

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：82636

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01106

研究課題名（和文）行為が知覚を「創りだす」脳内メカニズムの解明

研究課題名（英文）Constructing perception from action

## 研究代表者

羽倉 信宏（Hagura, Nobuhiro）

国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳情報通信融合研究室・主任研究員

研究者番号：80505983

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、感覚情報の知覚が運動行為によって修飾されるメカニズムを調べました。目標に向かって運動を行うとき、その目標と実際の運動との差（誤差）を利用して、ヒトは運動を学習します。本研究では、この「誤差の知覚」に注目しました。これまでの運動学習の理論では、脳がこの誤差を正確に受容できるということが前提条件となっており、うまく誤差修正できない場合、それは運動システムが誤差をうまく利用できないからだと考えられてきました。しかし、本研究では、実は誤差が生じるパターンによっては、誤差の「推定」が不正確になり、それが運動学習を阻害してしまうこと、その推定の間違いは後部頭頂皮質で生じることを突き止めました。

## 研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、感覚・知覚情報処理と運動を作り出すための情報処理は全く異なる処理であると考えられ、別々に研究がなされてきました。しかし、私のこれまでの研究も含め、知覚は単に感覚入力の特徴に依存するわけではなく、その入力に対しどのように関わるかを反映することが明らかになりつつあります。本研究では、自らの運動によって作り出される「誤差」の感覚情報が、運動の影響を受けて変容し、されにはそれによって、運動学習を阻害するという円環関係を、脳のメカニズムも含めて明らかにしました。

研究成果の概要（英文）：This project investigated the mechanisms by which the perception of sensory information is modified by action. When performing a goal-directed action, humans learn the action by making use of the difference between the goal and the actually performed action (error). Here, we focused on the perception of 'error'. Previous theories of motor learning have assumed that the brain can accurately estimate these errors, and that if errors cannot be successfully corrected, it is because the motor system cannot make good use of the errors. However, the present study found that in fact, depending on the pattern in which the error occurs, the 'estimation' of the error can be inaccurate, which can impede motor learning, and such estimation error is reflected as an activity in the posterior parietal cortex.

研究分野：認知神経科学

キーワード：知覚 運動 順応 誤差 学習

## 1. 研究開始当初の背景

感覚入力情報を処理することで作り上げられる「知覚情報処理」と、感覚情報を利用して身体を動かす「運動情報処理」とは、それぞれ独立に研究が発展してきた。そこから、両者は脳内で完全に独立に処理されていると仮定され、感覚から運動へ、という一方通行的な情報処理のみが研究対象となってきた。ゆえに、たとえば、運動を作り出すための情報処理が、その運動に先行する知覚を変化させるようなことはないと思われてきた。

しかし、近年、両者は思った以上に処理を共有しており、私たちのこれまでの研究も含め、「感覚が運動を変える」とは逆の、「運動が知覚を変える」という報告が多くなされ始めている。本プロジェクトでは、知覚情報が運動のパラメータによってどのように変化するかを、その脳内メカニズムも含めて明らかにすることを目的とした。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、運動によってどのように知覚情報処理が変化するかを調査することであった。当初は、運動の負荷と意思決定の関係に焦点を当てていたが、予備実験での結果が再現できなかった。そのため、運動学習時に生じる誤差に焦点をあてた。「誤差」は知覚される感覚情報であるのにも関わらず、これまで、その知覚的側面には注目されていない。そこで、1) 運動が作り出す誤差がどのように、「知覚」されるのか、2) その知覚がどのように運動学習に影響を及ぼすのか、3) 運動が誤差の知覚を変容する脳内メカニズム、の3点を明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

行動学実験では、被験者は、画面上のカーソル位置と対応関係にあるハンドルをターゲットに向かって動かす、リーチング課題を行った(図1A)。フィードバックとして、被験者には実際の到達位置を運動後に点の集合の中心位置として提示した(図1A)。また、被験者は、運動後に、その点の集合(動きのフィードバック)が、ターゲットの右方向にずれているか、左方向にずれているかの「知覚判断」を行った。

運動学習課題として、ベースライン条件の後、手運動とカーソルの動き方向に32度の回転変化を加えた。回転は徐々に加えられたため被験者は回転変化に気が付かなかった(図1B)。

機能的脳画像法(fMRI)を用いた脳活動測定実験では、被験者は力発揮課題を行った(図2B)。発揮する力の量が棒の長さとして画面上に提示され、被験者はその棒の高さをターゲットの高さに合わせるように力を発揮した。ベースライン条件後、徐々に力発揮量が棒の高さに反映されるゲインが3分の1になり(図2A)、被験者はその状況下で、同じようにターゲットに棒の高さを合わせられるように、力発揮を学習した。

## 4. 研究成果

### ・ 行動学実験

- 1) カーソルに回転変化が加えられたとき、被験者の「誤差の知覚」は誤差を過小評価する方向にずれていくことが分かった(図1C)。これは、徐々に回転変化が加えられることによって、同じ量の誤差に被験者が継続的にさらされることになり、結果、「誤差の感覚情報」に順応したためであると考えられる。これまでの運動学習の研究では、運動システムは正確に運動誤差情報を推定でき、重要な処理はその誤差がどのように利用されるかであると考えられてきた。しかし、本結果は、誤差の推定は感覚情報処理と同じように事前の分布に依存して変化し、学習に利用される前に、不正確になってしまうことを示している。
- 2) では、その知覚のずれは、運動の学習に反映されるのだろうか？学習後の運動の正確さを見てみると、学習が完了せず、誤差が残存することが分かった(図1D)。通常、運動学習のプロセスは状態空間モデルで近似されるが、この式には誤差そのものの推定が変化する項は入っていない。今回、誤差の「知覚」が同じ誤差の継続によって順応する成分をモデルに加えると、より学習データに対する説明力が上がることが分かった。つまり、誤差への「知覚的」順応は、実際に、運動システムが受け取る誤差情報を変化させ、学習を阻害してしまうことが分かった。
- 3) 運動の「誤差」は、他の感覚刺激入力と同じく、脳内で特徴依存的に処理されていることが知られている。すなわち、誤差の量に依存して、それを符号化するニューロンが存在している。では、今回見つかった誤差への「順応」という現象は、継続して晒された「誤差量」を符号化するニューロンが順応することで、生じているのではないだろうか？そして、それはどの領域で生じているのだろうか？機能的脳画像法(fMRI)で運動学習課題を行うために、力発揮課題を選択し、脳活動を測定した。行動実験データと同じく、同じ量の誤差に晒されると、誤差を過小評価するような結果が得られた(図2C)。さらに、継続して提示される誤

差量が提示される時、他の誤差が提示される時に比べ、後部頭頂皮質の活動が減少することが分かった (図 2D)。つまり、後部頭頂皮質にある、誤差量を符号化するニューロン群が「順応」することによって、知覚的に「誤差」に順応し、運動学習が阻害されることが分かった。

以上の結果より、1) 運動学習時の「運動の誤差」は、他の感覚情報と同じように処理されており、知覚的に順応をすること、2) 誤差の知覚的順応は誤差を過小評価させることで、学習を停滞させること、3) そしてその順応は後部頭頂皮質の誤差を符号化するニューロンが活動量を減少させることで生じること、の三つが明らかになった。これは、運動が知覚情報を変容させ、それがさらに運動の学習に影響を与えるという、運動と知覚のあらたなサイクルを同定したといえる。

以上の結果の一部は、日本神経科学大会、およびモーターコントロール研究会の両方において、口頭発表に採択され、高い評価を受けた。現在、論文を作成中である。

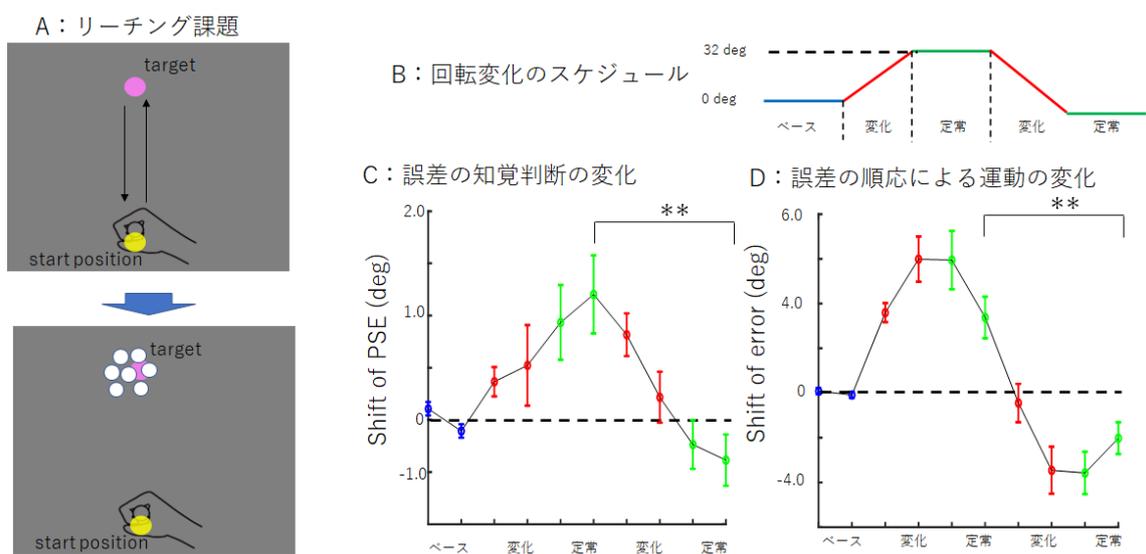


図 1: 行動実験の課題、および結果

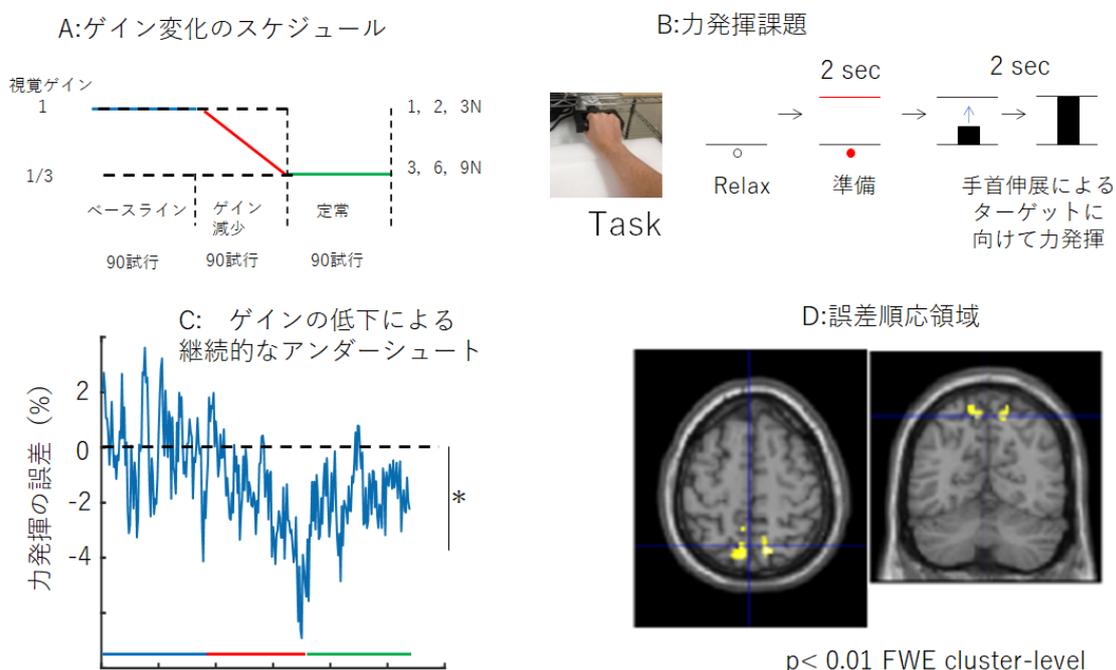


図 2: fMRI 実験の課題、および結果

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 羽倉信宏	4. 巻 144
2. 論文標題 外界の知覚・認知情報処理と 身体行動の相互作用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 哲学	6. 最初と最後の頁 -
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 Desantis Andrea, Haggard Patrick, Ikegaya Yuji, Hagura Nobuhiro	4. 巻 236
2. 論文標題 Specificity of action selection modulates the perceived temporal order of action and sensory events	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Experimental Brain Research	6. 最初と最後の頁 2157 ~ 2164
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00221-018-5292-5	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 該当する
1. 著者名 De Havas Jack, Haggard Patrick, Gomi Hiroaki, Bestmann Sven, Ikegaya Yuji, Hagura Nobuhiro	4. 巻 127
2. 論文標題 Evidence that endpoint feedback facilitates intermanual transfer of visuomotor force learning by a cognitive strategy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Neurophysiology	6. 最初と最後の頁 16 ~ 26
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1152/jn.00008.2021	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 該当する
1. 著者名 Cataldo Antonio, Hagura Nobuhiro, Hyder Yousef, Haggard Patrick	4. 巻 288
2. 論文標題 Touch inhibits touch: sanshool-induced paradoxical tingling reveals perceptual interaction between somatosensory submodalities	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences	6. 最初と最後の頁 20202914
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1098/rspb.2020.2914	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 該当する

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Nobuhiro Hagura
2. 発表標題 Perceptual Decision in Motor control
3. 学会等名 International Symposium: The Role of Pain in Bodily Defense and Autonomy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nobuhiro Hagura, Kazuma Aoyama, Hiroshi Ban, Atsushi Yokoi, Yuji Ikegaya, Taro Maeda, Hiroshi Ando, Elisa Raffaella Ferre
2. 発表標題 Multi-dimensional vestibular self-motion system in the human brain.
3. 学会等名 Society for Neuroscience Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuhiro Hagura, Yuji Ikegaya, Masaya Hirashima.
2. 発表標題 Perceptual adaptation to visuomotor error disrupts motor adaptation.
3. 学会等名 日本神経科学大会2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 羽倉信宏、池谷裕二、平島雅也
2. 発表標題 後部頭頂皮質において、運動誤差は効率的に符号化される
3. 学会等名 第15回モーターコントロール研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平島雅也、羽倉信宏
2. 発表標題 ヒト運動制御系における遅延への適応様式：位相遅れ獲得仮説
3. 学会等名 第15回モーターコントロール研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kisho Ogasa, Atsushi Yokoi, Gouki Okazawa, Masaya Hirashima, Nouhiro Hagura
2. 発表標題 Decision Uncertainty as a context for motor memory
3. 学会等名 MLMC; Advances in Motor Learning & Motor Control (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<a href="https://www2.nict.go.jp/bnc/nhagura/index.html">https://www2.nict.go.jp/bnc/nhagura/index.html</a>
---

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			
フランス	CNRS & Universite Paris Descartex			
英国	University College London	Royal Holloway, University of London		