

身体特性を考慮した歩数による歩行動作時間特性

井戸, 正敏 / IDO, Masatoshi

(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)

38

(開始ページ / Start Page)

23

(終了ページ / End Page)

26

(発行年 / Year)

2002-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003779>

身体特性を考慮した歩数による歩行動作時間特性

A STUDY ON CHARACTERISATION OF WALKING-MOTION TIME THROUGH WORKERS HEIGHT AND STEP LENGTH

井戸正敏^{*}
Masatoshi IDO

This paper presents an estimation method for working-motion time using step length and height of the observed human being. In cellular manufacturing systems, there always exists walking motions during performance of jobs. The experimental studies reveal that during the walking the step lengths are unstable in the beginning and at the end of the walking. It is almost constant in the middle steps during same walking. Another important fact is that there exists deep correlation between step length and height, furthermore step length and step time are also correlated, however the step time and step length vary among the individuals. Based on the above characteristics walking motion time can be estimated by using workers height and step length as parameters in an equation.

Key words : work measurement, cellular manufacturing, walking-motion time, step length

1. はじめに

変種変量や極少量生産が伸展するなか、情報処理機器と結びついた機械中心の自動化から、近年、APS (Anthropocentric Production System) あるいは HPS (Human Centered Production System) に見られる人間の創造性・感性あるいは仕事のやりがい、技能の見直しを含めた新たなモノ作りの指向が展開されてきている。

このような生産システムでは、Job redesign やセル生産に見られるように、作業は集約化され一般の組立生産では、作業形態が椅座位作業から歩行を伴う立位作業に転換されてきている[1~3]。

また、作業現場では、作業時間の管理は作業者の自主的管理に委ねられる傾向にあり、作業改善の評価として、あるいは、作業者が自分自身の作業時間の管理を容易にできるような簡単な作業時間設定の方法が求められている。すなわち、専門的な知識や技術を必要とせず、標準時間として各作業者を規制せず、評価をするための基準となるような作業時間を容易に求められる方法である。

このような環境のもとでは、作業時間は作業者の身体特性を考慮し、作業者に適応した作業時間が設定されることが望ましいと考える。

そこで、このような考え方に立ち、歩数を数えることによる歩行動作時間の推定法について考察を行う。

^{*}経営工学科

これまで標準時間の設定を主眼として作業における歩行動作時間は、標準歩幅による1歩に時間を与え歩数から設定する方法[4,5]、単位歩行距離に時間値をあたえて歩行距離から求める方法等がある[6,7]。

多くの場合、歩行動作は踏み出し足に遅れ足を揃えて終了する。また、歩行距離は踏み出し足の着地点で決まり、遅れ足を踏み出し足に揃えるための移動距離は、歩行距離には含まれない。歩幅を単位として求める前述の踏方法な中には、歩行の定義が不十分で分析上実情に則しないものがある。また、歩幅は身長による差異が大きく、標準歩幅の設定には問題がある。

既存のPTS法では、歩行動作は作業管理上望ましい動作とされず、手腕動作ほど精緻化されておらず、分析対応は十分とは言えない。MTM法では、一定速度の歩行動作であり、加速・減速が考慮されていない等問題点の指摘がある[7]。

2. 歩行動作の構造

歩行は、左右の下肢により立脚期・遊脚期・重複期から成るサイクルを繰り返す、体幹を移動させる動作であり、一步は、一方の足の踵の接地時より、他方の足の踵の接地時までをいい、この移動距離を歩幅という[8]。

平面床での歩行動作を観察すると、一步の移動、2歩の移動、3歩の移動、n歩の移動に区分できる。通常歩

行とは呼ばれる歩行は、 n 歩の移動のことであり、 n 歩の移動は、 n 歩目が遅れ足となり $n-1$ 歩目の踏み出し足に揃える動作となり、 $n-1$ 歩分体幹を移動する動作である。ここでは、通常歩行を対象とし、両足を揃えた状態から開始し揃えて終了するまでを歩行動作とする。

歩行動作には、歩行開始と終了時には、加速と減速の区間があり、その中間には一定速度の区間が存在すると考えられる。このような速度構造を有するには、4歩以上の歩行動作となる。したがって、歩数から見た歩行動作は、定速区間を有する歩行動作とそうでない歩行動作に区別される。

3. 歩数による歩行動作時間の推定方法

歩行動作は、加速、定速、減速のそれぞれの区間では、歩幅は一定ではなく変化し、個人によっても異なる。しかし、それぞれの歩幅は身長との相関が高いと考えられる。また、歩幅とそれに要する時間(1歩時間)も相関が高いと推察される。

そこで、これらの特性が明らかとなれば、身体特性を考慮した時間推定が可能となる。

ここでは、一連続歩行動作において同一歩幅の歩行を識別し区分けを行い、その区分帯ごとに身長から歩幅を推定する回帰式を得る。また、同様に同一歩時間についても識別し区分けを行い、その区分帯ごとに歩幅から歩時間を推定する回帰式を得る。この区分帯ごとに得られた回帰式に、身長から歩幅を得る推定式を代入し、この区分帯での歩数を乗じ、総和を求めれば、身長と歩数を変数として、歩行動作時間の推定式が得られる。

4歩以上の歩行動作は、定速区間の歩数が繰り返されることになるので、その区分帯の推定値のみ延伸すれば推定が可能となる。

3.1 歩行動作時間の実験内容

歩行開始点に白線を引き、そこに両足を揃えた状態から、歩行を開始し、10歩の直進歩行を行い、両足を揃えて終了する歩行動作をモデル作業とした。

歩行動作時間の測定は、荷重スイッチシステム装置((株)ディケイエイチ製)を使用した。感圧抵抗素子(FRSセンサー)を被験者の両足の踵および爪先に対応する靴の裏面にそれぞれ装着し、センサーの動作信号をコンピュータに取り込んで測定を行った。

歩行動作時間の測定点は、踏み出し足の踵か爪先の早い方の離地時点から、遅れ足の踵か爪先の最終着地時点までとした。測定時間単位は10msである。

歩幅は、靴の裏面に白色粉末剤を塗布し、足跡を付け、一方の踵から、他方の踵までの距離を測定した。一歩ごとの動作時間は歩幅に対応している。

被験者は男子学生6名を採用した。歩行ペースを習得するためにMTMペースで十分訓練した。被験者の身体は 172.3 ± 8.62 cmである。

3.1.1 歩行動作における歩幅による歩行区分

10歩歩行における各歩ごとの歩幅の結果は、歩行開始時の1歩目から3歩目までは歩数の増加に伴い順次拡大した。その後の3歩目から8歩までの歩行の間では、ほぼ一定の歩幅となり、その歩幅は2歩目の歩幅より大きく、歩行中最大の歩幅が維持された。歩行終末期の9歩目は、2歩目の歩幅に近似し縮小した。10歩目は、遅れ足となり9歩目の踏み出し足に揃える歩行動作となるので、歩幅は9歩目と等しくなる。このような歩幅の変化は、どの被験者においても同じ傾向が示された。

そこで、被験者と歩幅を要因として二元配置の分散分析を行なった結果、各要因とも有意差が認められた。歩幅は個人差が有ることが明らかとなった。

そこで、歩幅要因について水準間の検定を行った結果、第1歩目は他の歩幅と有意な差が認められた。第2歩目と第9歩目とは、有意差は無く、他の歩幅とは有意な差が認められた。第3歩目-8歩目は有意差は認められなかった。第10歩目は遅れ足となり第9歩目の合わせ動作となり第9歩目の歩幅と同一であるので水準から外した。したがって、(第1歩)、(第2、9、10歩)、(第3-8歩)のそれぞれの区分帯では歩幅には差が無いことが明らかとなった。

10歩歩行動作における歩幅は、この3区分帯で構成されていることになる。

3.1.2 歩行動作における1歩時間による歩行区分

次に、各歩数ごとの1歩時間の結果を見ると、1歩目が10歩歩行動作の中で最大時間となり、歩行初期の1歩から3歩目までの1歩時間は漸次減少した。その後の中間歩行では、歩幅と同様に3歩目から8歩目までは、ほぼ一定の時間が維持された。歩行終末の9歩目は歩行停止の制御により中間歩行時の時間よりやや時間が大きくなった。最終歩である10歩目は、遅れ足となり9歩目の踏み出し足にそろえる歩行動作となるので9歩目の歩幅に等しいが、その時間値は10歩の歩行動作の中で最小時間値となった。これら10歩の歩行動作における1歩時間の変化は、どの被験者においても同じ傾向が示された。

歩幅と同様に、被験者と1歩時間を要因として二元配置の分散分析の結果、各要因とも有意差が認められ、当然、1歩時間においても個人差が有ることになる。

これらのことから、個人ごとの身体特性を考慮して、歩行動作時間を推定することになる。

そこで1歩時間要因について水準間の検定を行った結果、第1歩目は他の歩数の時間とは有意な差が認められた。第2歩目と第9歩目とは、有意差は無く、他とは有意な差が認められた。第3歩目-8歩目と第10歩目は有意差は認められなかった。

この結果から、1歩時間は、(第1歩)、(第2、9歩)、(第3-8歩)、(第10歩)の4区分帯で構成されていることが明らかとなった。

なお、10歩歩行動作を速度変化で見ると加速域は、第1歩目と第2歩目、定速域は第3歩目から第8歩目ま

で、減速域は第9歩目と第10歩目であると推察された。

以上のことから歩行動作時間の推定は、(第1歩)、(第2、9)、(第3-8歩)、(第10歩)の4区分帯で検討することになる。

3.1.3 身長と歩幅の関係

上記で求めた歩幅の3区分帯ごとに、身長と歩幅の関係を見ると(図1)、身長が大きければ歩幅も大きくなり、相関が高いことが分かった。

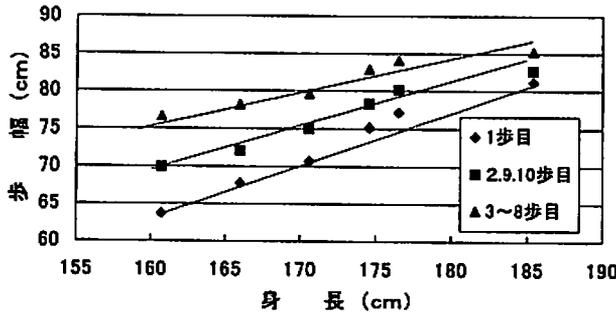


図1 各区分帯ごとの身長と歩幅の関係

そこで各区分帯ごとに身長を変数として歩幅を求めるために回帰分析を行った。

回帰分析の結果、身長(h)による歩幅(z)の推定は、(第1歩)では式(1)で、(第2、9、10歩)では式(2)で、(第3-8歩)では式(3)で推定可能であることが明らかとなった。

$$Z_1 = 0.720 h - 51.60 \quad (\text{cm}) \quad (1)$$

$$Z_2 = 0.538 h - 16.70 \quad (\text{cm}) \quad (2)$$

$$Z_3 = 0.422 h + 8.01 \quad (\text{cm}) \quad (3)$$

ただし、 Z_1 : 第1歩目の歩幅

$$63.7 \leq Z_1 \leq 81.2 (\text{cm})$$

Z_2 : 第2、9、10歩目の歩幅

$$69.6 \leq Z_2 \leq 83.2 (\text{cm})$$

Z_3 : 第3-8歩目の歩幅

$$75.8 \leq Z_3 \leq 85.6 (\text{cm})$$

h : 身長 $160.0 \leq h \leq 185.0 (\text{cm})$

3.1.4 歩幅と一歩時間の関係

歩幅とその歩幅に対応した一歩時間の関係を上記の4区分帯ごとに見ると(図2)、各区分帯においては歩幅が大きければ、それに費やされる1歩時間は大きくなり、高い相関が見られた。そこで各区分帯ごとに歩幅を変数

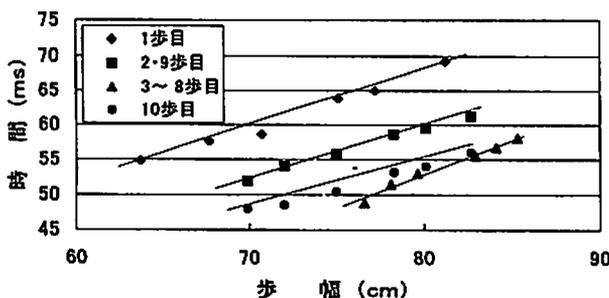


図2 各区分帯ごとの歩幅と時間の関係

として1歩時間を求めるために回帰分析を行った。

各区分帯ごとの回帰分析の結果、歩幅による(第1歩)の1歩時間(t_1)は式(4)で、(第2、9歩)の1歩時間(t_2)は式(5)で、(第3-8歩)の1歩時間(t_3)は式(6)で、(第10歩)の1歩時間(t_4)は式(7)で推定が可能であることが明らかとなった。

$$t_1 = 0.826 Z_1 + 1.545 \quad (1/100\text{sec}) \quad (4)$$

$$t_2 = 0.760 Z_2 - 2.120 \quad (1/100\text{sec}) \quad (5)$$

$$t_3 = 0.921 Z_3 - 20.428 \quad (1/100\text{sec}) \quad (6)$$

$$t_4 = 0.632 Z_2 + 3.300 \quad (1/100\text{sec}) \quad (7)$$

ただし Z_1 : 第1歩目の歩幅

$$63.7 \leq Z_1 \leq 81.2 (\text{cm})$$

Z_2 : 第2、9、10歩目の歩幅

$$69.6 \leq Z_2 \leq 83.2 (\text{cm})$$

Z_3 : 第3-8歩目の歩幅

$$75.8 \leq Z_3 \leq 85.6 (\text{cm})$$

3.2 歩行動作時間の推定

それぞれの区分帯ごとに求めた、歩幅を変数として一歩時間を求める式(4)から式(7)に、身長から歩幅を求める式(1)から式(3)それぞれ変数に対応して代入し整理すると(第1歩)、(第2、9歩)、(第3-8歩)、(第10歩)ごとのそれぞれの1歩時間の推定式が式(8)式(9)式(10)式(11)として得られる

$$t_1 = 0.595 h - 41.077 \quad (1/100\text{sec}) \quad (8)$$

$$t_2 = 0.409 h - 14.812 \quad (1/100\text{sec}) \quad (9)$$

$$t_3 = 0.389 h - 13.051 \quad (1/100\text{sec}) \quad (10)$$

$$t_4 = 0.340 h - 7.254 \quad (1/100\text{sec}) \quad (11)$$

ただし、 h : 身長 $160.0 \leq h \leq 185.0 (\text{cm})$

そこで、各区分帯内の歩数分対応式を付加し整理すれば定速域をもつ10歩歩行動作時間が、身長を変数として推定可能となる。ここで求められた推定式は、歩数が10歩と制約される。そこで10歩を越える場合の歩行動作時間の推定法を求める。

10歩歩行動作時間の分析結果から、歩行動作は加速区間と定速区間と減速区間の3区間で構成されていることが明らかとなった。

10歩以上の歩行動作は、この3速度区間のうち定速区間の歩行が繰り返されることになる。このことを考慮すると、 n 歩の歩行動作では、($n-4$)歩が定速区間の歩行動作となる。

そこで、 n 歩の歩行動作時間(T_n)は、式(12)として、次のように求めることができる。

$$T_n = [(n-4) \times \text{式}(10)] + [2 \times \text{式}(9)] + \text{式}(8) + \text{式}(11) \quad (12)$$

式(12)に、式(8)、式(9)、式(10)および式(11)を代入し整理する。

n 歩の歩行動作時間は、歩行者の身長と歩数を変数として式(13)より推定が可能となった。

$$T_n = \{ (0.389 h - 13.049) \times n + 0.199 h - 25.764 \} \times 1 / 100 \quad (\text{sec}) \quad (13)$$

ただし、 n : 歩数 $n \geq 4$
 h : 身長 $160.0 \leq h \leq 185.0$ (cm)

4. 既存の設定法と推定式との比較

MTMおよびWFと比較検討を行うことにより、提案した推定式の特徴を明らかにする。MTMでは、正常歩行の歩幅 85cm、WFでは通常歩行での歩幅を 76cm と規定している。これらの歩幅から式 (3) により身長を推定すると、MTMでは 182.5cm となり、WFでは 161.2cm となる。日本人成人男子 20 歳代の身長は、 170.3 ± 3.8 cm (年代が増すと低下)であり、かなりの差が見られる [9]。

下肢動作は手腕動作に比べ個人差が大きく、それが下肢動作時間にも大きく反映される。このことは身体特性を考慮する必要性を示唆するものである。

MTMやWFでは、歩行距離をそれぞれ指定された歩幅で除して歩数を求める。したがって、歩数による歩行時間の比較は、歩数の数え方の違いにより、推定法がMTMやWFより 1 歩分歩数が少なくなり対比は出来ない。当然、歩行距離もMTMやWFよりも短くなる。

そこで、歩行距離を同一にして歩行動作時間の比較を行う。歩行距離を 5m とすると、MTMにおける歩数は、6 歩とり、WFでの歩数は 7 歩となる。

MTMは、W6P (TMU) として、WFでは、 $120 + 80 \times 7$ (WFU) として分析され歩行動作時間が求められる。推定値はそれぞれの歩幅から推定された身長により式 (9) より求める。

分析結果は、MTM分析では 3.24 秒、WF分析では 4.08 秒 (MTMベースの換算値 5.10 秒)、推定値は 4.03 秒となった。推定値とMTMと比較すると 20%の時間値の差がある。この差異は、MTMが定速歩行を対象として設定された時間値であり [6]、歩行開始および終了時の加速・減速時の歩行時間特性が考慮されていない結果によるものと推察される [8]。

WFでは、加速・減速の効果を定数項として考慮されているので、推定値と近似するよう見えるが、推定値と同一作業ペース (MTMペース) に換算して比較してみると約 25%程度推定値より大きな時間値となる。

歩行距離を歩幅で除して求めた歩数に、遅れ足を踏み出し足に合わせる 1 歩時間を加味してもMTMとの差異は依然として大きく、WFではさらにその 1 歩分差異が拡大する。

このように比較してみると推定値は、MTMとWFとの中間的な時間値を推定する特性であると言える。

また、このように歩行動作を分析してみると MTM、WF共に歩行の開始および終了時の踏み出し足と遅れ足の状態の定義が不十分であり、歩行距離を歩幅で除して求めた歩数は、歩行終了時の下肢の状態を考えると大変不自然であると言わざるを得ない。

提案した推定法は、歩行動作の特性を考慮し、実際の歩行動作に即した歩行動作時間値を推定していることが特徴付けられる。

5. おわりに

身体特性を考慮し実際の歩行に則した歩行動作時間を推定する手続きを示した。ここでは、歩行動作を明確に定義した。

これらの推定式を用いれば容易に作業者に適応した歩行動作時間を求めることが可能となる。

自律的な生産システムが導入される中で、歩行を伴う立位作業では、作業者の身体的特性を考慮して、作業面高、作業域とその領域内の部品、工具、仕掛品、完成品の配置等の作業環境の設定やその環境下での作業時間やワークステーション間の移動時間等が設定されることが望ましい。推定式は、このような作業システムの設計に有効であると考えられる。

昨今のコンピュータ・マネキンによる作業システムの評価・設計にも活用の可能性は高い [10]。

提案した推定式から得られる推定値は、作業者の身長特性に依拠した歩行動作時間である。

管理データとして、標準時間を設定する場合は、標準身長 (例えば、対象職場での平均値等) から標準歩幅を推定し、推定式から歩行動作時間を設定することになる。その場合、標準身長より低い作業者には余裕率を考慮する必要がある。

参考文献

- [1] 門田安弘：「トヨタの現場管理」(第 15 刷)，日本能率協会マネージメントセンター，pp.173-203, 1995
- [2] 日本インダストリアル・エンジニアリング協会「IE レビュー」特集セル生産方式の課題と展望，pp.15-62, Vol.40, No.4, 1999
- [3] 斎藤むら子：「職場環境における人間行動—受動的行動から能動的行為へ—」，日本人間工学会誌，pp.287-295, Vol.34, No.6 1998
- [4] 上田武人編：「WF分析法」(5 版)，技報堂，1956
- [5] 坂崎春樹，八田一利：「歩行時間の標準に関する研究 第一報 成人男子の正常歩行」日本経営工学会秋季研究発表会予稿集，pp.194-195, 1982
- [6] 林 茂夫訳：「メソッドタイム設定法」(4 版)，1966
- [7] 井戸正敏，加藤貞夫：「歩行動作時間の推定法に関する研究」，日本経営工学会誌，Vol.46, No.6, pp.550-5569, 1959
- [8] 熊谷智徳：「メソッドエンジニアリングに関する研究 (1) 一歩行時間について—」，日本経営工学会誌，pp.33-36, No.19, 1996