

## 仮想空間上の作業タスクにおける両手入力の操作分析

水野貴弘 小俣昌樹 今宮淳美

山梨大学 コンピュータ・メディア工学科  
〒400-8511 甲府市武田 4-3-11

本論文では、仮想空間内における両手操作でのさいころ作成実験と、その実験結果について述べる。さいころ作成実験は、片手でスペースボールを持ったキューブの回転と、もう片方の手にマウスを与え、さいころの目を入れるとした課題である。この課題状況で、3種類の異なる大きさのキューブと、各手が持つデバイスを交換させた。その結果、操作時間や操作中の被験者行動に違いがあった。それらを分析すると、ターゲットの大きさによって操作のしやすさが逆転することを得た。効率的な作業のための手の割り当ては、何をするかタスクに関係するという先行研究での知見に、新たにタスク難度という尺度を必要とすることを本論文で導出した。

## Analysis of bimanual action in virtual space

Takahiro Mizuno Masaki Omata Atsumi Imamiya

Department of Computer Science and Media Engineering  
Yamanashi University  
Takeda 4-3-11, Kofu, Japan, 400-8511

We present an experiment on Two-handed manipulation on a virtual space. Right-handed subjects manipulate a pair of devices, a mouse and a spaceball. She/he rotate the cube with the spaceball, put dots with the mouse, and make dice. For this task, there is a role on the hands. We suggest that performance is best when the right hand performs Hard task and the left hand does Easy task. We obtained the necessity of the difficulty of the task which consolidated the above-mentioned results.

## 1. はじめに

日常生活における作業では両手を使う場面が数多く存在する。両手を用いる作業は、主な作業（主タスク）とそれを補助する作業（補助タスク）に分けることができる。執筆作業においては、「書く」ことが主タスク、「紙を抑える、紙を動かす」ことが補助タスクである。Hinckley らは、利き手に主タスク、他方の手に補助タスクを割り振ると作業効率が向上することを実証した[1]。また Card らは、利き手は他の手より高速で安定した操作が可能（高速と正確さ）との示唆を述べている[2]。

本論文では、キューブをできるだけ大きくした予備実験によって得た仮説『仮想空間内での両手による作業では、手の割り当ては、主タスクおよび補助タスクに注目するだけでなく、作業の細かさ（難度）も重要だ』[3]を検証するためのタスク難度の実験結果を述べる。

## 2. 実験

### 2.1 実験システム

実験課題は、画面上のキューブをサイコロに見立て、そのキューブに「目を入れる」ことである。

被験者にはマウスとスペースボールを与える。マウスは目入れとその修正に、スペースボールにはキューブの回転を割り当てる。サイコロの条件（表面と裏面の合計が7）に従って、1から6までをキューブの各面に描く。キューブの大きさは3種類で、その比は表1である。しかも、被験者の作業タスクを統制するために、『正確な操作』もしくは『迅速な操作』の各条件を与えた。

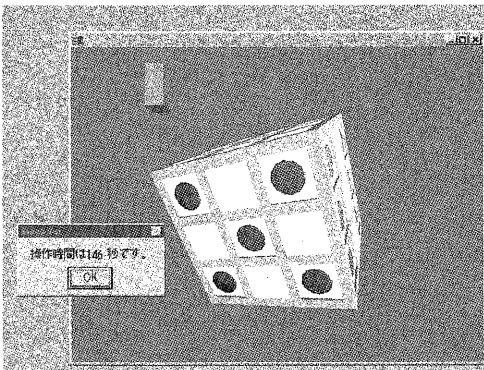


図1. 実験時の様子

### 2.2 実験タスク

ダイアログ内の OK ボタンをマウスで押すことで実験を開始できる。被験者は、スペースボールによって作業しやすい位置（方向）にキューブを向け、一方の手で持つマウスによってさいの目を入れる。キューブには6つの各面内を9分割した格子が描かれている。その格子内をクリックすることがさいの目入れである。これらによってすべての面の目入れが終了した時点で、実験終了のボタンを押す（図2）。操作時間は、最初のダイアログボックスでの OK ボタンを押した時点から、終了ボタンを押したまでの区間として記録される。

しかしながら、目入れ作業において、さいころの制約条件に合わないと感じた被験者は、格子内をマウスでクリックして、点を消す。これをエラーと考える。

被験者の各手が持つデバイスは、右手操作系：右手にマウスで左手にスペースボール、左手操作系：左手にマウスで右手にスペースボールであり、この条件にさらに「正確な操作」および「迅速な操作」との条件を付加する。したがって、ひとつのさいころ作成課題では4つの実験条件がある。

表1. さいころの大きさ比

注：基準はキューブ1である

	辺の比
キューブ1	1
キューブ2	0.5
キューブ3	0.25

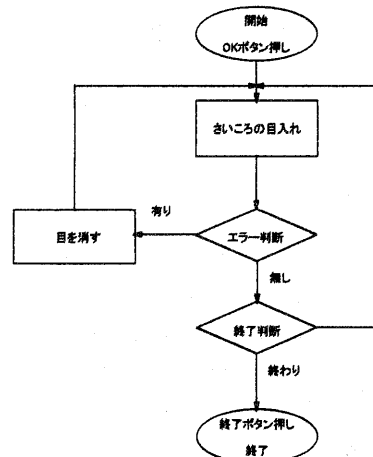


図2. 被験者タスク

表2:操作時間の平均と標偏差(sec)

		右手操作系			左手操作系		
		状況なし	正確さ	速さ	状況なし	正確さ	速さ
キューブ1	Mean	48.90	35.22	32.26	44.86	39.53	33.29
	std	6.48	9.29	11.90	10.77	7.75	3.80
キューブ2	Mean	33.26	32.76	33.50	33.02	30.35	28.40
	std	7.82	9.54	9.75	6.16	4.11	3.60
キューブ3	Mean	31.97	32.28	29.88	35.51	31.57	33.50
	std	3.23	1.92	4.17	5.39	3.27	4.49

### 2.3 実験手順

実験者は、被験者に右手操作系（右手にマウス、左手にスペースボール）を指示し、実験環境になれさせるための訓練をする。実験者が指定した順でさいの目を入れることを繰り返すことで、被験者の操作技術が熟練したと判断できた時点で実際の実験に入る。

実験では、統制条件（「正確な操作」と「迅速な操作」）を指示せずに、さいころの作成を自由に行わせる。そして、「正確な操作」の統制条件下での実験、次に「迅速な操作」の条件下での実験となる。これが終わった段階で左手操作系（左手にマウス、右手にスペースボール）で同様に実験する。

### 2.4 入力デバイス

キューブの重心を原点とし、そこから引いた回転軸の位置を変えることと、またその軸に沿って回転させることが、連続的に、しかも容易に行えるスペースボールを使う。このデバイスは、ボール状の形をしたものを、押す、引く、捻るといった操作によって、容易に使えるとされた三次元入力装置である（図3）。

一方マウスは、右手操作系では右利き用のボタン、左手操作系では左利き用のボタンとなるように工夫してある。

### 2.5 データ

コンピュータ上で記録するデータは、前述の開始-終了区間の時間、さいころの面ごとの目入れ時間、および入れた目を消すといった操作の回数（エラー回数）である。このデータに対する分析を容易とするために、ビデオカメラで記録する。記録内容は、ディスプレイ画面、操作の様子である。

表3:統制条件別の操作時間比

	操作時間比		説明率(%)	
	右手操作系	左手操作系	右手操作系	左手操作系
キューブ1	0.91	0.83	91	98
キューブ2	0.99	0.96	96	99
キューブ3	0.94	1.03	99	96

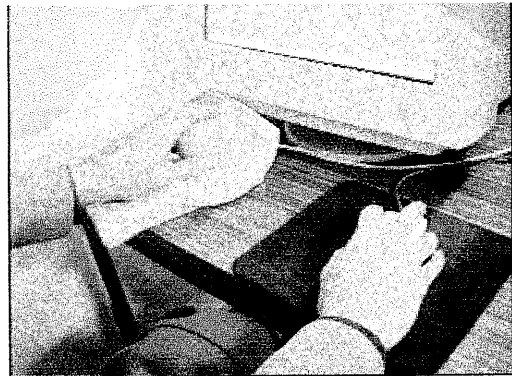


図3:実験時の様子

### 2.6 実験詳細

図3に実験状況を示す。

ディスプレイは、被験者の操作のじゃまにならず、しかも見やすい位置となるよう、机の手前から30cm程度離れた被験者の正面におく。マウスやスペースボールは、ディスプレイと被験者との空間の机(30cm)に、被験者の肩幅程度の間隔をとって配置してある。

### 2.7 被験者

被験者訓練を容易とすることと、計測時間のデータを安定化させるために、マウスやスペースボールの扱いになれた大学生被験者の7名を使う。各被験者は、実験期間を1ヶ月以上において2回の実験を行うが、2名はさらに1ヶ月の期間において3回、すなわち全体で16人分のデータとなる。

### 3. 結果と分析

#### 3.1 操作時間

統制条件別の基本統計量を表2に示す。

一般に、利き手では、速く（高速性）そして正確に操作できる。これより、統制条件での「迅速な操作」に注目した時間比を求める（表3）。時間比の前提として、全体的に操作が遅い被験者は、遅い中でも「迅速な操作」によって、「正確な操作」よりも速く操作する。このことから、正確な操作での時間を独立変数、迅速な操作での時間を従属変数として回帰する。回帰切片はゼロである。この前提を利用して得た回帰係数が操作時間の比である。すなわち、正確な操作より、迅速な操作がどのくらい速くなっているかの加速成分を抽出ことになる。ただし、迅速な操作時間を従属変数としたことから、1以下が速いということになる。

迅速な操作状況で、実際に短縮された時間となった系が利き手と考えられる前述の一般論において、キューブ1では、マウスで目入れをするタスクに比べ、スペースボールでキューブを回転させるタスクの方が難しいので、左手操作(マウス:左手)が利き手系であると考えられる。キューブ3では、右手操作(マウス:右手)が利き手系であると考えられる。これは、キューブを小さくしたことによって、タスクの難度が変わったためだと考えられる。すなわち、キューブ3においては、スペースボールでキューブを回転させるタスクに比べ、マウスで点を入れるタスクの方が難度が高くなる。

以上の見解から、タスクの難度の変化が大きさにあったことを実証する必要がある。そこで、各キューブについて、作業の容易性を問うアンケート調査を実施した（後述）。

#### 3.2 エラー分析

##### 3.2.1 エラーの定義

サイコロの目を入れた後にそれを消した状況をエラー発生と仮定した。たとえば、3であるべき面に4を入れてしまうとすると、その作業途中でエラーに気づいた被験者は、すでに入れた目を消す動作を数回繰り返す。3のさいころの目と4のさいころの目をキューブの面上に配置するかたちが違うことから、消すことの繰り返し作業が行わ

れる。すなわち、1回でも、また2回でも消す動作があった場合を、キューブの面ごとに1回とカウントする。

##### 3.2.2 エラー状況

両手に各デバイスを持っていることから、一部の被験者は、一度に両方のデバイスを操作しようとする。これは一般に協調作業と呼ばれる。

###### (1) キューブ1

「正確な操作」状況で2回あった。

###### ●協調によるミス（右手系-正確）

3の最後の目を入れ終えた後、左右の手で同時にデバイスを操作しながら次の面に目を入れようとしたが、被験者の期待する面ではなく、1を入れてある面に目を入れてしまった。

両手で作業すると、右手は左手の動きによって決定される（補助操作）[1]。被験者は補助操作としての動かしたことが正確だと考え、それほど注意を注がずに次の作業に移行してしまっただと考えられる。すなわち、協調状況では注意の分散がうまく働かにくいということになる。

###### ●面の認識ミス（右手系-正確）

4を入れた面の裏に6の面を入れてしまう。キューブを回転させ、6の面の裏に1を入れるためにキューブを回転させる。6の面の裏面を方向づけた被験者はエラーに気づく。単に面を間違えたことによるエラーである。

###### (2) キューブ2

エラーは3回発生し、そのうちの2回は与えられた状況による影響があると考えられる。

###### ●協調によるミス（右手系-迅速）

正確な操作の場合に比べて、キューブを速く回転をさせていた。回転させながら目を入れようとしたが、被験者の期待する面上の格子とは異なる格子内に目を入れてしまった。すなわち、高速な協調操作によるミスである。

###### ●面の認識ミス（右手系-正確）

キューブ1と同じエラーであった。

###### (3) キューブ3

エラーのすべてが協調によるミスであった。

###### ●協調問題（右手系-正確）&（左手系-迅速）

最後に残った面に目を入れるようとしたが、期待する面を方向づけることができなかったことと、

キューブを速く回転させすぎたことから、回転中の目を入れ作業により、エラーとなった。

#### 4. アンケート調査

前述の結果から、キューブ1では左手操作系(マウスが左手、スペースボールが右手)が利き手となる。キューブ3では右手操作系(マウスが右手、スペースボールが左手)が利き手と考えられる。そこでキューブの大きさにより、各タスク(回転や目入れ)の難度が変化するかを、操作の容易性から検討できるアンケート踏査をした。大きさの違いは、作業の細かさに直接結びつく。被験者が少し動かしても、画面上では多く動いてしまうからである。

##### 4.1 被験者と課題

4名の大学生被験者は、3種類のキューブによるさいころ作成課題を行い、各キューブごとに、どちらの手が操作しやすいかを5段階の目盛りを打った物差し上にチェックさせ、しかもその理由を記述させる。

##### 4.2 結果と分析

操作のしやすさの平均値は図4である。

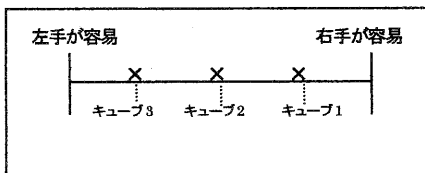


図4：操作のしやすさ評価

キューブが小さくなるに従って、左手側の方が容易な操作と応えている。これは、左手系(マウス:左手)から右手系へと移行したことになる。その理由を検討すると、気を遣う作業は右手でしたいとなっている。すなわち、キューブのサイズが小さくなるに従い、難度の高い作業としての回転から、目入れへと移り変わったことになる。

#### 5. おわりに

Hinckley らの見解では、目入れが主タスク、キューブの回転が補助タスクとなる。それによって自然な両手の動きが導かれ、作業効率が向上す

るとしている。私達は、各手の割り当て条件をさらに拡張しようと考えた。仮想空間における、作業の細かさという難度を前提とし、それによる各手の割り当てを作業効率の向上から検討しようと試みている。その基礎データの分析結果を本論文では述べた。

しかしながら、仮想空間でのさいころ作成課題において、難度を明確に示すモデルの導出には至っていない。現在、Fitts[4][5]に関する仮想空間への適用を検討中である。

本研究は、通信放送機構からの受託研究の一部として支援を受けている。

#### 参考文献

- [1] Hinckley K., at1: Cooperative Bimanual Action, CHI '97 March, pp.27-34, 1997.
- [2] Card S. K. & Jellinek H. D.: Power mice and user performance, CHI '90 April, pp. 213-220, 1990.
- [3] 水野貴弘: 仮想空間上の作業タスクにおける両手入力分析, 山梨大学工学部平成 10 年度卒業論文, 1999
- [4] Fitts P. M.: The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. J. Exper. Psychol. 47. 1954.
- [5] Colin W, & Kathy L.: Selection using a one-eyed cursor in a fish tank VR environment, ACM Trans. on Comp-Human Interaction, Vol. 4, No. 4, pp. 309-322, 1997.
- [6] Hinckley K., at1: Two-handed virtual manipulation, ACM Trans. on Comp. Human Interaction, Vol. 5, No. 3, pp. 260-302, 1998.
- [7] Barcker M., at1: Touch, Gesture, and Marking, Human-Computer Interaction - toward the Year 2000, pp. 469-482, 1995.
- [8] 舟橋健司, at1: 仮想空間における両手による協調操作モデル, 情報処理学会論文誌, Vol. 39, No. 5, pp. 1334-1342, 1998.