

### 上肢運動による移動動作の軌跡距離の推定

IDO, Masatoshi / 井戸, 正敏

---

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Bulletin of the Faculty of Engineering, Hosei University / 法政大学工学部  
研究集報

(巻 / Volume)

30

(開始ページ / Start Page)

29

(終了ページ / End Page)

33

(発行年 / Year)

1994-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003827>

## 上肢運動による移動動作の軌跡距離の推定

井戸正敏 (経営工学科)

### A Study on Estimation of the Hand Motion path Length

Masatoshi IDO

#### ABSTRACT

The purpose of the present paper is to clarify the characteristics of the motion path and to provide predictive equations of the overall motion path length involving different distances and directions of motion.

Two experiments are executed by five right-handed male students served as subject at normal pace. A 3x3 factorial design for distance and angle of motion with respect to the shoulder line of the subject is chosen for Exp. 1. The distances are 2, 6, and 10cm.

The angles are 0°, 45°, and 90°. For Exp. 2, a 4x3 factorial design for distance and angle is chosen. The distances are 10, 20, 30, and 40cm. The angles are 0°, 45°, and 90°.

The experimental equations for the overall length of motion path in experimental region are obtained through above experiments. The motion path length can be estimated by using equations in which the variables are the linear distance moved and the direction of motion and the calculated value facilitates the estimate of reach motion time in M. T. M system.

#### §1 はじめに

Work System Designingにおいて、工数の見積りやSystemの評価に、PTS法(Predetermined Time-Standards System)は有効な手法である。今日、MTM法(Methods Time Measurement)が最も広く普及しているが、動作分析上使用者の主観的判断過程が介在する場合がある。一貫性のある分析結果を得るためには、出来る限りこの判断過程を排除することが要求される。

MTMの移動動作における移動距離は、第二指上端甲部の弧状動作経路(軌跡距離)を対象としている。この動作を遂行する上肢の動きは、3自由度の肩関節、1自由度の肘関節、3自由度の手首関節が使われ、三次元的なものとなる。したがって、移動動作の軌跡距離の測定は、三次元的な解析が行われ、高速度カメラやVTRを用いた光学的な方法、ゴニオメータ等による方法が使われる。しかし、これらの方法は、解析が必ずしも容易ではない<sup>(1)</sup>。

A. Kattan は、超音波 (UNOPAR) を用いた上肢の三次元解析の結果、上肢の移動軌跡は、動作方向の次元と高さの次元の二次元解析で本質的には可能であると結論している。本研究においては、この点と PTS 法のもつ実用性の観点等を勘案し、上肢の移動動作を二次元解析することにより、軌跡距離の特性の検討を行うことにする。

検討された軌跡距離の特性に基づき、MTM における上肢の移動距離の求め方について、直線距離から軌跡距離を求める推定法を考察する。

## § 2 上肢移動動作の軌跡距離の特性

上肢移動動作には、Move 動作と Reach 動作とに分類されるが、ここでは Reach 動作を対象とする。この動作における上肢の軌跡距離に与える影響要因は、上肢の移動方向、移動直線距離(以下、単に移動距離という)、目的地における把握物体の供給面高、作業ペース等が考えられる。

これらの影響要因を考察し実験的方法により、軌跡距離の特性を検討する。

### 2.1 実験の内容

作業者前面作業台上の基点 (S. P) から前方の目的地 (T. P) の鋼球に手を伸ばし掴んで基点へ運ぶ作業をモデルとし、その Reach 動作を分析対象とした。二次元座標の測定にはポジションセンサー (浜松フォトニクス製) とマイクロコンピュータで構成される動作位置測定装置 (榎村製) を使用した。S. P と T. P とを結ぶ線 (X 軸) と、第二指上端甲部に装着した LED の移動の高さ (Y 軸) で構成される二次元座標上で、移動する LED のビームをセンサーヘッドが 20ms ごとに検出し、位置座標を計測する。測定の初期条件として S. P と T. P 間の直線距離の実測値を入力し、測定の補正を行うので、位置データ (X, Y) は SP を原点とする実距離 (1/100cm 単位) で計測される。フロッピーディスクに記録された位置データより、LED 即ち、第二指上端甲部の移動軌跡距離を算出した。

モデル作業の制約上、同一水平面上に S. P, T. P を配置することは困難であるが、TP の高さは SP を含む水平面に対し、約 20° 以内であれば、軌跡距離に影響しないことが予備実験の結果判明した。また、作業ペースはこの実験結果を MTM に適用することを考慮し、MTM ペースとしたが、このペースの ±10% の範囲内のペースであれば、軌跡距離に影響しないことも判明した。

これらの点を考慮し、ここでは測定上の制約から距離要因を 10cm を区分点とした二実験を行った。実験 1 では、移動方向要因 0°, 45°, 90° の 3 水準、直線距離要因 2, 3, 10cm の 3 水準とした 9 試行を行った。実験 2 は、実験 1 と同一水準の方向要因、10, 20, 30, 40cm の 4 水準の距離要因とした 12 試行を行った。

被験者は右利き男子学生 5 名 (身長: 171.3 ± 3.3cm, 上肢長: 72.5 ± 2.4cm) で、MTM ペースで約 2 ヶ月 5 千回以上の練習を行わせた。データは繰り返し作業を対象としたので、動作の安定した 3 ~ 12 サイクル目までの 10 個の平均値とし、算出された軌跡距離は直線距離に対する比として扱った。被験者数は繰り返しデータとした。作業面高は各被験者ごとに椅子で調整した。

## 2.2 実験の結果と考察

実験1の結果についてみると、どの距離においても90°方向(作業者正面)が、方向要因の効果の影響を大きく受け、次いで、0°方向(側面)が影響を受け、45°方向(斜面)が最も効果が小さい。この傾向は、移動距離が短い程大きく、長くなるに従い小さくなる傾向が見られる。

分散分析の結果、移動方向(A)、移動距離(B)が有意となった。各要因間の水準間の検定の結果も、各水準間で有意となった。

実験2の結果は、実験1の結果と同様の傾向がみられたが、それ程大きな傾向ではなく、移動距離が長くなるに従い、方向要因の効果は小さくなっていく傾向がみられた。

分散分析の結果をみると、移動方向(A)、移動距離(B)、および方向と距離の交互作用(A×B)が有意な結果となった(Table 1)。

以上の結果から、上肢の軌跡距離は移動方向要因と移動距離要因に依存し、しかも移動距離が長くなるとそれらの要因の交互作用も存在するという複雑な特性を有することが判明した。このことは、それぞれの方向、距離に対して有効に働く上肢関節の異りによるものと推察される。

## §3 上肢移動動作の軌跡距離の推定

移動方向と移動距離を変数とする比(軌跡距離/直線距離)の推定式を求める為に、回帰分析を行った。移動距離2~10cmに対して式(1)が求められた(Table2)。

$$Z_1 = 1.623 - 9.393 * 10^{-2}X + 4.679 * 10^{-3}X^2 - 8.474 * 10^{-3}Y + 1.104 * 10^{-4}Y^2 + 6.700 * 10^{-4}XY - 8.333 * 10^{-6}XY^2 \dots\dots\dots(1)$$

$$\begin{cases} X: \text{直線距離} & 2 \leq X \leq 10\text{cm} \\ Y: \text{移動方向} & 0^\circ \leq Y \leq 90^\circ \end{cases}$$

移動距離10~40cmに対しては式(2)が求められた。

$$Z_2 = 1.419 - 2.836 * 10^{-2}X - 5.420 * 10^{-3}Y + 3.810 * 10^{-4}XY - 5.440 * 10^{-6}XY^2 + 8.790 * 10^{-4}X^2 + 7.807 * 10^{-5}Y^2 - 9.600 * 10^{-6}X^3 - 6.244 * 10^{-6}X^2Y + 8.889 * 10^{-8}X^2Y^2$$

$$X: \text{直線距離} \quad 10 \leq X \leq 40\text{cm}$$

$$Y: \text{移動方向} \quad 0^\circ \leq Y \leq 90^\circ$$

上肢移動動作における Reach 動作の軌跡距離は、式(1)あるいは式(2)と直線距離との積として求めることができる。

## 4 おわりに

本実験の対象とした Reach 動作に関して、Kattan と Nadler, Stuke, A, 柏戸らが軌跡距離を求める推定式を提案している。Kattan ら以外は、移動方向の要因を考慮していない。KATTAN

らは移動方向を90°とそれ以外の二つの推定式を求め、軌跡距離と直線距離との差は非常に小さく、その比率は、本実験の対象とした2~40cmの範囲で1.03~1.07であった。短距離におけるこの比率の動作は、地を這う状態に近い。柏戸らの推定式 ( $S = 1.06D + 2.41$ ) では、短距離での比率が大きく、Stukeyの推定式 ( $S = D + D^{\frac{1}{2}}$ ) では20cm以降が大きな比率を示す。本実験から得られた推定式では、短距離ではStukeyに、30cm以降はKattanの比率に近似している。

WF (Work-Factor) と MTM の移動距離の特性から、時間値を対応させることにより、軌跡距離と直線距離との関係が求められる。対応可能な組合せ R-B と A-W でみると  $S = D + 2.3$  ( $10 < D < 30\text{cm}$ ) という関係が見られ、経験的に使われている  $S = D + 2$  (cm) と近似し、興味深い。しかし、他の組み合わせでは認められなかった。

今回の結果を MTM に適用する場合には、計算が繁雑となるので、実用上は、直線距離に換算した時間表、軌跡距離の物差し、直線距離と軌跡距離の換算表等を作成することが有効であろう。また、各基本動作のケースの分類を考慮すると、移動方向は作業者の前、横、斜方向の3ケースの分類程度が考えられる。

同一距離の移動動作時間は、移動方向により時間に差異が生じ、作業者斜め前方向が、最も小さいという報告がある。直線距離が同一でも、軌跡距離は移動方向により差異を生じ、斜め前方向が最も短くなるという今回の実験結果から、時間値の差異がある程度説明できよう。

## 参考文献

- 1) 宮代信夫・島 幸：リーチ動作における上肢動作特性の3次元解析，日本経営工学会誌 Vol. 33, No6 pp. 433-439 (1983).
- 2) Kattan, A. and Nadler, G.: Equations of Hand Motion Path for Work Space Design, Human Factors, Vol. 11 No. 2, pp123-130 (1969)

Fig. 1 移動方向に対する直線距離ごとの比 (直線距離 2~10cm)

Table 1 分散分析 (直線距離10~40cm)

要因	平方和	自由度	分散	分散比
方向(A)	0.0063	2	0.0032	5.1099**
距離(B)	0.1944	3	0.0648	104.4780**
A * B	0.0214	6	0.0036	5.7392**
残差 e	0.0298	48	0.0006	—
計 T	0.2519	59	—	—

Table 2 分散分析表

変動因	自由度	平方和	分散	分散比
直線距離A	3	1944.0		
1次 A <sub>L</sub>	1	1736.7	1736.7	306.7**
2次 A <sub>Q</sub>	1	182.4	182.4	32.2**
3次 A <sub>C</sub>	1	25.0	25.0	4.1*
移動方向B	2	63.0		
1次 B <sub>L</sub>	1	23.0	23.0	4.1*
2次 B <sub>Q</sub>	1	40.0	40.0	7.1*
交互作用 A × B	6	214.1		
A <sub>L</sub> × B <sub>L</sub>	1	55.2	55.2	9.8**
A <sub>L</sub> × B <sub>Q</sub>	1	69.2	69.2	12.2**
A <sub>Q</sub> × B <sub>L</sub>	1	23.9	23.9	4.2*
A <sub>Q</sub> × B <sub>Q</sub>	1	43.1	43.1	7.6**
誤差 e	44	249.2	5.7	