

上肢運動によるトランスポート時間推定モデルについて

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)

26

(開始ページ / Start Page)

233

(終了ページ / End Page)

249

(発行年 / Year)

1990-02

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003909>

上肢運動によるトランスポート時間推定モデルについて

井戸正敏*

A Study on Time Estimation Model for Transport Motion

Masatoshi IDO*

Abstract

In making start-stop motions, W.F. DEEGAN revealed that the human hand or arm go through a period of acceleration to maximum velocity, this velocity is maintained through a portion of the motion and finally the hand or arm decelerated to a stop.

By this experiments, the hand goes through acceleration period to maximum velocity, then decelerated to a stop.

As a constant velocity period can not be observed, graphically the model of velocity of hand moved can be approximated to the triangle.

The purpose of this paper is to examine the characteristics of this model and to discuss the experimental equation for the time estimate of transport motion.

Two experiments were executed and five right-handed male students served as the subject. In Exp. 1, 18 combinations of three distances moved and six terminal control levels were provided. The subject's task was the moving the pin from start-point to terminalpoint in normal pace. In Exp. 2, seven moved distances were provided under the fixed terminal control level.

It is found that the acceleration period is depended on distance moved and that deceleration period is influenced to the terminal control levels and the distance moved. Furthermore, deceleration period has logarithmic relationship between the ratio of accelerated time to decelerated time and the terminal control level.

The experimental equation for the time estimate of transport motion is obtained through the result of experiments. The time of transport motion can be estimated by product of the accelerated time equation in which the variable is the distance and the ratio function in which the variable is the terminal control level.

§1. はじめに

上肢運動によるトランスポート動作は、作業が行われる場合、時系列的にそれぞれ異なった空

* 経営工学科

間で行われる動作を連結する動作である。動作の目的によりある空間に存在する物体に上肢を“伸す(reach)”場合と、ある空間へ物体を上肢で“運ぶ(move)”場合がある。また、トランスポート動作時間は、この動作の次に行われる動作を規定する条件と上肢の移動すべき距離に大きく影響を受ける。具体的には移動距離と方向、運搬物の有無と重量・抵抗、移動目的地への正確さの程度等である。

既存のPTS法では、これらの要因の考慮の仕方によって、それぞれトランスポート動作時間が求められるようになっている。“伸す”と“運ぶ”の二種類のトランスポート動作に関しては特に区別しないシステム(WF, BMT, MODAPTS等)と、それぞれ区別して扱っているシステム(MTM)等である¹⁻⁴⁾。両者のトランスポート動作は運ぶ物体の重量及び抵抗の要因を除けば、移動の距離と方向および目的地への正確さの程度が時間値に影響を与え、その限りでは両者は同一の時間特性を有するものと考えられる。

ここでは、小物組立作業を想定し、移動距離と目的地への正確さの度合い(Terminal Control Levelと称し、以下TCLという)を要因としたトランスポート動作時間について、その動作モデルを検討することにより、簡易時間推定法を得たので報告する。

§2. 上肢運動によるトランスポート動作モデル

主要なPTSでは、上肢のトランスポート動作の特性を加速域、定速域、減速域で構成される運動速度モデルを使って説明が行われている。MTMでは「手をのばす」基本動作のタイプの区分に使われており、WF分析法では標準要素「移動動作」のワークファクター付加の識別に用いられている^{1,6)}。

このモデルはW.J. Deeganによって研究され、PTS法としてはI.P. LazarusによってHPT(Predetermined Human Work System)に適應されている。HPTでは加速域、定速域、減速域の時間構成比を0.4, 0.2, 0.4とし、これを運動の方程式に代入し移動動作時間値を求めている⁶⁾。

そこで、Deeganの研究内容について、今、少し検討を加えることにする⁷⁾。

Deeganは毎秒31.9インチの速さで流れる紙の上にスライダーを置き、鉛筆を前後方向に移動させることによりFig.1に示す波型を得た。この曲線上のBCの直線部分を定速域とし、ABを加速域、CDを減速域、さらにDA'を方向の転換として、それぞれの長さに対応するX軸上から時間値を求めている。実験条件は移動の方向、距離、停止の条件とし、それぞれの条件ごとに四区分帯の時間値とその構成比率を示した。ここでは前三区分帯を問題にしているので、方向の転換を除いてその構成比率を求めなおすとTable1の結果となった。定速域の割合はどの条件においても、距離が長くなるに従い減少し一定の割合にとどまるとは言い難いことが分かる。

また、人間工学の分野で研究が行われている上肢運動の加速度波形からみた制御過程の研究に

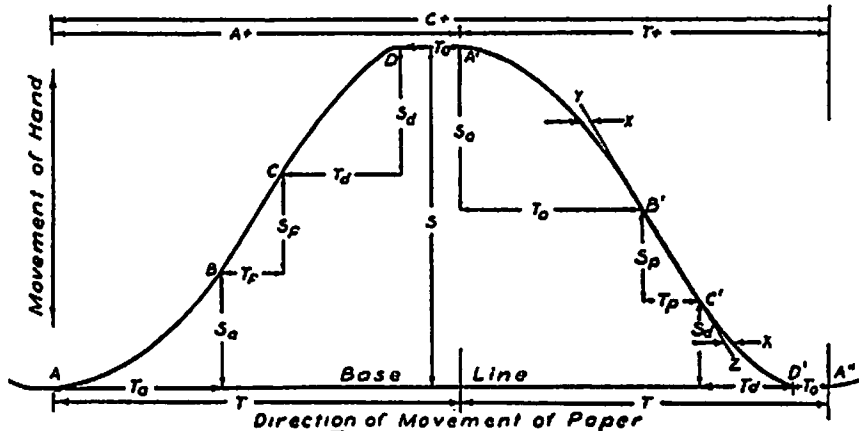


Fig. 1 Deegan の移動動作の分析モデル

Table 1 Deeganモデルにおける各速域の構成割合 (%)

停止距離	方向 速域	a way from operator			toward opevator		
		加速域	定速域	減速域	加速域	定速域	減速域
visual stop	5"	38.7	19.0	41.3	41.1	19.6	39.3
	10	38.7	17.1	44.1	42.3	18.2	39.5
	15	39.5	16.1	44.3	44.2	17.3	38.5
	\bar{x}	39.3	19.4	43.2	42.5	18.4	39.1
mecanical stop	5"	50.6	24.2	25.2	49.4	24.5	26.1
	10	45.3	21.8	32.9	47.9	22.0	30.1
	15	42.4	19.3	38.3	47.6	20.6	31.8
	\bar{x}	46.1	21.8	32.1	48.3	22.4	29.3

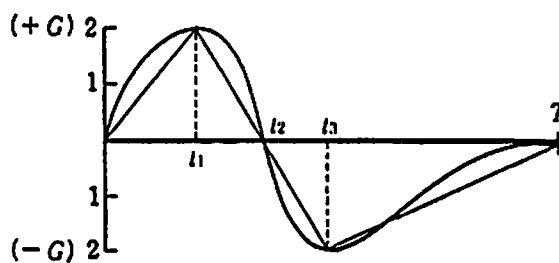


Fig. 2 加速度波形の三角表示

においては、Fig. 2 に示す加速度モデルが検討されている。この研究結果では定速域の存在を認め
ていない。すなわち、加速度の区分帯第Ⅱ相から第Ⅲ相へは、連続した加速度としている⁸⁻⁹⁾。

そこで、通常の上肢トランスポート動作の速度データを移動距離と TCL の二つの条件のもと
でとってみると、Fig. 3 も示すように加速域と減速域だけで定速域は判然としないことが分かる。
最高速度まで加速すると、その後は減速する現象であり、上肢のトランスポート動作速度は最高
速度を区分点とする加速域と減速域で構成されるものと推察される。

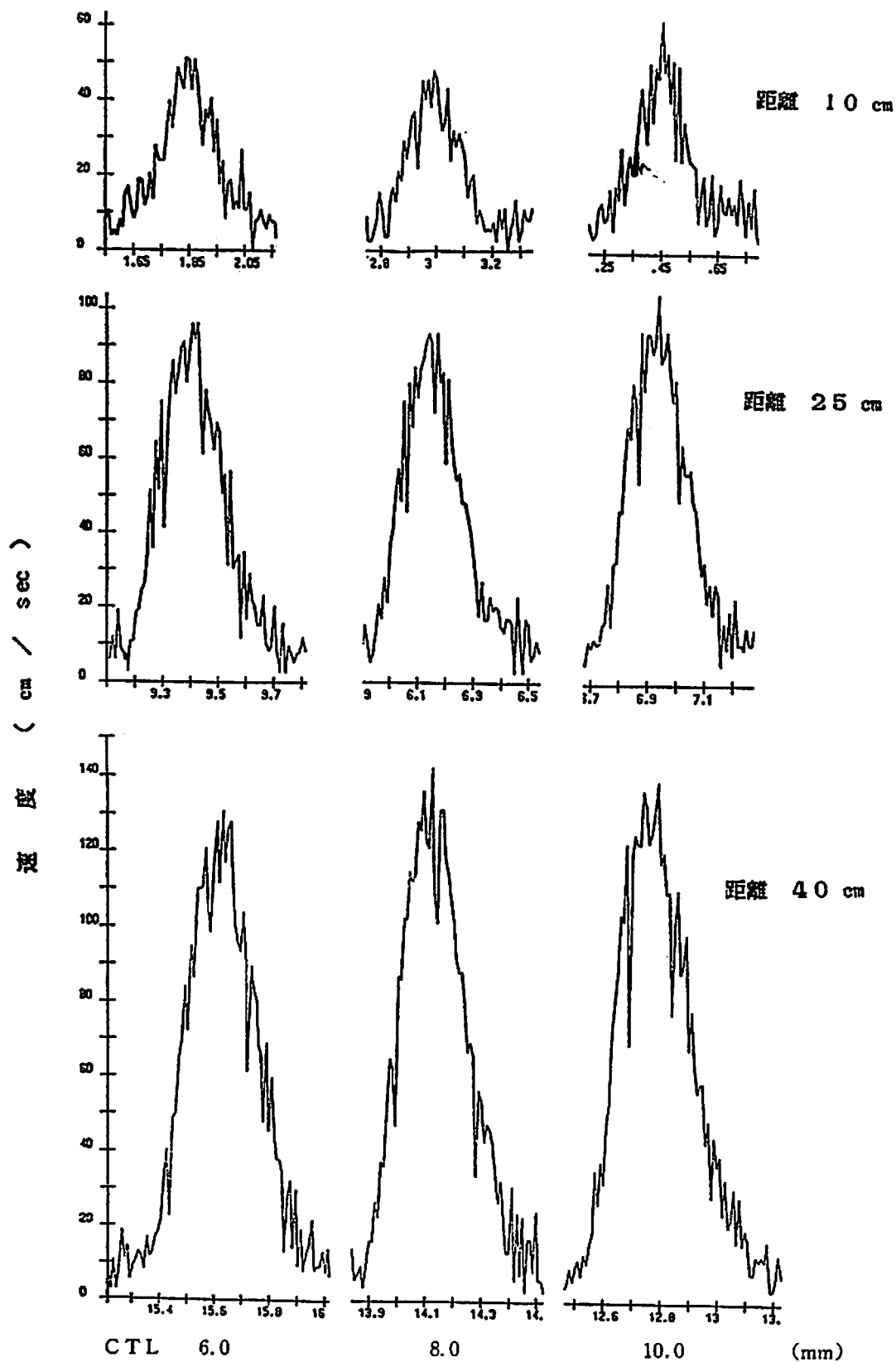


Fig. 3 手の移動動作速度

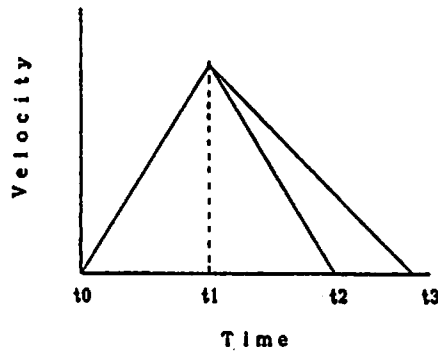


Fig. 4 三角型モデルの概念図

ところで、Fig. 2 でみた上肢運動の加速度波形のモデルは、近似的に三角表示を行っているので、トランスポート動作の速度の観点においても、Fig. 4 に示す三角型モデルを近似的にははめて、その特性を明らかにし、トランスポート動作時間の推定法の検討を行う。

§ 3. 上肢運動によるトランスポート動作モデルの特性

三角型モデルにおいて、最大速度に達するまでの加速域時間と、その後の動作終了までの減速域時間とに分けて考えると、後半の減速域の時間が TCL に影響を受け、その時間値は延伸されるものと考えられる。そこで、この点を検討する目的で、次のような実験を行った。

3.1 実験の内容

実験は対象としたトランスポート動作の運動速度を測定することにより最大速度を求め、それにより動作開始時から最大速度時とその後の動作終了までの時間を把握した。

動作速度の測定は、Fig. 5 に示す動作速度測定装置（櫻村製）を使用した。この装置は光半導体位置計測装置（浜松フォトリクス製）とマイクロコンピュータシステムで構成され、LED ターゲットからの光をセンサーヘッドが捉え、二次元の位置計測する。位置の計測データは 10 ms 単位でフロッピーディスクに記録され、取込み終了後に移動距離と移動速度が出力される。基点と目標点にはマイクロスイッチが装置され、その動作の状態も取り込まれ、位置計測データに対応して出力される。

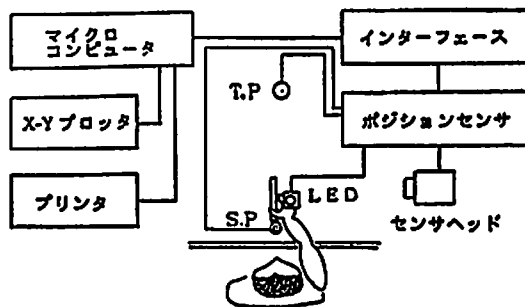


Fig. 5 動作速度測定装置の概念図

モデル作業はLEDを装着した円筒形でピン(2φ×60mm)を右手に持ち、作業者の前面台上にある基点と目標点(大きさ可変の円形盤)とを移動させる単純繰り返し作業である。

実験条件として、要因とした距離(A)を10, 25, 40cmの三水準, TCL(B)は2, 6, 8, 10, 15, 20φmmの6水準を設定した。被験者は右利き男子学生5名を採用し, MTMペースが十分会得されるまで練習を行わせた。実験は18通りの作業をランダムな順序で行った。トランスポート動作の区分は, ピンが基点を離れてから目標点に接触するまでとし, マイクロスイッチの作動状態の出力記録で識別し, 動作時間は動作区分内の位置データ個数から求めた。

データは作業開始後安定した10サイクル目からの5サイクルを分析の対象とした。作業測定では連続測定して処理するので, 5サイクルの平均値を1個の実験データとし, 被験者を繰り返しデータとした。

3.2 実験の結果と考察

移動距離が一定ならば, Fig. 6に示すように加速域の時間はTCLには影響されず一定の傾向がみられた。分散分析の結果Table 2が得られ, 加速域時間は距離(A)のみが有意となった。また, 減速域時間はFig. 7に見るように, それぞれの距離において, TCLが低くなる(目標物が大きくなる)に従い遞減し, TCLが大きな影響を及ぼしていることがわかる。分散分析の結果をTable 3にみると, 距離(A), TCL(B), および距離とTCLの交互作用(A×B)が有意とな

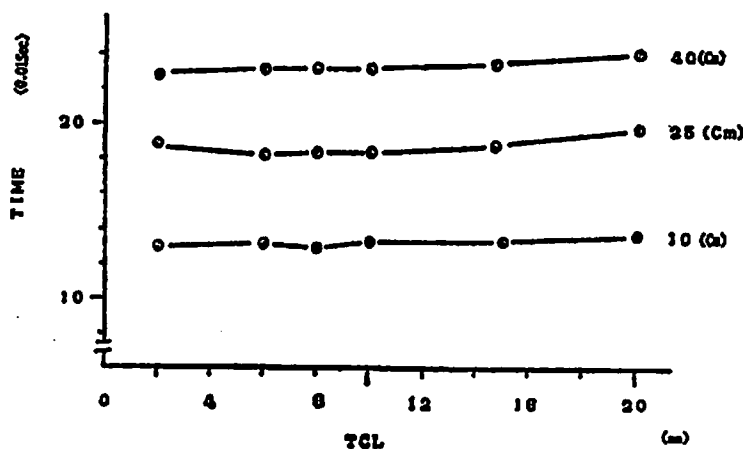


Fig. 6 加速域における移動時間とTCLの関係

Table 2 加速域の時間の分散分析表

要因	平方和	自由度	分散	分散比
A	1542.97	2	771.48	362.60 **
B	12.50	5	2.50	1.18
A*B	3.83	10	0.38	0.18
E	153.19	72	2.13	
T	1712.49	89		

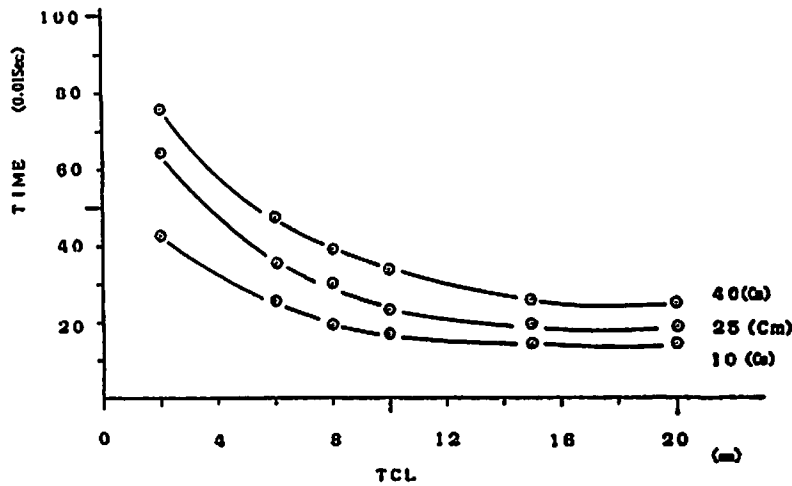


Fig. 7 速度における移動時間と TCL の関係

Table 3 減速域の時間の分散分析表

要因	平方和	自由度	分散	分散比
A	12797.80	2	6398.88	6398.88 **
B	17574.80	5	3514.95	367.59 **
A*B	917.56	10	91.76	9.60 **
E	688.47	72	9.56	
T	31978.63	89		

った。

以上の結果から、加速域の時間は距離に依存し、減速域の時間は距離と TCL に依存し、しかも交互作用が存在するという複雑な特性であることが判明した。

このことは、加速域時間は上肢が移動した距離に尽やされた時間となり、減速域時間は距離と TCL とによって延伸する時間であることが判明した。上肢のトランスポート動作の速度モデルを考えると、最高速度は移動距離が一定とした場合には、動作の開始後一定の時間に出現し、動作の終了は移動距離と TCL の関係により延伸するという特性を有するモデルであると言えよう。

§ 4. トランスポート動作時間の求め方

このような特性を有するトランスポート動作時間の推定法を考える場合、距離と TCL との交互作用が存在するためにその手続きは複雑となる。

そこで加速域の時間値に対する減速域の時間値の比率 (倍率) を求め、この倍率と TCL との関係の検討を試みた。どの移動距離に対しても、TCL が同一の条件があれば、この倍率はほぼ同一の値を示した。TCL の大きさごとに倍率を対応させると、TCL が低くなるにしたがい通減する指数曲線の傾向がみられた。両対数表にプロットすると Fig. 8 に示すように線型傾向となっ

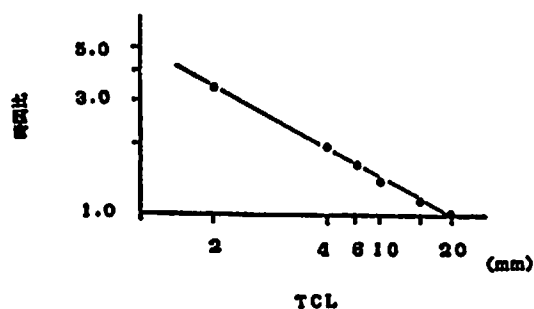


Fig. 8 加速域に対する減速域の時間比と TCL の関係

Table 4 時間比と TCL の回帰分析

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比
回帰変動	2.7428	1	2.7428	514.9260 **
誤差	0.3011	88	0.0034	
高次	0.0286	4	0.0072	2.2344
級間	2.7714	5	0.5543	173.2125 **
級内	0.2725	84	0.0032	
全変動	3.0439	89		

たので回帰分析を行った。

結果は Table 4 に示すように、一次が有意となり、倍率は TCL を変数とする対数線型式で推定可能であることが判明した。回帰式を求めると式(1)となり、回帰係数の誤差推定値は式(2)に示すように小さく、回帰係数の有効性を検定すると式(3)となり有意となった。

$$\hat{Y} = 0.696 - 0.543R \quad (R = \text{TCL}) \tag{1}$$

$$\left. \begin{aligned} Se(b_0) &= 0.0186 \\ Se(b_1) &= 0.0193 \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

$$\left. \begin{aligned} t_0 &= |37.228| > t(88, 0.05) = 1.980 \\ t_1 &= |-28.0386| > t(88, 0.05) = 1.980 \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

以上から、加速域時間に対する減速域時間との倍率は、TCL によって求めてもよいと判断される。従って、トランスポート動作時間の推定は、移動距離を変数とする加速域の時間値が推定できれば、倍率を乗じることはよって容易に推定することが可能となる。このトランスポート動作時間の推定式は式(4)のように表すことができる。

$$T = f(d) \{1 + f(R)\} \tag{4}$$

ここで $f(d)$ は加速域の時間推定式

$f(R)$ は TCL から倍率を求める推定式

§5. 加速域時間の特性

式(4)において、 $f(R)$ は前述の式(1)がこれに相当するので、式(4)からトランスポート動作時間を推定するためには $f(d)$ 、すなわち、加速域の時間特性を明らかにすればよいことになる。この点を明らかにするために、以下の実験を行った。

5.1 実験の内容

加速域時間は3.2の結果で明らかにしたように、移動距離のみに影響を受けるので、移動距離のみを要因とする実験を行えばよい。

作業者の前面台上にある基点と目標点の二点間を右手にLEDを装着した円筒形ピン(2φ×60mm)を持たせ移動させる単純作業を行わせた。目標点は20mmの円形盤を固定して使用した。要因とした距離(A)は10, 15, 20, 25, 30, 35, 40cmの7水準とした。被験者はMTMベースを十分習得した前実験と同一の右利き男子学生名を採用した。動作速度の測定装置、時間値の求め方データの処理方法等前述実験と同様に行った。

5.2 実験の結果と考察

実験結果をFig. 9に示す。二次曲線の傾向がみえるがあてはまりが良くなく、両対数紙にプロットすると、25cmまでは対数線型傾向が、25cm以上は方眼紙上で線型傾向が強うかがわれた。そこで、25cmを区分点として二分割しそれぞれ回帰分析を行った¹⁰⁾。

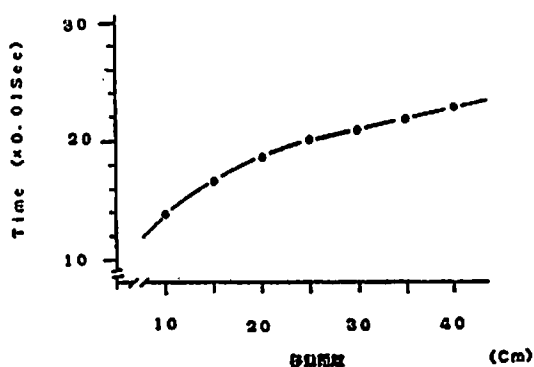


Fig. 9 加速域における移動時間

Table 5 10-25cm回帰分析

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比
回帰変動	0.0866	1	0.0866	514.9260 **
誤差	0.0037	22	0.0002	
高次	0.0005	2	0.0002	1.4960
級間	0.0871	3	0.0290	180.3790 **
級内	0.0032	20	0.0002	
全変動	0.0903	23		

10~25cmに対する分散分析表を Table 5 にみると、一次が有意となり、この区間距離における動作時間は移動距離を変数とする対数線型式で推定可能な特性であることが判明した。回帰式は式(5)、回帰係数の誤差推定値は小さく式(6)となり、回帰係数も式(7)となり有意を示した。

$$\hat{Y} = 0.742 + 0.404 d \quad d : \text{移動距離} \quad (5)$$

ただし $10 \leq d \leq 25\text{cm}$

$$\left. \begin{aligned} Se(b_0) &= 0.0219 \\ Se(b_1) &= 0.0178 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} t_0 &= |33.9301| > t(22, 0.05) = 2.074 \\ t_1 &= |22.6920| > t(22, 0.05) = 2.074 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

同様に 25~40cm に対する分散分析の結果を Table 6 に示す。一次が有意となり、この区間における動作時間は移動距離を変数とする一次式で推定可能な特性であることが判明した。回帰式は式(8)、回帰係数の誤差推定値は式(9)、有意性を示した回帰係数は式(10)をそれぞれ得た。

$$\hat{Y} = 15.62 + 0.174 d \quad d : \text{移動距離} \quad (8)$$

ただし $25 < d \leq 40\text{cm}$

$$\left. \begin{aligned} Se(b_0) &= 0.641 \\ Se(b_1) &= 0.1944 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} t_0 &= |24.3656| > t(22, 0.05) = 2.074 \\ t_1 &= |8.9508| > t(22, 0.05) = 2.074 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Table 6 25-40cm回帰分析

要 因	平方和	自由度	不偏分散	分 散 比
回帰変動	22.7071	1	22.7071	80.1169 **
誤 差	6.2353	22	0.2834	
高 次	0.0185	2	0.0093	0.0293
級 間	22.7256	3	7.5752	24.3701 **
級 内	6.2168	20	0.3108	
全 変 動	28.9424	23		

§ 6. トランスポート動作時間の推定式

加速域時間に対する減速域時間の倍率の推定式及び加速域時間の推定式が式(1)、(5)、(8)としてそれぞれ求められたので、これを式(4)に代入することによって移動距離と TCL を変数とするトランスポート動作時間を推定することが可能となった。推定式は式(11)、(12)のようになる。

$10 \leq d \leq 25\text{cm}$ の場合

$$T_1 = 5.52 d^{0.404} (1 + 4.97 R^{-0.548}) \quad (11)$$

25 $d \le 40\text{cm}$ の場合

$$T_2 = (15.62 + 0.174 d) (1 + 4.97 R^{-0.549}) \tag{12}$$

ただし d : 移動距離 (cm)

R : TCL (mm)

今回の実験において、対象としたトランスポート動作は基点と目標点間の移動とし、動作の終点区分は目標点の円形盤の接触点とした。従って、TCLが高くなる、すなわち、円形盤の径が小さくなると“合せ”動作が加ってくるので、この検討が必要となる。

この関係を各PTS法でみると、Fig.10のようである^{1,3,4,11)}。若干の差異があるもののユトリの大きさが6 mm以上の目標物に手をのぼす場合をトランスポート動作としている。また、定置動作の研究において、ほぼ6 mm以上のユトリの場合には、トランスポート動作時間に影響を及ぼさないとしている¹²⁾。これらのことを考慮すると、ここでもユトリの大きさが6 mmを超える目標物に手をのぼした場合をトランスポート動作とする。今回の実験では、TCLとピン径2 mmとの差がユトリの大きさとなっているので、TCLが8 mm以上の場合を上肢のトランスポート動作とする。

式(11), (12) でトランスポート動作時間を推定する場合には TCL は8 mm以上という条件が前提となる。TCLが8 mm未満の場合のトランスポート動作時間の推定には、TCLを8 mmとして推定することになる。その場合には、当然“合せ”動作の時間を付加する必要がある。

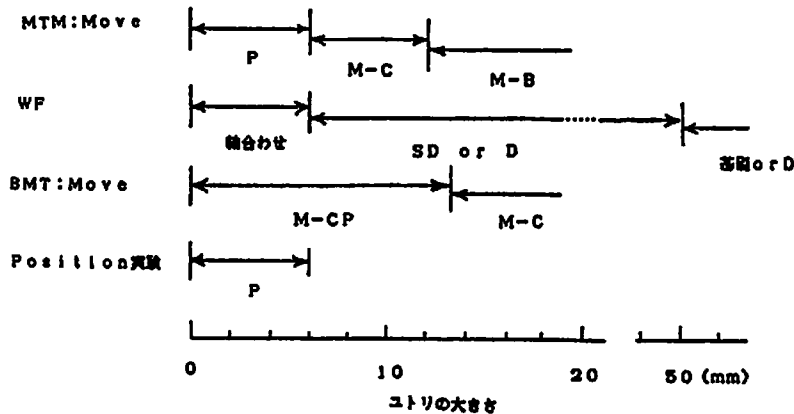


Fig.10 各PTSのユトリの大きさと位置決めの区分点

§7. 推定時間値の検討と比較

本研究のトランスポート動作の推定時間値と既存のPTS法の時間値とどのように対応するか特徴を明らかにするために比較検討する。比較対象はMTM, WF, BMTである。

MTMとの比較では、本実験の移動距離が直線距離を用いているので、測定された(X, Y)データから軌跡距離を求め修正を行った。

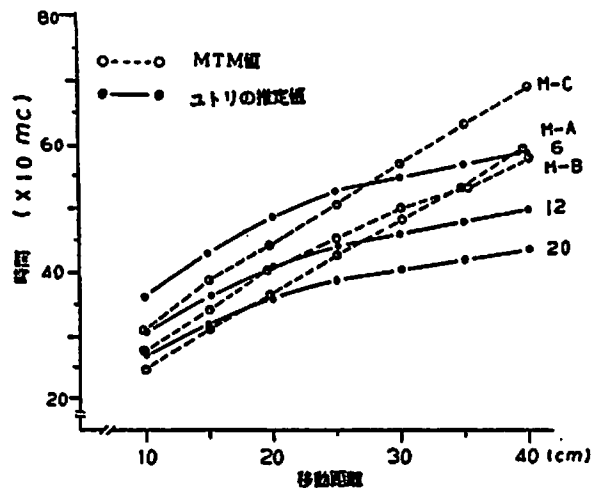


Fig. 11 MTMと推定値の関係

MTMのMoveはユトリの大きさ6~12mmをケースC, それ以上をケースBあるいはケースAと分類しているのので, これに対応して推定値を求め Fig. 11に示す。全体にMTMでは距離の延伸に伴う時間値の増分は, ほぼ直線的傾向にあるが, 推定値は25cmを区分点とし, その増分は異なるがMTM程大きくはない。従って, ケースCの時間値は27cm近傍までは, ケースCの分類基準6~12mmのユトリで求められる推定値の範囲内で対応がみられる。しかし, ヌトリの大きさとの対応では, ケースCは距離の延伸に伴い12mmのユトリから6mmのユトリの大きさへと変化する。27cmを超えると6mmのユトリの推定値から大きな差が生じてくる。

ケースCの分類基準の上限であるユトリ12mmの目的地へ手を移動させる動作の分析例で示すと, 距離10cmの場合, $M_{10C} = 0.317$ 秒に対し, 推定値は0.305秒となり, 3.9%程度の差であるが, 40cmの場合, $M_{40C} = 0.689$ 秒, 推定値=0.493秒となり, その差は39.8%と漸増していき, 推定値は距離の延伸に伴う時間の増分がMTMの場合より大きくはないことが特徴と言えよう。

ケースBとは, 25cm近辺まではユトリ12~20mmの範囲の推定値と対応している。25cmを超えるとケースBの値から離れ, ケースCと同様の対応傾向である。

ケースはコントロールレベルに対応して分類されているとすると, 30cm近辺よりケースAはケースBに接近し, 逆転する不解な現象を呈していることになるので, 推定値との比較は難しいが, 20cm近辺まではユトリ20mmの推定値はケースAと近似している。

MTMとの比較において, 推定値は25cm以上の距離に対する時間値の与え方に大きな特徴があるということができよう。

ユトリに対する推定値から, MTMのケースの分類を見るとケースAはユトリ20mmに相当し, ケースBは12~20mm, ケースCは6~12mmと推察できる。ただし距離25cm近辺までの場合で, それ以上の場合は本研究におけるユトリとは規則的な対応は見られない。

Fig. 12は, MTMペースに換算したWFにおける腕(A)のトランスポート動作時間と推定値

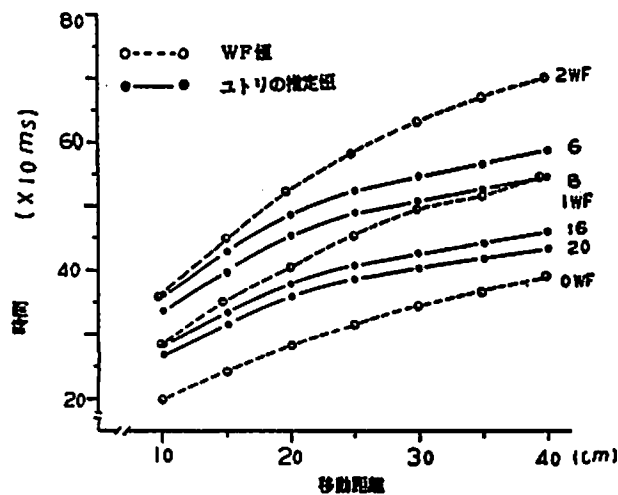


Fig. 12 WFと推定値の関係

との関係を示す。WF では 2 WF(S.D) として分析される動作は、当研究ではユトリ 6 mm の場合として分析される。両者の時間値を対比すると、距離 10cm では、WF は $A4SD=0.360$ 秒と分析され、推定値は 0.364 秒とほぼ一致する。しかし、WF は距離の延伸に伴う時間値の増分が指数曲線的な傾向を有しているため、推定値との差は距離の延伸に伴い拡大し、距離 40cm では、 $A16SD=0.705$ 秒、推定値=0.588 秒となり、WF より 19.9% 程小さな値をとる。

1WF(D) の時間は距離に対する時間の増分傾向の違いにより 30cm 以上の場合には、若干の差異があるが、MTM のケース B の時間値に近似している。推定値とはユトリ 10~18mm の範囲の時間値に相当する。すなわち 10cm では $A4D=0.285$ 秒、ユトリ 16mm の推定値=0.284 秒、40cm の場合、 $A16SD=0.528$ 秒、ユトリ 8 mm の推定値=0.547 秒と近似しているが、距離の延伸に伴い 1WF のユトリの対応は 16mm から 8 mm へと小さい方へ変動していく。

0WF (基礎) に相当する動作は、本実験では対象としなかったため直接比較はできないが、HPT の移動時間とは 1~4% 程度の差であるが、この基礎の時間値に近似している。これらのことを考え合わせると、実験の最大ユトリ 20mm の推定値とはかなりの差異があり、このレベルのコントロール時間としては、推定値は大きな時間値であると云える。

最後に、BMT との対応を Fig. 13 にみる。BMT は 125% 奨励給ベースとしているので、100% ベースに換算してある。推定値の距離に伴う時間の増分傾向は、他の二つの PTS 法に比らべると BMT が最も近似している。

BMT の M-C で分析される移動動作はユトリ 1/2 インチ以下の場合であるが、そのユトリの推定値に対し 43~57% 程度の差異がある。

M-A 動作は“固いものに当たって動作が終了する”と定義され、WF の基礎で定義されている“つきあたって停止する”動作と同種であるので対比させると、36~68% 程度の差異があり、ユトリ 12mm の推定値と近似しているが、動作のコントロールのレベルで見ると差異の大きさが、

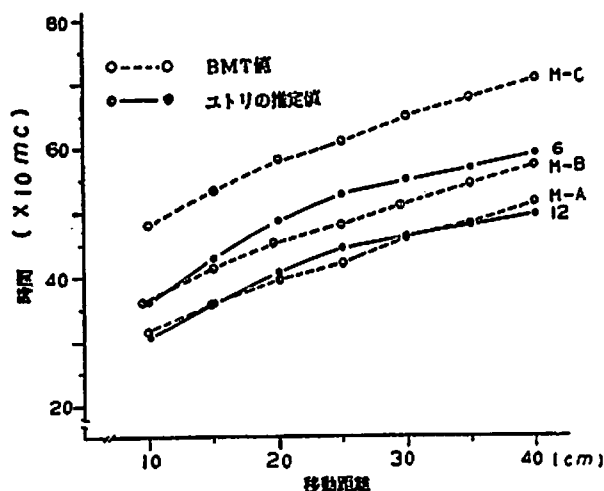


Fig. 13 BMT と推定値の関係

大きな特徴と云えよう。

以上のように各 PTS 法におけるトランスポート動作時間と推定値と対比することにより、それぞれの時間値が特徴づけられた。各システムのトランスポート時間の設定の方法は、そのシステムの特徴を最も強く反映しているため、トランスポート動作の時間値のみの比較は単純に行ってはいけないという危惧があるが、対象とした PTS 法においてはトランスポート動作の終局のコントロールレベルをケース、ワークファクターあるいはクラスに分類しているが、その分類基準は必ずしも客観的ではなく、分析者の判断の介在する余地がある。さらにその分類に与えられた時間値は単一であり、ユトリの大きさに対応させると分類の幅が大きいため、繰り返しの多い作業の時間値を推定する場合には、誤差が累積されるという問題がある。これらの問題に対し、提案式は非常に有効であることが明らかとなった。

§8. おわりに

小物品の組立作業を想定し、そこでよく発生するトランスポート動作の時間推定法を提案した。この時間推定は、Deegan が明らかにした、加速域、定速域、減速域で構成されるモデルではなく、最高速度で区分される加速域と減速域で構成される三角型モデルに基づいた。この三角型モデルの特性を明らかにすることにより、移動距離と目的地への正確さの度合い (TCL) を変数とするトランスポート動作の推定式を提案した。

提案した推定式は、反復の多い作業時間の推定に有効であると考えられる。また、目的地への正確さの度合いを変数としているので、他の PTS 法のように判断の余地が少なく、既存の PTS における移動動作の定義をより明確にすることに役立つと考えられる。

今回の研究は、移動距離を10cm以上としたが、10cm未満のトランスポート動作時間については、今後の検討課題である。

Table 7 PTS 値と推定値との対照表

距離 PTS	エトリ	6	8	10	12	14	16	18	20	(φ mm)	
		推定値	0.364	0.438	0.320	0.305	0.294	0.284	0.276		0.269
10 (3.0)	MTM	0.317(M-C)									0.248(M-A)
	WF	0.360(1WF)									0.187(0WF)
	BMT PHT	0.368(M-B)									0.203
15 (5.6)	推定値	0.429	0.399	0.376	0.359	0.346	0.335	0.325	0.317		
	MTM	0.389(M-C)									0.311(M-A)
	WF	0.450(2WF)									0.290(0WF)
20 (7.9)	BMT	0.413(M-B)									
	PHT	0.533(M-C)									0.250
	際定値	0.481	0.448	0.423	0.404	0.388	0.376	0.365	0.356		
85 (9.8)	MTM	0.446(M-C)									0.367(M-A)
	WF	0.525(2WF)									0.285(0WF)
	BMT PHT	0.578(M-C)									0.289
30 (11.8)	推定値	0.527	0.490	0.463	0.442	0.425	0.411	0.400	0.390		
	MTM	0.506(M-C)									0.425(M-A)
	WF	0.585(2WF)									0.315(0WF)
30 (11.8)	BMT	0.480(M-B)									
	PHT	0.608(M-C)									0.354
	際定値	0.548	0.509	0.481	0.459	0.442	0.427	0.415	0.405		
35 (13.8)	MTM	0.496(M-B)									0.345(0WF)
	WF	0.568(M-C)									
	BMT PHT	0.510(M-B)									0.354
35 (13.8)	推定値	0.565	0.526	0.497	0.474	0.456	0.442	0.429	0.418		
	MTM	0.536(M-A)									0.368(0WF)
	WF	0.629(M-C)									
40 (15.7)	BMT	0.518(1WF)									
	PHT	0.675(M-C)									0.382
	推定値	0.588	0.547	0.517	0.493	0.475	0.459	0.446	0.435		
40 (15.7)	TMM	0.579(M-B)									0.374(0WF)
	WF	0.592(M-A)									
	BMT PHT	0.705(2WF)									0.408
40 (15.7)	推定値	0.570(M-B)	0.510(M-A)								
	TMM	0.548(1WF)									
	WF	0.689(M-C)									
40 (15.7)	BMT	0.705(M-C)									
	PHT	0.705(M-C)									

注

直線距離から手の移動軌跡距離を求めるために提案されている推定式は次のようなものがある。

(1) APPU KATTAN の式 [13]

$$S = D + \sqrt{D} \quad S : \text{軌跡距離 (cm)}$$

(2) 柏戸, 太田, 小川の式 [14] D : 直線距離 (cm)

$$S = 1.06D + 2.41$$

(3) 経験的に使われている式

$$S = D + 2$$

(4) 実験結果からの推定式

$$S = 1.02D + 1.55$$

Table 7 提案式による軌跡距離の比較 (cm)

直線距離	測定値	KATTAN	柏戸・太田	経験式	実験式
10.0	12.0	13.2	13.0	12.0	11.8
15.0	17.2	18.9	18.3	17.0	16.9
20.0	21.6	24.5	23.6	22.0	22.0
25.0	26.5	30.0	28.9	27.0	27.1
30.0	32.3	35.5	34.2	32.0	32.2
35.0	37.1	40.9	39.5	37.0	37.3
40.0	42.8	46.3	44.8	42.0	42.4

参考文献

- 1) 上田武人編：「WF 分析法」技報堂。pp.20~132 (1956)。
- 2) 日本インダストリアルエンジニアリング協会編：「IE 技報ハンドブック」pp.71~74, 善年 (1968)。
- 3) 横溝克己監修：「MODAPTS」(日本語版) 社会福祉法人日本キリスト教会奉仕団, pp.50~60 (1973)。
- 4) 林茂彦訳：「メソッドタイム設定法」, 技報堂, pp.57~84 (1966)。
- 5) 遠藤健児, 新宮哲郎, 坂崎春樹, 熊谷智徳著：「作業測定」, pp.259 (1968)。
- 6) Irmin Phillip Lazarus: A Study of Predetermined Human Work Times. Ph, D Thesis Purdue University, pp.78~81 (1952)。
- 7) Wayne J. Deegan: A Study of Hand Motion Using the Principle of the Kymograph IX. Investigation of Motion of the Right Hand-Transport Loaded, Stop and Change Direction. University of Iowa Studies in Engineering Bulletin 6, pp.37-51 (1935)。
- 8) 倉内伸二, 三島健, 黒川隆夫：前宛による高速位置決め動作の解析, 人間工学, pp.263-270, Vol. 16, No. 5 (1980)。
- 9) 宮代信夫：加速度波形からみた上肢運動の制御過程について, 日本経営工学会誌, pp.202-207, Vol. 36, No. 3 (1985)。
- 10) 井戸正敏, 加藤貞夫：動作時間特性の研究, 日本経営工学会秋季研究発表会予稿集 (1981)。
- 11) 池永謙一編：「WF 入門」, 日本能率協会, pp.77 (1965)。
- 12) 井戸正敏, 加藤貞夫：定置動作の構造と時間の研究, 日本経営工学会誌, pp.51-56, Vol. 37, No. 1 (1986)。
- 13) Appu KATTAN, GERALD NADLER: Equation of Hand Motion Path for Work Space Design. pp.123-129, *Human Factors*, Vol. 11, No. 2 (1969)。
- 14) 柏戸武夫, 太田 泰, 小川貴弘：Reach 動作の加速減速に関する研究, 第一報前方向の動作, 日本経営工学会春季研究発表会予稿集。

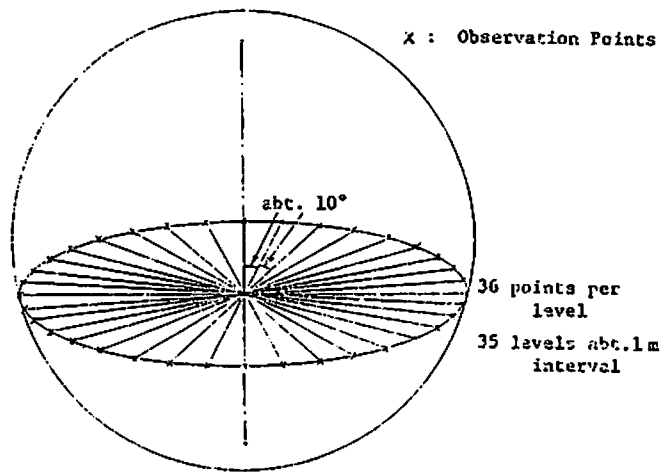


Fig. 4 Position & number of observation points

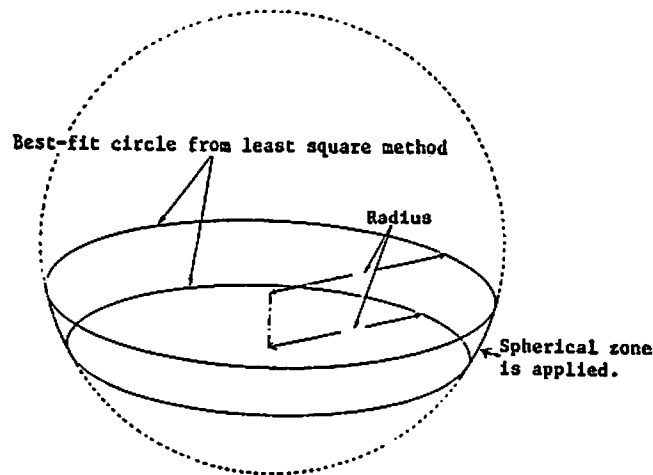


Fig. 5 Spherical zone of adjacent two levels

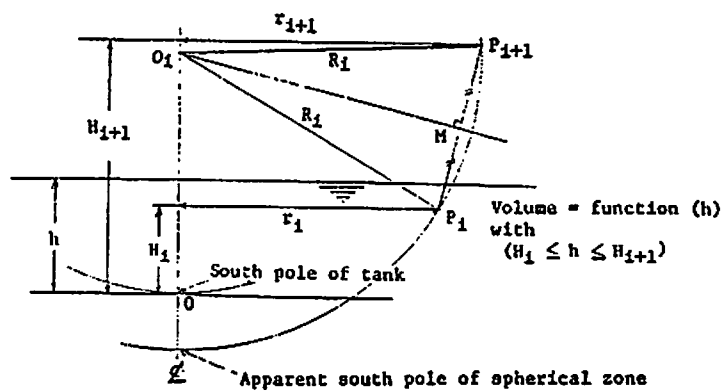


Fig. 6 Spherical zone to be applied between level H_1 and H_{1+1}