

手の身体モデルは対象物認知に影響する

Internal Model of the Human Hand Affects Object Recognition

川治 誠明 (PY), 中山 泰治郎, 片山 正純

Masaaki Kawaji, Taijiro Nakayama and Masazumi Katayama

福井大学大学院知能システム工学専攻

katayama@h.his.fukui-u.ac.jp

Abstract—In this study, we investigated a relation between an internal model of the human hand and object recognition of graspable objects. A key idea to examine the relation is to learn novel internal models of the hand in the brain, by grasping a target object displayed on a monitor with a displayed hand that is different from the normal hand shape. As a result, we found that the internal model of the human hand affects object recognition of graspable objects.

1 背景

我々は水を飲みたいと思ったとき、コップには多くの種類があるにもかかわらず、迷うことなく瞬時に見つけ出すことができる。このような対象物の認知機構において、「コップ」という道具が脳内に普遍的に表現されており [1], 対象物の概念を形成していると考えている。認知心理学的研究から対象物の概念の形成には感覚・運動経験が重要な役割を果たしていることが指摘されている (例えば [2] など)。この観点から、対象物操作を目的とした道具などの対象物認知において、対象物操作における感覚・運動経験が重要な役割を果たしており、感覚・運動経験を通して道具というものの普遍的表現、つまり対象物の概念を獲得しているのではないだろうか。そこで、本研究では、このような対象物の概念を獲得するためには、手の身体モデル (内部モデル) が特に重要な役割を果たしていると考えている。また、片山ら [3] は手の身体モデルの学習には能動的な運動が重要であることを報告している。そこで、手の身体モデルを学習するための新しい実験パラダイムを構築し、手の身体モデルが対象物把持を目的とした対象物認知に及ぼす影響について調べる。

2 計測実験

2.1 実験環境

実験環境は、手形状計測装置 (CyberGlove, Virtual Technologies Inc.), 手首位置計測装置 (Fastrak, POLHEMUS Inc.), 三次元運動計測装置 (OPTO-TRAK3020, Northern Digital Inc.), モニタ (19 型 CRT), 鏡, 頭部固定器具を用いて暗室内に構築した (図 1)。被験者は鏡に映った対象物 (円筒) と手・腕を見ながら把持運動 (精密把持) を行う (図 2)。

2.2 方針

手の身体モデルがコップなどの対象物認知に影響を及ぼすなら、手の身体モデルが変化したとき対象物認知に影響を及ぼすはずである。この観点から、本研究では新たな手の身体モデルを学習することにより対象物認知への影響について調べる。身体モデルを学習するための基本的アイデアは、手形状を変形した手をモニタに表示し (図 2(b)), その画面を見ながら様々な大きさの対象物を把持する把持課題を繰り返し実行することにより、

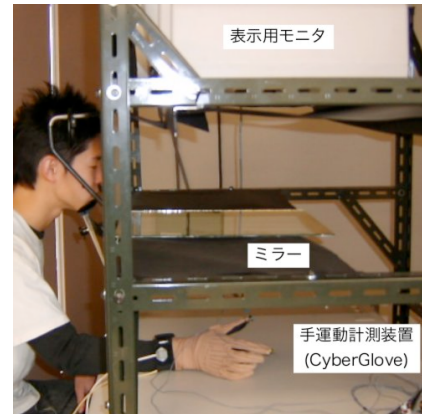


図 1: 実験環境

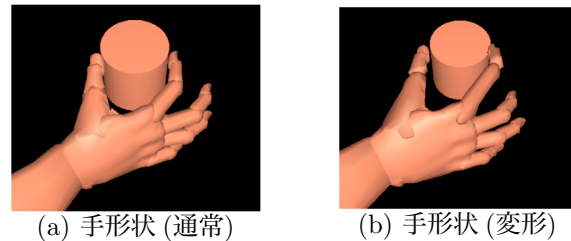


図 2: モニタ画面

指先や各関節の位置と各指の関節角との運動学的な関係を表す身体モデルを学習することである。

2.3 実験 1

実験 1 では 2 種類の手形状を用い、被験者と同じ手形状 (図 2(a)) (事前にキャリブレーション), および親指の MP 関節と DIP 関節のリンクの長さを 1.4 倍し、さらに人差し指の MIP 関節と PIP 関節との長さを 1.6 倍にした手形状とした (図 2(b))。それぞれの手形状において、まず対象物と手・腕を提示した状態で把持課題を繰り返す。学習終了後に、手・腕は表示しないで対象物のみを表示して 3 種類の計測項目について計測実験を行った。対象物 (円筒) の幅が 10 から 150[mm] までの 20 種類を用い、その 1 つをランダムに選択して表示した。また、対象物の高さとの比はすべて同じにした。本実験には 4 名の被験者が参加した。

項目 1 (学習レベルの確認) 表示した対象物を把持したときの指先幅を生成する。

項目 2 (認知課題) 表示した対象物が「コップ」に見えるかどうかを YES/NO で回答する。

項目 3 (分類課題) 表示した対象物を「コップ」、「おちょこ」、「花瓶」に分類する。

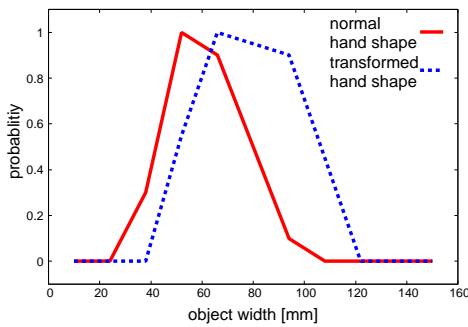


図 3: 認知課題 (項目 2)

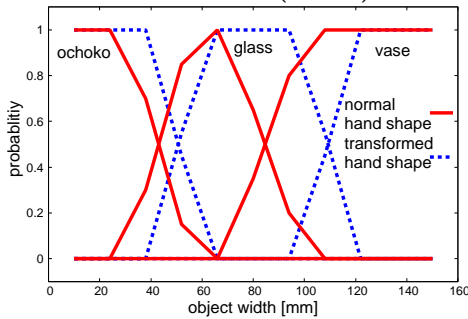


図 4: 分類課題 (項目 3)

2.4 実験 2

実験 2 では 5 種類の手形状を用い、親指の MP 関節と DIP 関節の間のリンク長を 0.6, 1.0, 1.4, 1.8, 2.2 倍、人差し指の MIP 関節と PIP 関節の間のリンク長を 0.75, 1.0, 1.6, 2.0, 2.4 倍とした。それぞれの手形状において、まず実験 1 と同様に対象物と手・腕を提示した状態で把持課題を繰り返す。対象物 (円筒) の幅が 35[mm] から 75[mm] までの 9 種類を用い、その 1 つをランダムに選択して表示した。学習終了後に、下記の 5 種類の計測項目について計測実験を行った。ただし、項目 1 と 3 と 5 では対象物のみを表示し、項目 2 と 4 では何も表示しない。本実験には 5 名の被験者が参加した。

項目 1 (学習レベルの確認) 表示した対象物を把持したときの指先幅を生成する。

項目 2 (コップらしさ) コップらしいと思う対象物を把持する手形状を生成する。

項目 3 (コップらしさ) 表示した対象物をコップらしいと思う幅になるように調節する。

項目 4 (イメージ) 普段使っているコップをイメージし、その対象物を把持する手形状を生成する。

項目 5 (イメージ) 普段使っているコップをイメージし、その幅になるように表示した対象物を調節する。

項目 1 と 2 と 4 では被験者が生成した手形状の指先幅を計測し、項目 3 と 5 では対象物の幅を計測する。

3 結果

3.1 実験 1

全被験者で同様の傾向を示したため、典型的な結果を図 3 と図 4 に示す。変形していない通常手形状と変形した手形状のそれぞれで把持課題を学習した後に計測した結果を示しており、横軸が表示した対象物の幅、縦軸が回答した回数の割合である。認知課題および分類課題において、手形状を変形して学習した後には右にシフトしており (図 3 と図 4 の破線)、より大きな円筒をコップと答える傾向がある。これは、本実験で用いた手

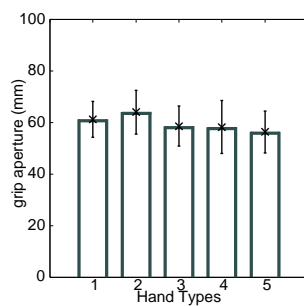


図 5: コップらしさ (項目 2)

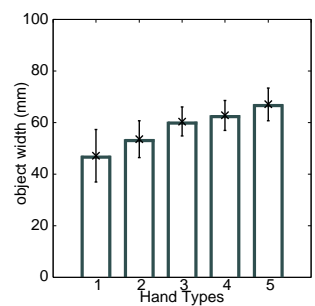


図 6: コップらしさ (項目 3)

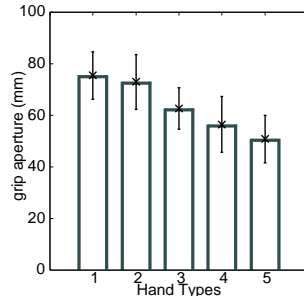


図 7: イメージ (項目 4)

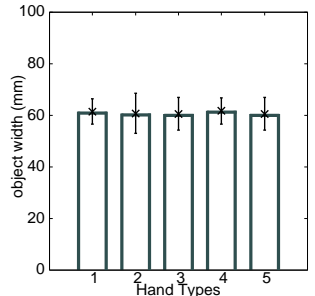


図 8: イメージ (項目 5)

形状の変形では指が長くなっているため、画面に表示した手の指先幅が広くっており、この指先幅の変化量に対応して認知課題と分類課題の結果が変化しと考えられる。一方、学習過程において様々な大きさの対象物を正確に把持できるようになるためには、画面上の手の指先幅の変化に対応した新たな手の身体モデルを学習する必要がある。従って、この新に獲得した手の身体モデルが認知課題と分類課題に影響を及ぼしていることを示唆しており、手の身体モデルに基づいて対象物認知を行っている可能性を示唆している。

3.2 実験 2

全被験者での結果を図 5 から図 8 に示す。横軸が手形状の種類、縦軸が計測した指先幅である。項目 2 では指先幅に有意な差が見られなかったが ($p \geq 0.05$)、項目 3 では有意な差が見られた ($p < 0.05$)。項目 4 では有意な差が見られたが ($p < 0.05$)、項目 5 では有意な差が見られなかった ($p \geq 0.05$)。そこで、項目 2 と項目 4 での指先幅を画面上の手の指先幅に変換して評価した結果、項目 2 の変換値は項目 3 の結果と有意な差は見られなかった ($p \geq 0.05$)。さらに、項目 4 の変換値も項目 5 の結果と有意な差は見られなかった ($p \geq 0.05$)。以上より、コップらしいと感じる対象物の幅は手形状の変形に対応して変化したことを示しており、手の身体モデルが対象物の概念に影響を及ぼしている可能性を示唆している。また、普段使い慣れたコップのイメージは手の身体モデルの影響を受けていないことを示唆している。

参考文献

- [1] 片山正純, 川人光男 (1990) “視覚・体性感覚と運動指令を統合する神経回路モデル”, 日本ロボット学会誌, **8**, 6, 757-765.
- [2] L. W. Barsalou (1999) “Perceptual Symbol Systems”, Behavioral and Brain Sciences, **22**, 577-609.
- [3] M. Katayama, T. Nakayama, M. Kawaji (2007) “Internal model of the human hand affects object recognition” Neuroscience Research, **58**, 1, 230.