

三角型速度モデルに基づく Reach動作時間推定について

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)

27

(開始ページ / Start Page)

123

(終了ページ / End Page)

134

(発行年 / Year)

1991-02

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003892>

三角型速度モデルに基づく Reach 動作時間推定について

井戸正敏*

A Study on Estimate Method based on Triangle Model for Reach Motion

Masatoshi IDO

Abstract

From the result of the previous experiment investigated time estimate for transport motion, the triangle model is suggested in which the hand moved velocity pattern traced is made against W. F. Deegans one.

In this model, it is found that the acceleration period is influenced by the distance moved and the deceleration period is influenced by the terminal control level and the distance moved.

The purpose of present paper is to examine the characteristics of this model and then to discuss the experimental equation based on this model for the time estimate of reach motion. It is considered that the time required for reach motion is influenced by three major variables, namely, the distance through which it is moved, the terminal control level which is to be grasp an object, and the feeder method in which an object is feeded vertically and horizontally.

Experiment is executed by eight right-handed male students served as the subject. For this experiment, 24 combination of three distances moved, four terminal control levels and two object feeder methods are provided. The model task is to reach from start point to terminal point and then to grasp an object.

It is found that accelerated and decelerated time are influenced by the distance moved only, and decelerated time is not influenced by the terminal control level and feeder method. Furthermore, decelerated time equivalents to accelerated time. The experimental equation for the time estimate of reach motion is obtained through the result of this experiment by multiplying the equation for accelerated time by

two, though the equation of transport motion time is obtained by product of the accelerated time equation and the ratio function in which the variable is the terminal control level.

The characteristics of estimated values clarified lastly by comparison of the estimated time values with Methods Time Measurement (MTM), Detailed Work - Factor Analysis (DWF), and Human Performance Times (HPT).

§ 1. はじめに

本研究は、簡易な既定動作時間システムの開発を目的とした一連の研究である。手の移動動作は、時系列的にそれぞれ異なった空間で行われる動作を連絡する動作で、移動の目的により、ある空間に存在する物体に手を”伸す (Reach)”形態と、ある空間へ物体を手で”運ぶ (Move, Transport)”形態の動作がある。

前回は”運ぶ”形態の移動動作時間の推定法について検討を行ったので、今回は、”伸す”形態の移動動作時間推定について考察を行う¹⁾。

この二つの移動動作形態は、運ぶ物体の重量・抵抗の要因を除けば、移動の距離と方向、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推察される。

Reach 動作の終局動作は把握動作である。今までに、小物組立作業を想定し、把握動作の時間特性を検討した²⁾。その結果、把握動作時間は把握対象物体寸法とその物体の供給方法が時間値の影響要因であることが判明している。したがって、Reach 動作では手の移動の目的地に置かれた把握物体の大きさと、その物体の供給方法が目的地への正確さの度合い (Terminal Control Level, 以下TCLという) として考えられる。また、移動の方向は手の往復運動によって相殺され、作業全体では影響が小さいと考えられる。

ここでは、移動距離と目的地への正確さの度合を要因として、前回明らかにした移動動作の三角型速度モデルに基づき Reach 動作時間の推定を考慮する。

§ 2. 三角型速度モデル

W. J. Deegan は、手の移動動作に関して次の原理が存在することを発表している。³⁾「手や腕が、ある自由な動作をするとき、最初の40%の時間は加速し、次の20%の時間は等速となり、最後の40%は減速する」(Fig.1)。

そこで、通常の手の移動動作の速度データを移動距離と TCL⁴⁾ の二つの条件のもとで検討すると、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った。手の移動速度は、最高速度まで加速すると、その後は減速する現象であり、最高速度を区分点とする加速域と減速域とで構成

される三角型速度モデルであることを前回提案した (Fig.2)。

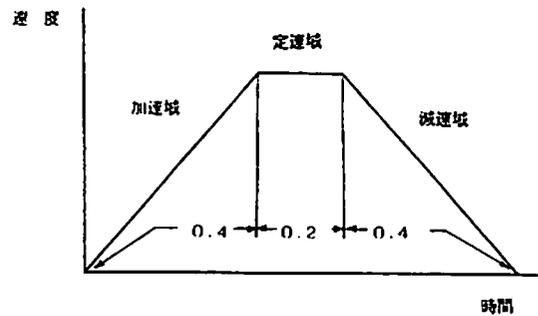


Fig.1 Deeganの移動動作の速度モデル

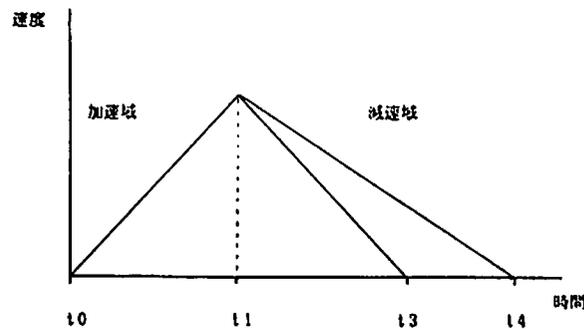


Fig.2 移動動作の三角型速度モデル

この三角型速度モデルは、最大速度に達するまでの加速域時間と、その後の移動動作終了までの減速域時間とに分けて検討した結果、加速域時間はTCLには影響を受けず、移動距離のみに依存し、減速域時間は移動距離とTCLに依存する特性であるというものである。このことは、移動距離を一定とした場合、最高速度は動作開始時点より一定時間後に出現し、TCLの影響は減速域時間のみ延伸させるという特性を有すると云うことができる。

注1) ここでのTCLは定置動作におけるユトリの大きさ。

§ 3. Transport 動作時間の推定

この三角型速度モデルにおいて、加速域の時間値に対する減速域の時間値の比率 (倍率) は、実験結果より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ので、Transport 動作時間の推定は式 (1) で可能となった。

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

ただし、 $f(d)$ は加速域時間の推定式

$f(R)$ はTCLから倍率を求める推定式

式 (1) は、移動作業をモデルとした実験の結果と、その後、追加した実験データとを合わせ式 (2), (3) としてもとめられた²⁾。

10≤d≤25cm の場合

$$T_1 = 5.309d^{0.417} (1 + 3.758R^{-0.482}) \quad (2)$$

25<d≤40cm の場合

$$T_2 = (13.968 + 0.241d) (1 + 3.758R^{-0.482}) \quad (3)$$

ただし d : 移動直線距離 (cm)

R : TCL (ユトリ) (mm)

§ 4. Reach 動作時間の推定

Reach 動作は基本的には Transport 動作と同じ特性を有すると考えられるので、同一の手続きによって、式 (1) のように求めることができよう。

4.1 Reach 動作時間の求め方

Reach 動作は把握動作の先行動作である。この把握の形態は把握する物体の供給方法と物体の把握寸法の大きさ（以下物体の直径という）に大きく影響を受け、把握動作時間の変動要因であることが判明している。したがって Reach 動作時間の変動要因として、移動距離と TCL とし、物体の直径と物体の供給方法を対象とした。供給方法は物体を供給台上に水平に置く水平供給と垂直方向に置く垂直供給の二方法とした。

これらの要因のもとで、Reach 動作の速度を測定すると、加速域と減速域だけで定速域は判然としなく、Transport 動作と同じ傾向がみられたので、Reach 動作の速度も図 2 に示した三角型速度モデルを近似的にあてはめ、その特性から Reach 動作時間の推定を考察する。

4.2 Reach 動作のモデル特性

三角型速度モデルにおいて、最大速度点で区分される加速域時間と、減速域時間に分けて考えると、加速域時間は移動距離が一定ならば、その距離の移動のみに費やされた時間となり、減速域時間は距離と TCL の影響を受け、その時間値は加速域時間値よりも増加するという考え方に基づき、次の実験を行い、このモデル特性の検討を行った。

4.2.1 実験の内容

作業者の前面作業台上直前にあるスイッチボタンに手を置き、移動目的地に置かれた把握対象物体に手を伸ばし、物体を把握する。把握後スイッチボタンに戻る途中、スイッチボタンの前面に 50×50mm の穴があり、そこへ物体を落としてスイッチボタンに戻る単純繰り返し作業をモデル作業とした。

実験条件は要因として移動距離 (A) を 10, 25, 40cm の 3 水準、把握対象物体は真鍮製円筒形ピンを対象とし、物体直径 (B) を 2φ×20, 4φ×20, 6φ×20, 8φ×20mm の 4 水準、対象物

体の供給方法 (c) を水平および垂直供給の2水準に設定した。

物体の供給方法のうち、水平供給では、ピンのコロガリを防止するためにピンを置く上下部分に、把握の障害にならないように配慮してU字型のコロガリ防止具をピン供給板上に取付けた。一方、垂直供給の場合は、直径20cmのエンピ製の円盤の縁に沿って把握に支障がない間隔で孔をあけ、その孔にピンを立て円盤を回すことにより把握の作業点へピンを供給するようにした。ピンの供給は両方法とも実験補助者が行った。

実験は、モデル作業の運動速度を測定し、対象としたReach動作における最大速度を求め、それを区分点としてReach動作の開始時から最大速度時までを加速域時間とし、その後のピンの把握時点までを減速域時間として、それぞれの時間値の測定を行った。

動作速度の測定は Fig.3 に示すような動作速度測定装置 (檜村製) を使用した。この装置は光半導体位置測定装置 (浜松フォトニクス製) とマイクロコンピューターシステムで構成され、LEDターゲットからのビームをビームセンサーヘッドが捉え、二次元の位置を計測する。位置の計測データは 10ms 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。基点に設置したマイクロスイッチの作動状況も取り込まれ、位置計測データに対応して出力される。LEDターゲットは被験者右手第二指上端甲部に装着した。

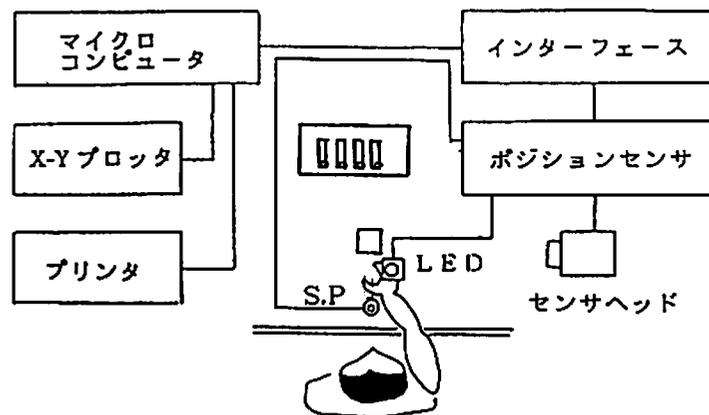


Fig.3 動作速度測定装置の概要

Reach動作の開始時点はマイクロスイッチの作動信号と動作速度、動作終了時点は把握動作の開始時点の動作速度とし動作を区分した²⁾。動作の区分速度基準は次のようである。

Reach動作開始 100mm/sec 以上に達する一つ前の速度時点

Reach動作終了 250mm/sec 以下に達した速度時点

以上の手続きにより、加速域時間および減速域時間はそれぞれの区分内の位置計測データの個数 (1個 10ms) から求めた。

被験者は右利き男子学生8名を採用した。実験に際しては十分に練習を行わせ、習熟効果を配慮し、さらに実験中は十分休憩を与えて疲労による影響も配慮した。実験は24通りの作業をMTMペースで、ランダムな順序で行った。

作業測定では、データを連続して測定し処理するので、作業開始後作業が安定する10サイクル目からの5サイクルの平均値を1個の実験データとし、被験者は繰り返しデータとした。

4.2.2 実験の結果と考慮

移動距離ごとの加速域時間を求めると Fig.4 に示すようにピン直径、供給方法に対し、ほぼ等しい値であった。分散分析の結果は、Table1 に示すように、距離要因 (A) のみが有意となり、ピン径 (B) および供給方法 (C) の要因は有意差が認められなかった。

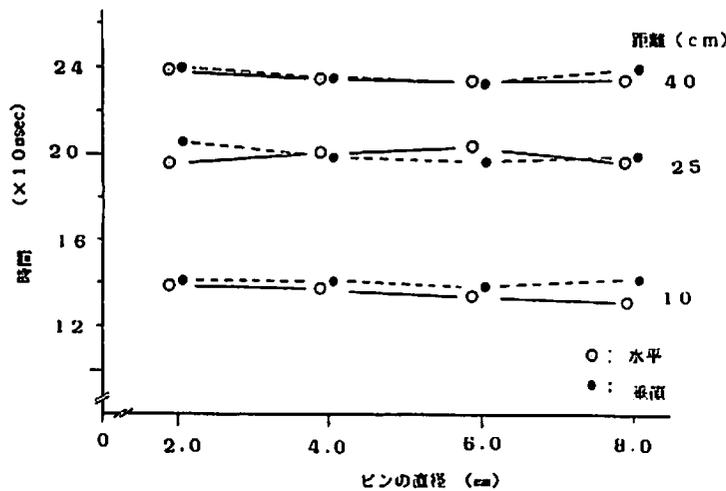


Fig.4 水平・垂直供給における加速域時間

Table1 加速域時間の分散分析表

要因	平方和	自由度	分散	分散比
A	3066.86	2	1533.43	1370.93 **
B	4.16	3	1.36	1.24
C	1.63	1	1.63	1.46
A × B	3.98	6	0.66	0.59
A × C	0.09	2	0.05	0.04
B × C	2.40	3	0.80	0.71
A × B × C	6.70	6	1.12	1.00
E	187.91	168	1.12	
T	3273.73	191		

また、減速域時間は Fig.5 に示すように、加速域時間と同様の傾向を示し、Table2 に示すように分散分析の結果、移動距離のみが有意となった。

Transport 動作の場合と同様の手続きにより、加速域時間に対する減速域時間の倍率を求めると、移動距離、ピン径、供給方法において、ほぼ等しく1の値を示した。Table3 に示すように分散分析の結果は距離、ピン径、供給方法とそれらの交互作用に有意が認められなかった。

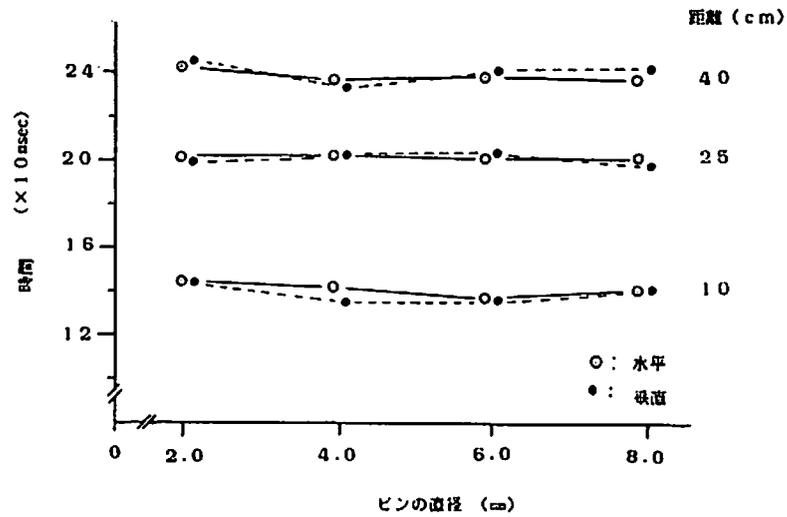


Fig.5 水平・垂直における減速域時間

Table2 減速域時間の分散分析表

要因	平方和	自由度	分散	分散比
A	3256.98	2	1628.49	1305.51**
B	7.09	3	2.36	1.89
C	4.13	1	4.13	3.31
A × B	5.14	6	0.86	0.69
A × C	0.27	2	0.14	0.11
B × C	1.54	3	0.51	0.41
A × B × C	4.02	6	0.67	0.54
E	209.56	168	1.25	
T	3488.73	191		

Table3 倍率の分散分析表

要因	平方和	自由度	分散	分散比
A	58.88	2	27.44	2.79
B	72.00	3	24.00	2.44
C	22.88	1	22.88	2.32
A × B	83.38	6	13.90	1.41
A × C	12.50	2	6.25	0.63
B × C	15.50	3	5.17	0.52
A × B × C	90.50	6	15.08	1.53
E	1654.25	168	9.85	
T	2009.89	191		

これらの結果から、Reach動作の加速域時間は移動距離のみに影響を受け、Transport動作と同じ時間特性を有するものと推察された。さらに、倍率に有意差が認められなかったことから、Reach動作時間は目的地への正確さの度合、物体の供給方法に影響を受けない特性であることが判明した。

4.3 Reach動作時間の推定

Reach動作時間は、三角型速度モデルにおいて、加速域時間と減速域時間が等しいという時間特性から加速域時間が移動距離に対して求められれば推定が可能となる。

Reach動作の加速域時間とTransport動作のそれとは同じ特性を有するので、それぞれの加速域時間に差異がなければ、Transport動作時間の推定式が利用可能となる。そこで、両動作の移動距離ごとの加速域時間の平均値を求め、分散分析を行った。結果はTable4に示すように、移動距離(A)が有意となり動作間(B)は有意差は認められなかった。このことはReach動作時間の推定はTransport動作時間の推定式の倍率が特定の場合であり、移動距離のみを変数とした推定式で求められることになる。

Table4 TransportとReach動作の加速域時間の分散分析表

要因	平方和	自由度	分散	分散比
A	800.72	2	400.36	922.96 **
B	0.75	1	0.75	1.73
A × B	1.36	2	0.68	1.56
E	18.22	42	0.43	
T	821.05	47		

Reach動作における平均倍率を求めると1.01となり、Reach動作の推定式はTransport動作の加速域時間の推定式を2.01倍すれば求められることになる。Transport動作は移動距離25cmを区分点として、二つの推定式で構成されているので、これに対応させ式(2)、(3)の加速域時間の推定式を2.01倍すると、Reach動作時間の推定式は式(4)、(5)のようになる。

10 ≤ d ≤ 25cmの場合

$$T_3 = 10.673d^{0.417} \quad (4)$$

25 < d ≤ 40cmの場合

$$T_4 = 28.076 + 0.484d \quad (5)$$

ここで、Reach動作時間の平均倍率1.01に対応するユトリの大きさをTransport動作時間の推定式(2)の倍率を推定する式(6)より求めると、R = 17.26となり、Reach動作時間はTransport動作時間のユトリ17.26の場合に相当することがわかる。

$$Y = 3.758R^{-0.462} \quad (6)$$

§ 5. 推定時間値の特徴

Reach 動作の推定時間と既存の PTS 法の時間値と対応させ、推定値の特徴を明らかにする。比較対象は、MTM (Methods Time Measurement), DWF (Detailed Work - Factor Analysis), HPT (Human Performance Times), である⁴⁵⁾。推定値は移動距離が2点間の直線距離で求めているので、MTMとの比較では、直線距離に対応させてMTMの時間値を求め、WF の場合には、WF 時間値を125%に調整した。

Fig.6にMTMと推定値の対応を示す。MTMは目的の条件によりケースに分類され、それぞれ時間値が与えられている。推定値は実験の結果明らかなように、時間値はTCLには影響を受けないことが明らかであったので、移動距離のみで時間値が与えられており、この点がMTMとの大きな違いとして特徴づけられる。時間値を比較すると、20cmまではR-Bに近似しているが、それ以後は大きくかけ離れ、R-Aに接近する傾向である。MTMは各ケースとも距離に対し直線的増加傾向であり、推定値も25cm以後は直接回帰であるが、単位当りの増分が著しく異なっていることがうかがわれよう。

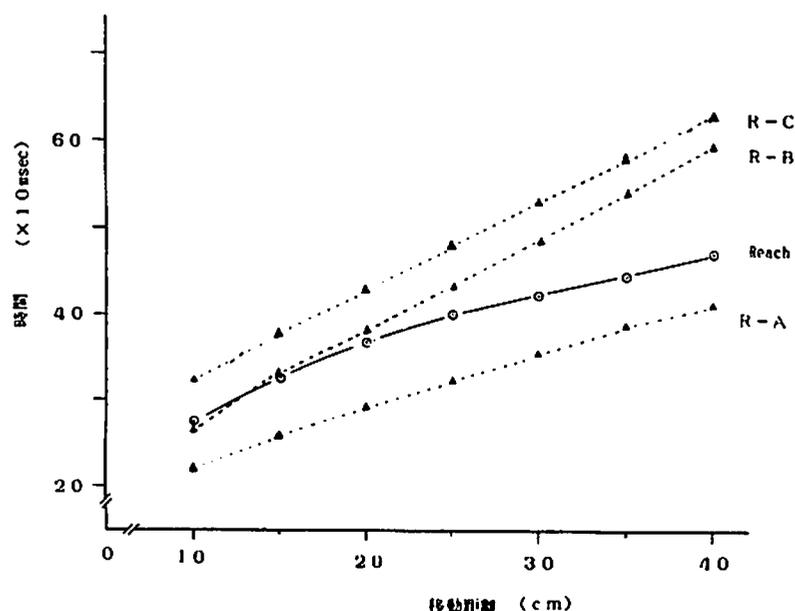


Fig.6 MTMと推定値との比較

WFとの比較では、WFにおける腕(A)の時間値と推定値との対応をFig.7に示す。WFは手を伸す動作の場合、A-D, すなわち1WFで分析されるので、時間値の推定手続きは、推定値の場合と似ているという特徴がある。1WFの時間値と推定値を比較すると、WFは全体的に距離に対し指数曲線的増加傾向を有し、20cm以後から推定値との差が拡大傾向にある。したがって、推定値は1WFとOWF(基礎)との中間的値となっている。

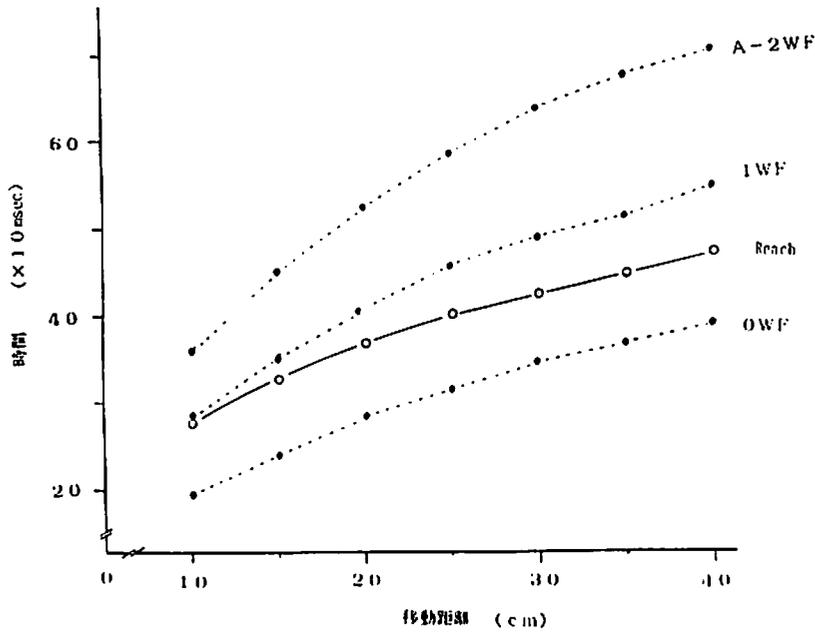


Fig.7 WF と推定値との比較

HPTは前述のDeeganの移動動作に関する原理をI. P. Lazarusによって物理学上の運動方程式にあてはめられ、動作の距離と時間に関する一般式として作成され¹²⁾、M. E. Mundelと協同で開発された時間推定システムである⁷⁾。

J. H. Quick等によれば、H. P. TとWFとはシステム作成上の手続きは全く異なるが、WFの時間値を公式化すると式の形としてはLazalusのものとは変わらないとしている⁹⁾。両者を比較すると、移動距離に対し共に指数曲線的時間の増加傾向は類似しているが、時間値は著しく異なっている。

Fig.8に示すように推定値とHPTとを対応してみると、それぞれ動作の速度モデルは異なっているが、移動距離に対する時間値の増加傾向は非常に類似していることが大きな特徴といえよう。

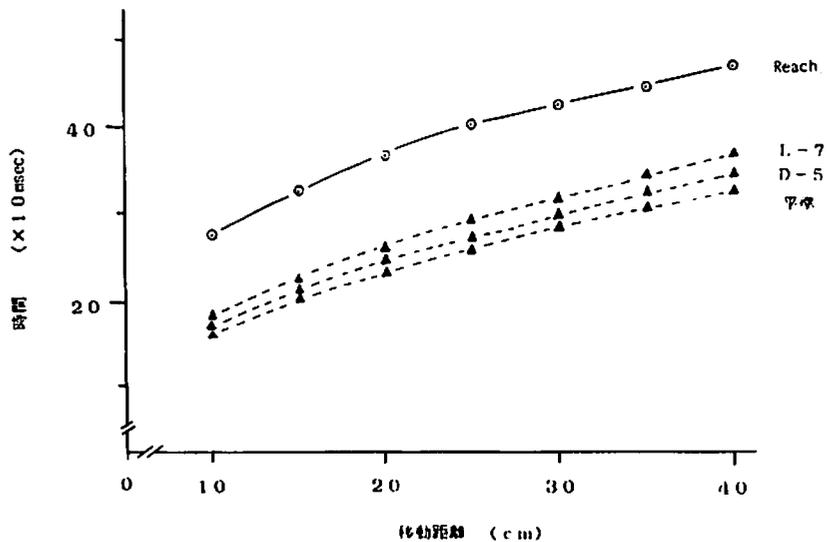


Fig.8 HPT と推定値との比較

HPT の時間値は難度調整係数によって多様に求められるが、実験対象として推定値を求めた動作条件に合致する条件でのHPTの推定値は、TEのD-5のL-7（難度調整係数のうち、使用身体部位の腕：D-5、さらに、目と手の調整の注意深く、かなり集中：L-7）とした。L-7はかなりコントロールが高い場合の時間値であるが、WFのOWFに近似し、対象システムの中では一番小さな時間値を示していることになる。

§ 6. おわりに

手の移動動作時間の推定に動作速度の三角型モデルを提案し、その特性を明らかにすることにより、時間推定の方法を検討した。

今回、対象としたReach動作は、Transport動作と同様に三角型速度モデルに基づいて時間値の推定が可能となった。Reach動作では、TCL、物体の供給方法に影響を受けず、移動距離のみの要因によって時間値が推定されることになる。しかも、Transport動作時間の推定式におけるユトリが特定の場合に相当し、同一の推定式から推定が可能となった。Reach動作は目的の条件に係わりなく、時間時の推定ができるという大きな特徴をもっている。

提案した推定式の適用は、移動距離が10cmから40cmまでの範囲にとどまるので、10cm未満のReach動作時間の推定については、今後の検討課題である。

参考文献

- 1) 井戸正敏：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、法政大学工学部研究集報第26号, PP 233 ~ 248, (1990年)
- 2) 井戸正敏, 加藤貞夫：把握動作時間の研究, 日本経営工学会誌, PP 314 ~ 319 Vol38, No.5, (1987)
- 3) Wayne J. Deegan : A study of Hand Motions Using the Principle of Kymograph IX. Investigations of the Motion of the Right Hand Transport Loaded, Stop and Change Direction. University of Iowa Studies in Engineering Bulletin 6, PP 37 ~ 51, (1935)
- 4) 林茂彦訳：「メソッドタイム設定法」技報堂, PP 57 ~ 84, (1966)
- 5) 上田武人編：「WF分析法」技報堂, PP 131 ~ 146, (1956)
- 6) M. E. マンデル：「動作・時間研究の理論と実際」(山内二郎監訳) 紀伊国屋書店、PP 629 ~ 632, (1961)
- 7) Irmin Phillip Lazarus : A Study of Predetermined Human Work Times. Ph,D Thesis Purdue University, PP 78 ~ 81, (1952)

8) 池永謹一 : 「作業研究」森北出版, PP 182 ~ 184, (1987)

注2)⁹⁾

一つの動作が一定の加速度のもとで行われる場合には、次の関係が成り立つ。

加速度での移動距離 $l_1 = V_1 t + \frac{1}{2} a t^2$

等速度での移動距離 $l_2 = V_c t$

減速度での移動距離 $l_3 = V_c t - \frac{1}{2} a t^2$

ただし, V_1 : 始点の速度, V_c : 等速度, t : 各経過時間, a : 一定の加速度.

L を一つの動作の総移動距離とすれば、

$$L = l_1 + l_2 + l_3 = (V_1 t + \frac{1}{2} a t^2) + (V_c t) + (V_c t - \frac{1}{2} a t^2) \quad (1)$$

ここで、総時間を T とし、加速度部分 40%、等速度部分 20%、減速度部分 40% を式 (1) に代入すると式 (2) となる。

$$L = [V_1(0.4T) + \frac{1}{2}a(0.4T)^2] + [V_c(0.2T)] [V_c(0.4T) - \frac{1}{2}a(0.4T)^2] \quad (2)$$

手の運動の初速 $V_1 = 0$ とする。第 2 項の V_c は第一項の終時点速度と同一となり、これを V_f とすれば、 $V_f = at$

ところが、第 1 項における $t = 0.4T$ から、 $V_f = a(0.4T)$ となり、第 3 項の V_c と一致するから、 $V_f = V_c = a(0.4T)$ となる。

これらの関係から式 (2) を整理すると式 (3) となる。

$$\begin{aligned} L &= [0 + \frac{1}{2}a(0.4T)^2] + [a(0.4T)(0.2T)] + [a(0.4T)(0.4T) - \frac{1}{2}a(0.4T)^2] \\ &= 0.24aT^2 \end{aligned} \quad (3)$$

微細な動作時間研究の結果から、普通の作業動作における加速度は毎秒約 655 ヤード、つまり毎分 $1,415 \times 10^3$ インチであるとして、

$$L = 0.24 \times 1,415,000 \times T^2$$

$$T = \sqrt{\frac{L}{339,600}}$$

ただし, L : 移動距離 (インチ) T : 動作時間 (分)