

球面上の回転と移動のヒューマンファクタ

尾山雅史 坂本忠明 今宮淳美
山梨大学 電子情報工学科
〒400甲府市武田4-3-11

対話型三次元図形処理におけるユーザの操作モデルは、ユーザインタフェースの設計において重要である。本論文では、球面上の移動と回転操作実験を分析した結果、次のような操作時間の予測式を得た。

- (i) 回転操作の操作時間 $T = 4.75\theta + 826$
(ii) 移動操作の操作時間 $T = 3.00\theta + 524$

The human-factors of rotation and movement operation on a sphere

Oyama Masafumi Sakamoto Tadaaki Imamiya Atsumi

Department of Electrical Engineering and Computer Science
Yamanashi University

4-3-11 Takeda, Kofu, Yamanashi 400, Japan

Models of user's operation are important to the design of user interface of interactive 3D Computer Graphics. This paper describes Predictive equations of the operation time of rotation and movement.

- (i) rotating time: $T = 4.75\theta + 826$
(ii) transforming time: $T = 3.00\theta + 524$

1 はじめに

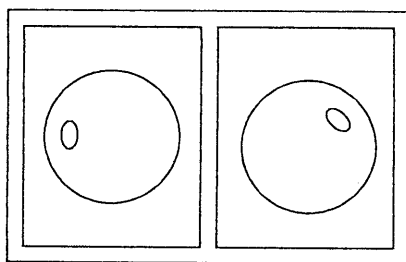
対話型三次元図形処理において、ユーザは頻繁に入力デバイスを用いて図形を移動、回転操作を行う。一般に三次元図形処理システム側では、移動操作、回転操作では異なる処理を行っているがユーザ側の移動操作、回転操作について分析した研究は少ない^{[1][2][4]}。また、入力デバイスとしてキーボード、マウス、ダイヤルなどのうちダイヤルについての実験的研究は少ない^[4]。本論文では、ユーザに移動操作と回転操作という異なる概念を与えたときの、ユーザのダイヤル操作実験から求めた操作時間の予測式と、移動操作、回転操作の思考の違いについて述べる。

2 実験

同じ実験環境に対して、移動操作に関する実験と回転操作に関する実験を行う。実験の前提として、被験者は各実験で異なる。被験者の質をそろえるために情報コースの3年生（いずれも右利き）で行う。

2-1 刺激図形

刺激図形は、球と球の表面にある円盤状のマークからなる。



目標図形 操作図形

図 2.1 刺激図形

2-2 移動操作の概念

本論文では、球の上を滑るマークを移動させる

ことを移動操作と呼ぶ。

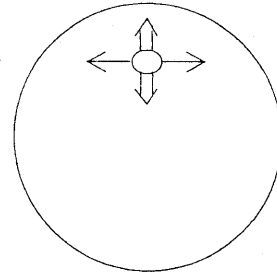


図 2.2 移動操作

2-3 回転操作の概念

本論文ではマークのついた球全体を回転させることを回転操作と呼ぶ。

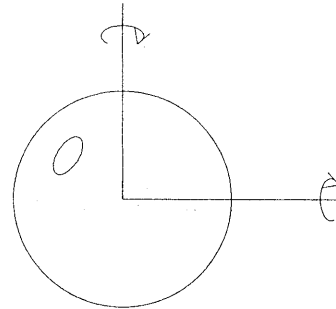


図 2.3 回転操作

2-4 手続き

被験者全員に実験の目的と、移動操作か回転操作のどちらかの概念を説明する。移動操作の時は球の上をマークが滑るように動き、回転操作の時はマークのついた球が回転すると教示する。また、教示された概念にあった実験で使う図形とダイヤルの関係を説明する。移動操作では、ダイヤル1でマークが上下方向に移動し、ダイヤル2でマークが左右方向に移動すると教示する。回転操作ではダイヤル1で球が縦方向に回転し、ダイヤル2で球が横方向に回転すると教示する。被験者は操作に慣れるまで練習をする。

はじめ、被験者は機の指定位置に手を置く。実験システムは、練習及び実験開始とともに刺激図

形(図2.1)を表示画面の左右に表示する。被験者は左側の刺激(目標)図形の見え方と同じになるように右側の刺激(操作)図形をダイヤルで操作する。目標図形と操作図形のマークの初期位置は乱数で決定する。このとき、初期位置の条件として、球の表裏の制限を加え、5つの型(表→表、裏→裏、表→裏、裏→表、ランダム)に分けた。一致と判断した時点で被験者は終了宣言のQダイヤルを回し、指定位置に手を戻す。以上を1課題とする。課題数は練習10題、実験10題で被験者は、移動操作、回転操作のいずれかの一つの型について行う。被験者数は、各操作、各初期位置の型ごとに5名ずつである。

表2.4 マークの初期位置の型

型	概要	実験人数	
		移動	回転
表→表	表から表への移動	5	5
裏→裏	裏から裏への移動	5	5
表→裏	表から裏への移動	5	5
裏→表	裏から表への移動	5	5
ランダム	制限なし	5	5

2-5 記録

実験システムが刺激図形を表示した時点から、被験者が操作したダイヤル名、ダイヤルの回転角度を時系列に沿って記録する。時系列時間の単位は10msecである。被験者のすべての行動はビデオ画像として記録する。実験の後、口述記録をとる。

3 結果

刺激図形が表示されてから、被験者が終了宣言としてのQダイヤルを回すまでの時間を次の三つの操作時間に分けられる。

前操作時間：刺激図形が表示されてから、被験者が操作図形を操作し始めるまでの時間。

操作時間：被験者が操作図形を操作し始めてから

操作し終えるまでの時間。

後操作時間：被験者が操作図形を操作し終えてから終了宣言のQダイヤルを回すまでの時間。

3-1 前操作時間

前操作時間では、移動操作回転操作とも課題の違いに関係なく一定であった。そこで、次に前操作時間の平均を示す。

表3.1 前操作時間の平均

(×10msec)

初期位置	移動操作	回転操作
表→表	149	134
裏→裏	144	175
表→裏	159	131
裏→表	128	131
ランダム	148	139

3.2 操作時間

操作時間については、移動操作回転操作とも課題によって変化がでた。そこで、課題のマークの初期位置間の角度差(仰角)によって、操作時間を回帰したところ移動操作の表→表、裏→裏、表→裏、回転操作の表→表、裏→裏、表→裏、裏→表の型での予測式が得られた。移動操作の裏→表、ランダム、回転操作のランダムの型は相関係数が低く、仰角と操作時間の相関はなかった。

表3.2.1 移動操作の仰角による操作時間の予測式

(×10msec)

初期位置	予測式	相関係数
表→表	$5.00\theta+422$	0.758
裏→裏	$4.49\theta+564$	0.314
表→裏	$4.77\theta+574$	0.382

θ ：初期仰角(度)

表3.2.2 回転操作の仰角による操作時間の予測式

(×10 msec)

初期位置	予測式	相関係数
表→表	$2.85\theta+370$	0.499
裏→裏	$3.30\theta+192$	0.713
表→裏	$2.85\theta+252$	0.420
裏→表	$1.20\theta+375$	0.346

θ : 初期仰角 (度)

3.3 後操作時間

後操作時間では、移動操作回転操作とも課題の違いに関係なく一定であった。よって、後操作時間の平均を次に示す。

3.3 後操作時間の平均

(×10 msec)

初期位置	移動操作	回転操作
表→表	135	106
裏→裏	129	110
表→裏	186	101
裏→表	126	123
ランダム	131	105

4 考察

4.1 前操作時間

前操作時間での思考系列として操作軸予測、角度予測、手の移動が考えられるが、操作軸予測については、予備実験での最初に操作するダイヤルがダイヤルの位置に依存しているという結果から、どの操作軸から始めれば速く終わるかという操作軸予測はしていないと考えられる。また、手の移動については、Fittsの法則^{[2][3]}より440 msecで一定と考えられる。よって、移動操作と回転操作の違いは角度予測の方法にあると考えられる。また、課題の違いに対して前操作時間が左右されていないことから、角度予測は角度差に関係なく一定の時間でできると考えられる。

4.2 操作時間

表→表、裏→裏、表→裏の型の予測式は、移動操作の方が回転操作より傾き、切片とも大きかった。さらに、移動操作、回転操作の上記の型の傾きは、それぞれ、移動操作の傾き(4.75)回転操作の傾き(3.00)として一つの傾きに置き換えられる。また、移動操作では表→表の型、回転操作では裏→裏の型の収束性が高く速いことから、移動操作ではマークが球の表側にある方が見やすく、回転操作ではマークが球の裏側にある方が見やすいと考えられる。

裏→表、ランダムの型は、相関係数が低くばらつきが大きいので仰角による操作時間の予測式での比較は出来なかった。表→表、裏→裏、表→裏の型は移動操作、回転操作ごとに同じ傾向を示したに対し、裏→裏、ランダムの型は、移動操作、回転操作ともに表→表、裏→裏、表→裏の型とは違った傾向を示した

4.3 後操作時間

後操作時間は、課題によらず一定であった。被験者は、一致判断をして手をQダイヤルまで移動させているから、課題の差は入らない。一致判断の手法の違いによって、移動操作のほうが回転操作より遅くなっていると考えられる。

4.4 全体の操作時間の予測式

全体の操作時間は、前操作時間+操作時間+後操作時間で表される。表→表、裏→裏、表→裏の平均の全体の操作時間の予測式は次のようになる。

$$\begin{aligned} T &= 156 + 4.75\theta + 520 + 150 \\ &= 4.75\theta + 826 \end{aligned}$$

(×10 msec)

回転操作

$$\begin{aligned} T &= 147 + 3.00\theta + 271 + 106 \\ &= 3.00\theta + 524 \end{aligned}$$

(×10 msec)

作、回転操作の思考プロセスを調べる必要がある。

4.5 移動操作と回転操作の違い

球の上を滑るマークを移動させる移動操作と、マークのついた球を回転させる回転操作の違いは操作予測のパラメータの取り方にあると考えられる。仮にパラメータを移動操作では距離、回転操作では角度とすると、実験結果からは距離を測る方が時間がかかることになる。移動操作では表→表型が、回転操作では裏→裏型の収束性が高く、かつ速いことから、距離は手前にあるほうが、角度は手前に頂点があり奥に広がっている方が速く測れるのではないかと考えられる。

また、手の操作は回転操作になっている。手へ指令を出す場合にもパラメータの変換に差がでていたといえる。たとえば、移動操作では、マークの移動距離とダイヤルの回転角度の関係は、マークの位置によって変わってくるのに対し、回転操作では、球の回転角度とダイヤルの回転角度の関係は、マークの位置に関わらず一定である。このため、移動操作の方が回転操作より変換プロセスが複雑になっていると考えられる。

5 おわりに

本論文は二つの三次元図形の見え方を同じくするタスクにおいて、球の上を滑るマークを移動させる移動操作と、マークのついた球を回転させる回転操作によるダイヤルによる実験から、次の予測式を導出した。

(1) 移動操作のダイヤル操作時間の予測式

$$T = 4.75\theta + 826$$

(2) 回転操作のダイヤル操作時間の予測式

$$T = 3.00\theta + 524$$

同じ図形システム処理でも、移動操作、回転操作という別々の教示を与えた場合、違う思考プロセスを持つことがわかった。本論文では、特に予測に使用するパラメータが違うという仮説をたてた。今後の課題として、対象までの距離とその対象の長さを測るのにかかる時間との関係、角の頂点の向きとその角の角度を測るのにかかる時間との関係を調べる別の実験を通して、人間の移動操

参考文献

- [1] Shneiderman B. 著, 東基衛, 井関治監訳, ユーザインタフェースの設計, 日系マグロウヒル, 1987.
- [2] Card S., Moran, T. & Newell, A.: The psychology of human - computer interaction, L. E. A., (1983).
- [3] Fitts p.: The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement, Journal of Experimental Psychology, Vol. 47, No. 6, pp381-391, (1954)
- [4] Imamiya, A., Sakamoto, T.: Rotating objects using dials, HCI '95, pp731-736, (1995)