

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500235

研究課題名（和文）対象物操作を目的とした対象物認知と手の身体モデルの関係

研究課題名（英文）Internal Models of the Human Hand Affect Object Recognition of Tools for Object Manipulation

研究代表者

片山 正純 (KATAYAMA MASAZUMI)

福井大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90273325

研究成果の概要（和文）：本研究では、道具などの対象物認知には感覚・運動経験が重要な役割を果たしていると考えており、「把持して使用する道具の対象物認知において、手の身体モデル（内部モデル）が重要な役割を果たしている」という仮説をたてている。この仮説を検証するために、幾何学的に変形した手形状に対応した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た。この結果、被験者がコップとして見なす対象物のサイズは、身体モデルの幾何学的変形量に依存して変化した。この結果は、対象物の認知過程に手の身体モデルが関与していることを示している。

研究成果の概要（英文）：In this study, for human object recognition, it is assumed that we recognize graspable tools such as a drinking cup by making good use of internal models of our own hands (Katayama and Kawato, 1990). In order to validate this hypothesis, we investigated whether the internal models affect object recognition of a tool or not. As a result, we found that the sizes that participants recognized the displayed objects as a drinking cup depended on the trained internal model of the geometrically transformed hand shape. These results indicate that human object recognition of tools such as a drinking cup is closely related to the internal model of the human hand.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：脳認知科学，対象物認知，道具，運動，手，身体モデル，内部モデル

## 1. 研究開始当初の背景

コップには、形、色、サイズ、材質などの違いにより多くの種類があるにもかかわらず、我々は迷うことなく瞬時にコップを見つ

けることができる。つまり、このような対象物の認知メカニズムにおいて、対象物認知の恒常性が存在することを示している（片山、川人, 1990; 鈴木, 1994）。このような恒常性

は、道具の形状などに関するイメージ記憶や機能と使用方法などに関する宣言的記憶などに基づいた「対象物の概念」に基づいて実現されている。

一方、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、対象物を把持して操作する感覚・運動経験が重要な役割を果たしていると考えられている。初めて見る使ったことのない道具では、その機能や使用方法について説明されたとしても、少し形状やサイズが変わっただけで分からなくなるであろう。つまり、その道具について見たり聞いたりするだけでなく、使ってみないとその道具がどういう物なのかを本当に知ることができない。繰り返し使っているうちに、見たことのない形状やサイズの物でも同じ種類の道具だと認知できるようになるのではないだろうか。

そこで、本研究では、このような道具の対象物認知において、手の身体モデル（内部モデル）が重要な役割を果たしていると考えており、以下の仮説を提案している。

**【仮説】「把持して使用する道具の対象物認知では、手の身体モデルを用いて把持運動や道具操作の脳内シミュレーションを行い、その把持・操作可能性を1つの判断基準としてもちいている」**

道具使用の感覚・運動経験から把持・操作の仕方を習得し、初めて見た対象物でも同じように把持・操作できるかどうかを1つの判断基準にして同種の道具だと判断していると考えている。

以上より、ヒトの対象物の認知メカニズムを解明する上で、この仮説の妥当性を実験的に検証することが重要である。

## 2. 研究の目的

上述の仮説が正しいなら、脳内に表現されている手の身体モデルが変化したときコップなどの対象物認知に影響を及ぼさずである。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、手形状を幾何学的に変形した手と対象物をモニタに表示し、その画面を見ながら対象物を把持する課題を繰り返し実行することである。大きさや形状の異なる様々な対象物を正確に把持できるようになるためには、手形状の幾何学的変形に対応した新たな手の身体モデル（＝運動学的モデル）を学習する必要がある。

この観点から、新たな手の身体モデルを獲得するための実験パラダイムを構築し、コップなどの道具における対象物認知と手の身

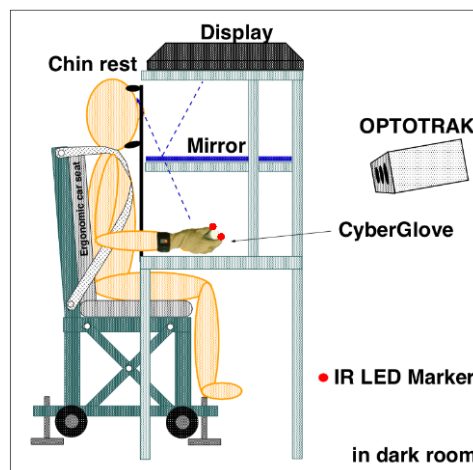


図1 実験環境



変形無(HS2) 変形有(HS4)

図2 手形状の変形（指の長さ）

体モデルとの関係を明らかにすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

図1に示すように、手形状計測装（CyberGlove, Immersion Corp.）、三次元位置方向計測装置（FASTRAK, POLHEMUS Inc.）、三次元運動計測装置（OPTOTRAK3020, Northern Digital Inc.）、鏡、ディスプレイ（U2711, DELL）、実験用イス（レカロ社製車用シート使用）、4点式シートベルト、アゴ台を用いて実験環境を暗室内に構築した。

図2のように手・前腕をモニタに表示し、さらに様々なサイズの対象物も表示する。このとき、被験者自身の手・前腕の動きに合わせてモニタに表示した手・前腕も動作する。このとき、被験者は鏡に映ったモニタの画面を見ることができる。また、被験者自身の手形状、位置、サイズになるように事前にキャリブレーションする。手の身体モデルの学習は、画面を見ながら様々なサイズの対象物の把持課題を繰り返し実行することによりおこなう。

### (1) 2008年度

- ①上述の実験環境を構築した（図1）。
- ②手形状の変形は指の長さを変化させた5種類の手形状を用いた（図2の例参照：HS1～HS5）。この変形により、被験者自身の手指先幅と画面に表示した手の指先幅が異なるため、試行の初期段階ではうまく把持課題を

実行することができない。

③手の身体モデルの学習条件について調べるために、能動条件に加えて、観察条件と受動条件でも学習を行った。能動条件では被験者は能動的に把持課題を実行したが、観察条件では被験者自身は手を動かさず、実験者が把持課題を実行している画面を見て学習し、能動条件でも被験者自身は手を動かさず、実験者が被験者の指を持って動かすことによって把持課題を実行した。この3種類の学習条件により手の身体モデルを学習するための条件について調べた。

④対象物の認知的判断の計測において、被験者がコップらしいと感じるサイズ、および普段使い慣れたコップをイメージしたサイズと学習した手の身体モデルとの関係について調べた。

## (2) 2009 年度

①上記で構築した実験環境を用いて、対象物の認知的判断について計測した。この実験では異なるサイズの道具を提示し、提示したサイズのものをもその道具だと見なせるかどうかを” Yes” または” No” で回答した。

②上記のような指の長さを変化させた手形状では手の全体的なサイズが変化したように感じる可能性があるために、計測結果が変化する可能性がある。このため、手の全体的なサイズが変化しないようにするために、手形状の変形は指の関節角を変化させた5種類の手形状を用いた(HS1~HS5)。この変形でも、被験者自身の手の指先幅と画面に表示した手の指先幅が異なるため、試行の初期段階ではうまく把持課題を実行することができない。

③本実験パラダイムで手の身体モデルを学習しているならば、右手での学習効果は左手に転移していないはずである。つまり、視空間などで学習が生じているならば、右手だけでなく左手にも学習の効果が手にしているはずであり、この場合には手の身体モデルを学習しているとは言えない。この観点から、左手への学習効果の転移について調べた。

## (3) 2010 年度

①我々の仮説が正しいなら、利き手で使用する道具の対象物認知では利き手の身体モデルが関与し、利き手でも非利き手でもよく使用する道具の対象物認知では利き手だけでなく非利き手の身体モデルも関与する可能性がある。上記の実験では利き手(右手)で学習を行っていたため、非利き手(左手)でも学習を行い、同様の計測実験を行った。

②認知的判断の計測では、主に利き手で使用する道具(ニップヤ消しゴムなど)、および右手でも左手でも使用する道具(コップやお椀など)を用いて計測した。各被験者に用い

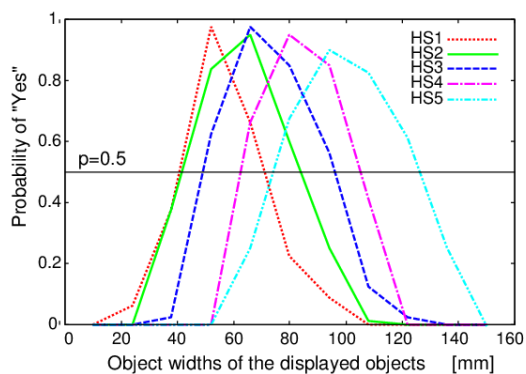


図3 認知的判断  
(手形状の変形：指の長さ)

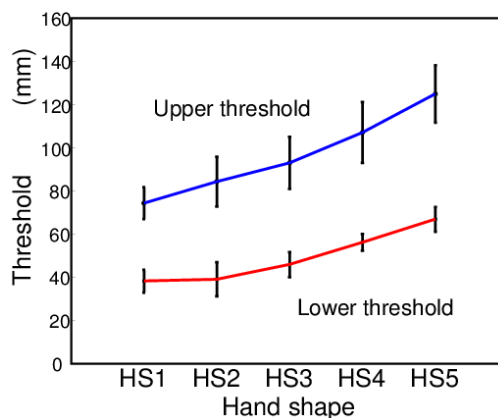


図4 対象物認知の閾値  
(手形状の変形：指の長さ)

た対象物は事前のアンケート調査により3種類ずつ選択した。この計測実験では異なるサイズの道具を提示し、提示したサイズのものをもその道具だと見なせるかどうかを” Yes” または” No” で回答した。

## 4. 研究成果

### (1) 2008 年度

①手の身体モデルの学習に必要な条件を明らかにするために、手形状を変形しない状態での能動条件、手形状を変形した状態での能動条件、受動条件、観察条件について実験を行った。この結果、能動条件では手の身体モデルの学習が完了したが、受動条件では完了しない(または非常に遅く)、観察条件では学習が進行しないことが明らかになった。従って、手の身体モデルの学習には能動的運動が必要であり、観察条件のような見まね学習時には手の身体モデルが学習できないことを示している。

②コップらしいと感じるサイズ、普段使い慣れたコップのイメージのサイズなどのそれぞれの計測項目と学習した手の身体モデルとの関係について調べた。この結果、被験者

が最もコップらしいと感じるサイズは手の身体モデルの変形量に対応して変化した。一方、被験者が普段使い慣れたコップを1つイメージし、そのイメージしたコップのサイズは学習した手の身体モデルの変化には無関係であった。つまり、手の身体モデルは使い慣れた対象物のイメージには無関係であるが、最もコップらしいと感じるサイズには関与していることを示している。

## (2)2009 年度

①新たに学習した手の身体モデルと対象物認知との関係について調べた。手形状は母指と指示指の一部のリンク長さを変えることにより変形して画面に表示し、把持課題を繰り返すことにより、新たな手の身体モデルを学習した。その直後に、手は表示しないで、様々な大きさの円筒形を1つずつ表示し、コップとして見なせるかどうかを”Yes”または”No”で回答した。この結果を1例を図3と図4に示す。図3では被験者がそれぞれのサイズで”yes”と回答した確率(”Yes”と回答した回数/各サイズでの総試行数)を示しており、5種類のそれぞれの手形状での結果を示している。この結果において、確率が0.5になるときの対象物のサイズが認知の閾値(上限と下限)になる。この閾値の1例を図4に示す。手形状の変形量が大きくなるにつれて、より大きな円筒をコップと見なすようになっていく。つまり、手形状の変形により変化した指先幅にほぼ比例してコップと見なすサイズ(幅)が変化した。この結果は、手形状の変形に対応した手の身体モデルに基づいてコップと見なすサイズを決定している可能性を示唆している。

②手形状の変形において、指の関節角を変化させた5種類の手形状を用いて、上記と同様の計測実験を行った。この結果、この変形に対応して認知的判断(コップと見なすサイズ)が変化した。上述の研究①(手指の長さを変えた手形状)で得られた結果と同様であった。指の長さを変えた手形状の変形では手のサイズが変化したと感じたことにより、対象物のサイズに関する認知的判断に影響を及ぼした可能性があった。しかし、指の関節角を変化させたときには手のサイズは変化しないため、このような可能性は否定されたことになる。従って、上述のように、手形状の変形に対応した手の身体モデルの変化が対象物のサイズに関する認知的判断に影響を及ぼしたことを示している。

③実際に手の身体モデルを獲得しているならば、右手で学習した効果が左手に転移しないはずである。この観点から調べた結果、左手に転移しないことを明らかにした。これらの結果は、我々が構築した実験パラダイムにより手の身体モデルを獲得していることを

示唆している。

## (3)2010 年度

前年度までは利き手(右手)でのみ手の身体モデルの学習を行っていたが、非利き手でも学習を行い、それぞれの学習の後に対象物サイズに関する認知的判断について計測した。右手でも左手でもよく使用する道具(コップなどの対象物であるが、被験者により異なる)のサイズに関する認知的判断では、右手と左手のそれぞれの手で学習した両方の学習条件において、手形状の変形に対応した手の身体モデルの変化に対応して変化した。しかし、主に利き手(右手)で使用する道具(コップなどの対象物であるが、被験者により異なる)において、右手で学習した場合には認知的判断が上記と同様に変化した。左手で学習した場合には認知的判断がほとんど変化しなかった。さらに、主に利き手で使用する道具の使用を左手で十分訓練をした後では、左手で学習した場合でも右手の場合と同様に認知的判断が変化した(これらの結果は未発表)。つまり、これらの結果は、学習した側の手の身体モデルを獲得しており、その獲得した手の身体モデルに基づいて対象物のサイズに関する認知的判断を行っていることを示唆している。これらの結果は、上述の我々の仮説の妥当性を指示している。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① Masazumi Katayama, “Human Object Recognition Based on Internal Models of the Human Hand”, The 3rd International Conference on Cognitive Neurodynamics (2011) (査読有)
- ② Masazumi Katayama, “Internal Models of the Human Hand Affect Object Recognition”, The 7th International Conference on Cognitive Science, pp. 355-356 (2010) (査読有)
- ③ Jiaole Wang, Masazumi Katayama, “Optimal model for selecting human arm posture during reaching movement”, The 2nd International Conference on Cognitive Neurodynamics (2009) (査読有)

[学会発表] (計14件)

- ① 片山正純, 栗栖達也, 木村優太, 手の身体モデルが対象物認知に及ぼす影響”, Neuro2010, 2010年9月3日, 神戸市 (査読有)
- ② 藤田貴大, 中山健, 片山正純, “タスク

- チェンジ戦略を用いたヒトの運動計画メカニズムの解明”，Neuro2010，2010年9月2日，神戸市（査読有）
- ③ 王焦樂，片山正純，“筋共収縮レベルを用いた運動中のヒト腕姿勢選択原理”，Neuro2010，2010年9月3日，神戸市（査読有）
  - ④ 酒井雅哉，藤田貴大，片山正純，“運動の目的による視覚情報処理の切り替え－中心視・周辺視に基づいた把持運動－”，Neuro2010，2010年9月2日，神戸市（査読有）
  - ⑤ 片山正純，“対象物の把持位置”，科学技術振興機構さきがけ研究21 第11回「知と構成」領域懇話会，2010年9月25日，神奈川県（査読無）
  - ⑥ 片山正純，“手の身体モデルは対象物認知に影響する”，平成22年度生理学研究所研究会「認知神経科学の先端 身体性の脳内メカニズム」，2010年10月22日，愛知県岡崎市（査読無）
  - ⑦ Takahiro Fujita, Takeshi Nakayama, Masazumi Katayama, “Dissociation of vision and action: Visually estimated grasping positions are different when lifting up grasped objects”, The 36<sup>TH</sup> International Congress of Physiological Sciences, July 27 – August 1, 2009, Kyoto（査読有）
  - ⑧ Masazumi Katayama, Masaaki Kawaji, “Internal model of the human hand influences object recognition”, The 36<sup>TH</sup> International Congress of Physiological Sciences, July 27 – August 1, 2009, Kyoto（査読有）
  - ⑨ 片山正純，川治誠明，“手の身体モデルは対象物認知に影響する”，日本認知心理学学会第7回大会，2009年7月19-20日，埼玉県（査読無）
  - ⑩ 藤田貴大，中山健，片山正純，“把持運動における視覚と運動の独立性”，日本認知心理学学会第7回大会，2009年7月19-20日，埼玉県（査読無）
  - ⑪ 片山正純，王焦樂，“ヒト腕運動中の最適姿勢選択”，第32回日本神経科学大会，2009年9月16-18日，名古屋市（査読無）
  - ⑫ 川治誠明，中山泰治郎，片山正純，“手の身体モデルは対象物認知に影響する”，日本神経回路学会第18回全国大会，2008年9月24日，つくば市（査読無）
  - ⑬ 藤田貴大，中山健，片山正純，“対象物の把持位置に関する視覚と運動の独立性”，日本神経回路学会第18回全国大会，2008年9月24日，つくば市（査読無）
  - ⑭ Jiaole Wang, Masazumi Katayama, “Optimization Principle of Human Arm Posture During Reaching Movement”，第23

回生体生理工学シンポジウム，2008年9月28日，名古屋市（査読無）

- ⑮ 藤田貴大，中山健，片山正純，“把持運動の把持位置に関する視覚と運動の独立性”，第23回生体生理工学シンポジウム，2008年9月28日，名古屋市（査読無）

〔図書〕（計3件）

- ① Takahiro Fujita, Jiaole Wang, Masazumi Katayama, “Human cognitive and behavioral intelligence: Psychophysical and computational approaches”, In Human and Artificial Intelligent Systems, Sankei-sha Co., Ltd., pp. 163-172 (2008).
- ② Masazumi Katayama, Hirokazu Katayama, “Coordinated Control of Reaching and Grasping During Prehension Movement” In Neural Information Processing of Lecture Notes in Computer Science, Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 892-901 (2008).
- ③ Takahiro Fujita, Yoshinobu Maeda and Masazumi Katayama, “Independence of Perception and Action for Grasping Positions” In Neural Information Processing of Lecture Notes in Computer Science, Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 1021-1030 (2008).

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

片山 正純 (KATAYAMA MASAZUMI)  
福井大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：90273325