の初期段階における左右脳機能差を示唆する初めての研究であり、大脳機能側性化過程に関する新たな知見を与える研究といえる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

利き手の形成は脳機能と密接に関係している。これまでの研究で、言語機能や論理的機能は大脳左半球、感性的・芸術的・非言語的機能は右半球にほぼ局在(側性化)していることが示されてきた。感性的機能の多くは視覚芸術や空間感覚を含む。本研究は視覚空間処理の観点から感性機能の側性化過程を調べた研究である。現代人の多数は右利きが占める。特に日本では右利きが多く、右利きを前提に文化が作り上げられてきた。このような大脳機能側性化の過程を調べることは脳機能の進化と形成の過程が明らかになり、私たち人類の知性や文化そして社会規範などが如何にして生まれたのかを知ることができると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The present study examined the sensitivity to a visual object in left and right visual field, and then compared the functions of cortical hemispheres in terms of visual information processing. We used "isoluminant" chromatic stimuli (without luminance information) and monochromatic stimuli (only with luminance information). The same group of participants measured the detection thresholds for stationary objects or moving objects. With monochromatic stimuli, there was no difference in the thresholds between the left and right visual fields for the stationary nor moving stimuli. However, with chromatic stimuli, the motion detection thresholds and motion direction discrimination thresholds showed the difference between the two visual fields. The result is the first evidence indicating the functional differences between the left and right hemispheres in the early visual process and providing new evidence relevant to the discussions on the cortical functional laterality.

研究分野：実験心理学

キーワード：視野対称性 半球機能差 側性化 色運動処理 等輝度 小細胞系

## 1. 研究開始当初の背景

一般に、言語機能は左半球、「感性」に代表される芸術的・直感的・非言語的機能は右半球の機能であると言われている。分割脳研究で著名な Sperry ら(1975, Saturday Review; Schwartz, Davidson, Maer, 1975, Science)は、「左半球は分析的、論理的、逐語的、系列的処理に特化しているのに対して、右半球は創造的、発見的、絵画的、不規則的処理に長けている」と主張した。こういった芸術的・創造的・感性的機能の評価には、多くの場合、非言語的視覚情報処理に関わる課題が行われる。これまでに、視覚処理の中でも、色弁別が右半球優位であるという報告(Davidoff, 1976, QJ.Exp.Psychol.)や空間的コントラスト感度が右後頭/頭頂葉損傷患者で著しく低下するとの報告(Kobayashi, Mukuno, Ishikawa, Tasaki, 1985, Ann.Neurol.), 奥行き空間知覚において右半球呈示の立体感度が高いという報告がなされてきた(Carmon and Bechtoldt, 1969, Neuropsychologia; Durnford and Kimura, 1971, Nature)。さらに、大域的処理は右半球優位であり、局所的処理は左半球優位であるとする報告もなされている (Van Kleeck, 1989, Neuropsychol.; Evans et al, 2000, Neuropsychol.)。ところがこういった大脳半球機能差に関する研究は一時期盛んに行われたものの、それらの現象のメカニズムを解明する発見はなされないまま近年、この問題の研究はあまり行われなくなった。

過去の研究を振り返ってそういった大脳半球機能差の報告を概観すると、そういった機能差は比較的高次処理の関わる視覚過程で生じていると推察されるが、低次の視覚過程、特に初期視覚野の処理機能に関して大脳半球機能差の報告はない。大脳の機能はどのように機能分化し、どのように大脳機能の側性化が生じるのかは心理学ならびに脳神経科学における大きな疑問となっている。

## 2. 研究の目的

本研究では、視覚処理経路における資格処理の流れが大脳半球に同じように投射され処理されるのかを検討する。網膜から大脳視覚皮質へ至る神経経路には Magnocellular (大細胞), Parvocellular (小細胞), Koniocellular (顆粒細胞) の3種類の視神経による情報伝達経路が存在し、そのうち Magno 細胞と Parvo 細胞による経路が視覚皮質へ投射する主要な情報伝達経路となっている。視覚皮質から大脳感覚連合野への神経過程は解剖学的にはすでに明らかにされている。しかし、それらの神経接続が大脳半球において等しく、対称的な機能をもたらしているのかは確認されていない。また、それら両処理系による視覚情報が、1次視覚野から高次視覚処理への処理過程において、特に大きな神経系の流れである空間機能処理(背側系処理)と対象属性処理(腹側系処理)への機能分化する過程は明らかになっていない。

本研究では、まず、Magno/Parvo 系情報の処理機能に大脳半球機能差がないかを実験心理学的・心理物理学的手法によって検討することを目的とした。一般に、Magno 系情報は色情報を含まず白黒情報によって主に低空間周波数かつ高時間周波数情報の処理に長けていることが知られており、通常の運動処理にはこちらの情報が優位に用いられていると考えられている。一方、Parvo 系情報は色情報の伝達を担っており、色情報処理自体の情報処理は低空間周波数に偏るものの、輝度情報は高空間周波数情報処理特性を持ち、時間的には低時間周波数感度をもつものと理解されている。過去の先行研究では色処理機能や空間知覚機能において右半球優位性が示されていることから、本研究では色情報を媒介する Parvo 系情報の運動処理や情報統合処理に関わる機能を左右大脳半球(すなわち左右視野)において比較吟味することで、これらの機能の側性化を検討できるのではないかと考えた。また、心理物理学的方法(実験心理学的・行動的)方法において半球機能差を探索することと並行して、その視覚情報処理の脳神経基盤を脳機能イメージング法によって探索することを目指した。そして、これらの検証によって、大脳半球機能差がどのような処理過程から生じ始めるのか、言語処理の左脳局在の起源や感性処理の右脳機能の検証することを本研究は目的としていた。

## 3. 研究の方法

### (1) Magno/Parvo 系情報処理の左右半球処理差の検討

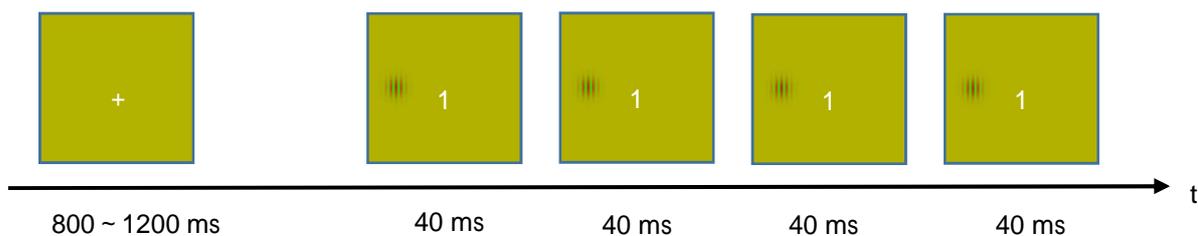
#### 実験1: 等輝度値の測定

装置: 視覚刺激は Windows PC に搭載したグラフィックス生成装置 a ViSaGe graphics card (Cambridge Research Systems)を用いて作成した。刺激の呈示は数値計算ソフトウェア MATLAB (2007b, MathWorks, Inc.) に組み込まれた実験制御環境 CRS Toolbox を用いて行われた。そして行動反応(観察者の反応)の取得には CRS 社の反応ボタン (CB6 Response Box, Cambridge Research System)を用いた。視覚刺激は 21 インチ CRT カラーモニター (TOTOKU CV921X)に呈示された。その空間解像度は 800 × 600 pixels に設定され、その時間解像度は 100 Hz であった。カラーモニターの出力は ColorCAL (Cambridge Research Systems)を用いてガンマ補正された。

刺激： 空間周波数(SF): 0.5, or 1.25 cycles/deg.の赤緑ガボール縦縞刺激 ( $\sigma=0.5$  arcdeg)が作成された。刺激の色度は the CIE 1976 色度図に基づいて作成された。赤は  $u' = .304$ ,  $v' = .540$ , でその輝度は  $3.45 \text{ cd/m}^2$ 。緑は  $u' = .243$ ,  $v' = .547$ , でその輝度は  $2.13 \text{ cd/m}^2$  から  $3.74 \text{ cd/m}^2$  で可変であった。一方,これらの赤と緑を混色した色度(黄色)を用いて明暗2色のガボール縦縞刺激を作成した。暗い黄色は  $u' = .283$ ,  $v' = .542$ , 明るい黄色は  $u' = .265$ ,  $v' = .544$ , であり,これらの色コントラスト差は 6.0%, 赤緑の混色による黄色を 100%とすると,その暗黄と明黄は平均 90% と 110% の輝度に相当した。

これらの赤緑刺激は位相0度と180度 濃淡黄刺激の位相は90度と270度の縦縞を作成した。それら4つの刺激フレームを交互に40msずつ画面の同位置に呈示すると,赤緑刺激の輝度コントラストが高い場合には,位相変化方向に運動して知覚される。しかし,その輝度コントラストが低い場合には運動知覚が生じない。

この4フレームからなる刺激を左右視野のいずれかに呈示し,恒常法により運動閾を計測する。



手続き： 参加者は暗室にて顎台を用いて刺激画面を観察した。計測は観察者のペースで進められ,開始ボタンを押すと凝視点が800から1200ms呈示された後,中央に数字が,また同時に左右視野(凝視点から5度の位置)何かに刺激が呈示された。観察者の課題は中央に呈示された数字を答える(1, 2, or 3), 運動が知覚されたか否かを報告することであった。

実験計画は,ガボール刺激の空間周波数2条件(SF: 0.5 or 1.25 cpd)とその刺激の呈示位置2条件(Visual Field: left or right)であった。観察者は,恒常法により緑刺激の13条件のコントラストを24試行繰り返し計測した。その結果1560試行の判断を行なった。それらの判断に対して,正規分布関数をフィッティングし,運動の最も観察されなかった緑刺激の条件を赤刺激との主観的「等輝度」の値とした。

参加者： 実験者を含め,19歳から54歳の15名(男性8名,女性7名)が参加した。参加者は全員右利きであることをFlanders聞き手テストによって確認した。また全被験者とも視力1.0以上の正常または矯正視力かつ正常色覚を有していた。参加者は本研究の目的と手続きについて説明を受け,同意した上で参加した。また本研究は研究実施機関において研究倫理審査の承認を受けた。

#### 実験2, 3, 4: 静止対象の検出閾, 運動対象の検出閾, 運動方向弁別閾の測定

装置： 実験1と同じ装置を用いた。

刺激及び手続き： 刺激となる赤緑ガボール縞の赤色輝度は実験1と同じであった。一方,緑色の輝度は,実験1において各参加者が計測した「等輝度」状態の輝度を利用した。赤緑縞の輝度は一定に保ち,色コントラストが1%から75%まで16段階に異なる縞を作成した。そして,それらの格子縞の空間位相を4条件(0, 90, 180, 270 deg)作成した。

実験2ではそれら4位相のうち何かの格子縞を無作為に選び4フレーム同一の刺激を呈示した。また,それらの刺激の色コントラストを無作為に16段階のうちから選び,左右視野の何かに呈示した。参加者の課題は刺激が知覚の可否を回答することであった。

実験3と実験4ではその最初の刺激の位相を無作為に選んでその次の第2フレーム,さらに第3,第4フレームには順に続く位相刺激を呈示することで運動刺激を作成した。

実験3では,それら4フレームの運動刺激を16段階の色コントラストで作成し,それらを無作為に選んで左右何かの視野に呈示した時に,参加者は左右の何かの視野で動きが検出されたかを回答した。

実験4では,実験3と同様の刺激に対して,刺激の運動方向を回答した。

参加者には実験1と同様に,視野中心に呈示される数字の回答も合わせて行う「二重課題」を行ってもらうことで,眼球運動の発生を抑制した。

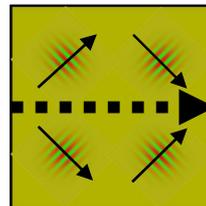
実験2では静止刺激の検出,実験3では運動刺激の検出,実験4では運動刺激の運動方向弁別を行うことが参加者の課題であったが,それらの検出は16段階の色コントラストが大きければ容易であり,小さければ困難になる。本実験では,その閾値を恒常法によって計測した。そして,その閾値を左右視野において比較することを目的としていた。このため,左右それぞれの視野における閾値の差分を表し,左右視野そして大脳左右半球における感度の差として表した。

また実験2, 3, 4では,赤緑刺激による計測とは別に,白黒格子縞による同様の計測も行なった。

参加者： 実験1と同じ参加者であったが,白黒刺激条件においてはその一部が参加した。

## 実験 5：大域運動閾の測定

さらに実験 5 を行なった。そこでは、実験 3, 4 で用いた運動ガボール刺激を各画面に 4 個配置すると(右図), それらの個別の運動方向(実線)を統合した運動(大域運動)の知覚(太点線)を生じさせることができる。この実験 5 ではその大域運動知覚の生起する閾値を計測した。



### (2) 脳機能イメージング

装置： 国際 10-20 法における 17 箇所( Fp1, Fp2, Fz, Cz, Pz, O1, O2, Po7, Po8, P7, P8, P9, P10)に、弾性キャップ (Electro-Cap, International, Inc, USA)を用いて配置した Ag/AgCl 電極によって脳波電位を記録した。計測信号は 24ch 生体計測アンプ(Digitex 社製, Polymate AP-1524)によって、500Hz のサンプリング周波数で 1000 倍に増幅し、60Hz のノッチフィルタを介して記録した。脳波データは平均基準で導出し、水平眼電図と垂直眼電図も記録した。電極インピーダンスは 20k 未満とした。測定データから事象関連電位(ERP)の導出には数値計算ソフトウェア Matlab(R2018a)における EEGLAB (Delorme & Makeig, 2004) と ERPLAB (Lopez-Calderon & Luck, 2014)を使用し分析を行なった。オフラインで 0.1-30Hz のデジタルバンドパスフィルタを適用した。眼球運動および瞬目によるアーチファクト対策として、 $\pm 140 \mu V$  を超える電位が混入した試行を分析から除外した。

刺激： Navon 図形 (Navon, 1977) は個別図形(局所図形)から大きな全体図形(大域図形)を作成し、知覚特性を調べた。本研究では、Beaucousin et al.(2011)の研究で使用された複合図形刺激を参考に、大域図形と局所図形の要素を持つ複合図形を作成した。

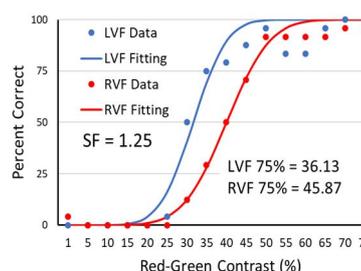
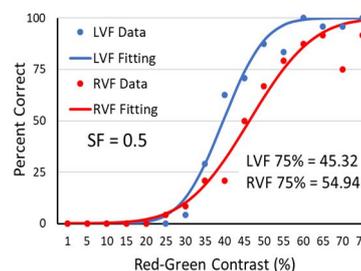
手続き： 参加者は呈示された図形刺激を観察し、大域局所刺激の選択的判断課題を行なった。そして、課題遂行中の事象関連電位において各反応成分の頂点振幅を吟味した。計測したデータは、統計的に検定した。

## 4. 研究成果

### (1) Magno/Parvo 系情報処理の左右半球処理差の検討

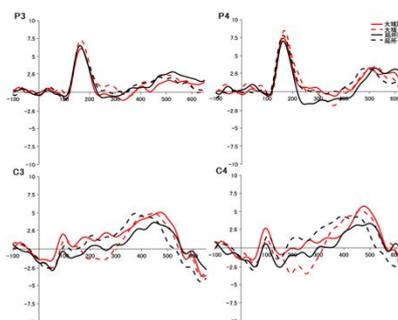
本研究では、赤緑刺激を用いることで主に Parvo 系情報による空間(運動)処理における大脳半球差を心理物理学的検討し、白黒刺激に対する感度と比較することで Magno 系情報処理との特性の違いを検討した。実験 1 および実験 2 における等輝度閾と静止対象検出閾において左右視野差(半球機能差)はみられなかった。しかし、実験 3 の運動検出閾および実験 4 の運動弁別閾において赤緑色刺激を用いた場合のみ左視野優位(右半球機能優位)を示唆する測定結果が得られた。

また、実験 5 の局所運動刺激の大域統合運動知覚処理では、その傾向は更に明らかな結果を示した(右図：右視野 RVF と左視野 LVF 条件で感度曲線の違いが明確に示されている)。これらの結果は、Parvo 系情報による運動処理に左右半球での機能差が存在することを示唆している。これらの結果は運動知覚メカニズムが研究されてきた中でも初めての発見であるとともに脳機能研究にとって大きな発見であるといえ、本研究の誇ることのできる研究成果である。



### (2) 脳機能イメージング

複合図形による図形判断課題を遂行中の事象関連電位(ERP)は大域図形と局所図形の判断時の波形に違いが見られた(右図、赤：大域図形判断、黒：局所図形判断)。また、頭表の左右の対応する電極において計測された波形(右図中の左右の図：頭頂部 P3vsP4, 側頭部 C3vsC4)は異なる波形を示した。また、局所情報と大域情報の統合的処理における大脳左右脳機能差を顔や身体を用いた大域局所処理課題においても検討したところ、ERP 反応は右半球においてより顕著な反応を示した。この結果は現時点で未だ公表に至っていないが、本研究の研究目的の観点からは情報処理機能分化について重要な示唆を与えるデータであることから、引き続き検討を行う必要がある。



以上のように、本研究では大脳機能側性化の起源を視覚神経経路の情報処理機能の観点から検討した。そして、Parvo 系情報の運動検出機能は右半球機能において優位を示すこと、そして空間統合処理機能において側性化が始まっていることを示す結果が得られた。さらに、こういった局所情報の大域統合処理には右半球機能が大きく関わっていることを示す脳機能計測結果も得られたことから、その詳細を検討する研究の継続が求められる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5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 KOJIMA H	4. 巻 33
2. 論文標題 Differences in culture, psychology, and arts between Italy and Japan.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Human Evolution	6. 最初と最後の頁 191-201
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 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 Hashimoto N., Yokogawa M., Kojima H., Tanaka S., Nakagawa T.	4. 巻 30
2. 論文標題 Effect of moderate exercise intensities on the cortical activity in young adults.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physical Therapy Science	6. 最初と最後の頁 1257-1261
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 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 Zhao, L., Yasunaga, D., & Kojima, H	4. 巻 48
2. 論文標題 Similarities and Differences Between Native and Non-native Speakers' Processing of Formulaic Sequences: A Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) Study.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of psycholinguistic research	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10936-019-09655-w	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 Zhao, L., Kojima, H., Yasunaga, D., & Irie, K.	4. 巻 50
2. 論文標題 Syntactic and Semantic Processing in Japanese Sentence Reading: A Research Using Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of psycholinguistic research	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） 10.1007/s10936-021-09818-8	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 Asaoka R., Kojima H., Yoshizawa T.	4. 巻 196
2. 論文標題 Hemispheric Asymmetry of Chromatic Motion Perception.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Vision Research	6. 最初と最後の頁 108027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.visres.2022.108027	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8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Yoshizawa, T. & Kojima, H
2. 発表標題 Influence of local chromatic configuration on gloss perception.
3. 学会等名 42nd European Conference on Visual Perception, (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Asaoka, R., Yoshizawa, T. & Kojima, H.
2. 発表標題 Motion detection for isoluminant stimuli presented in the left and right visual fields
3. 学会等名 42nd European Conference on Visual Perception (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 朝岡 陸・吉澤達也・小島治幸
2. 発表標題 等輝度刺激に対する大域運動検出における左右視野差
3. 学会等名 日本視覚学会2020年冬季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 朝岡 陸・小島治幸
2. 発表標題 主観的等輝度点における左右視野差—Minimum Flicker法とMinimum Motion法を用いた検討.
3. 学会等名 日本視覚学会2019年冬季大会, 神奈川
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kojima, H., Hashimoto, S., Vannucci, M.
2. 発表標題 Aesthetic judgment of Western and East-Asian buildings: behavioral and electrophysiological evidence.
3. 学会等名 THE VISUAL SCIENCE OF ART CONFERENCE (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshizawa Y., Kojima H., Matsumoto T., Sato M., Uchikawa K.,
2. 発表標題 ERP responses to the perception of glossiness of the basic colors.
3. 学会等名 European Conference on Visual Perception. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshizawa Y., Matsumoto T., Sato M., Uchikawa K., Kojima H.
2. 発表標題 Uniqueness of gold color perception compared with other glossy colors.
3. 学会等名 The 24th symposium of the International Colour Vision Society, 18-22, Aug 2017. Erlangen, Germany. (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kojima, H., Hashimoto, S., Vannucci, M.
2. 発表標題 Aesthetic judgment of high and low-ranking Western and Eastern buildings: The influence of architectural system and physical properties of the stimuli.
3. 学会等名 European Conference on Visual Perception, Berlin, Germany (国際学会)
4. 発表年 2017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
研究分担者	川端 康弘 (Kawabata Yasuhiro)  (30260392)	北海道大学・文学研究院・教授  (10101)	
研究分担者	吉澤 達也 (Yoshizawa Tatsuya)  (90267724)	神奈川大学・人間科学部・教授  (32702)	

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