

オペレータの心拍数からみた仕事量の推定

遠藤 俊三・西村 功*・笹尾 彰

On the Estimation of the amount of Work required for Operating the Agricultural Machines

Shunzo ENDO, Isao NISHIMURA, Akira SASAO

The estimation of the amount of work of a tractor and combine operator is prerequisite to designing and manufacturing of those machines. But the amount of work depends entirely upon the variable loads to the machinery changed by various kinds of the conditions of the crops, soil, and climate etc. Therefore, the direct measuring of the amount of work is usually difficult. The following experimental results used to estimate the amount indirectly.

- 1) Pulse rate increased greatly for 1 minute from the start of the experiment and the increasing rate was slow.
- 2) The increasing rate was parallel to R. M. R.
- 3) Between the pulse rate and R. M. R a close correlation existed.
- 4) Between the consumption of oxygen by operator's breathing and the pulse rate, a quadratic relation was recognized.
- 5) Also the relation between the pulse rate and the quotient obtained by dividing the oxygen consumption by the body surface area of an operator was quadratic.
- 6) The working efficiency had one point of maximum value for the increasing R. M. R.
- 7) The pulse rate of an operator under working in the field must be measured. From the afore-mentioned results, obtained previously in the laboratory, the working amount can be estimated.

I. 緒 言

トラクタやコンバインなどの大形農業機械を使用するとき、農業機械にかかる負荷は、その対象とする作物や走行する土壌、あるいは天候条件、使用方法などによって大きく変わり、それら変化する条件を予測して負荷を制御することは困難である。これら外的条件によって変化する負荷に即応して、農業機械の操縦量や操作量を自動的に制御することが望ましいが、現在のところ、これらはほとんどオペレータの経験による手動に頼っている。これら操縦量、操作量は絶えず外的条件によって変化し、すべて、オペレータに操縦仕事、操作仕事として負荷されている。これらの仕事量の大きさを知ることができれば、農業機械の設計製作上からも、また利用改善の面からも有利なことが多い。

この目的のために、以下にのべる方法によって、作業中の農業機械オペレータの仕事量を推定する方法を、室内における実験結果を用いて考察する。

*神戸大学農学部

II. 実験方法

室内においてオペレータの仕事量, エネルギー消費量, 心拍数を測定する装置の概略を Fig. 1 に示す.

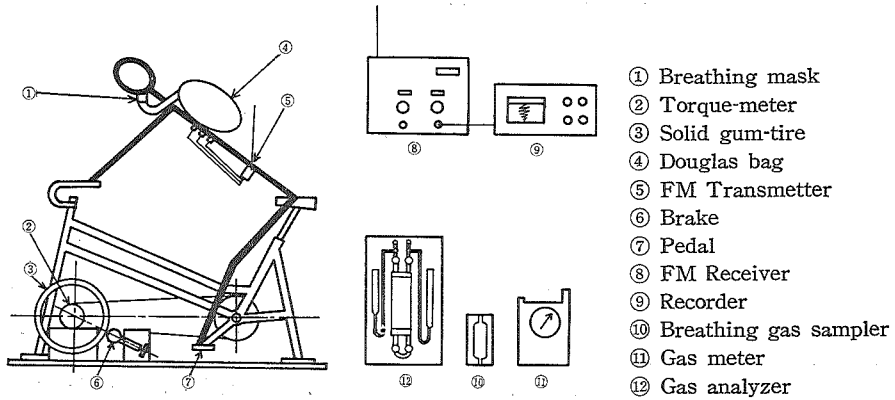


Fig. 1. Schematic diagram to measure the working rate of the operator

オペレータに一定の負荷を与える装置は, Rehabilitation 訓練用自転車に改良したもので, 被験者(オペレータ)は一定速度でペダルを踏むことによって, ブレーキ制動量に応じたトルクを発生させ, それを計測して負荷の仕事量とするものである. 鋳鉄製プーリーをねじを締めつけて, ソリッドゴムタイヤに押しつけることによって, 摩擦抵抗による負荷を任意に与えることができるようになっている. トルクメータは, ねじりばね式動力計で, トルクに応じたスプリングの変位が, スリット間に白色のマークをあらわすようになっている. この白色のトルクマークを, ストロボスコープで同期させて, 35 m/m カメラで撮影し, 現像したネガフィルム上のトルクマークからトルク値を読み取り, 平均してそのトルクとした.

足踏みペダルのついているクランクギヤとトルクメータ軸のギヤとは, 2.42 のギヤ比があ

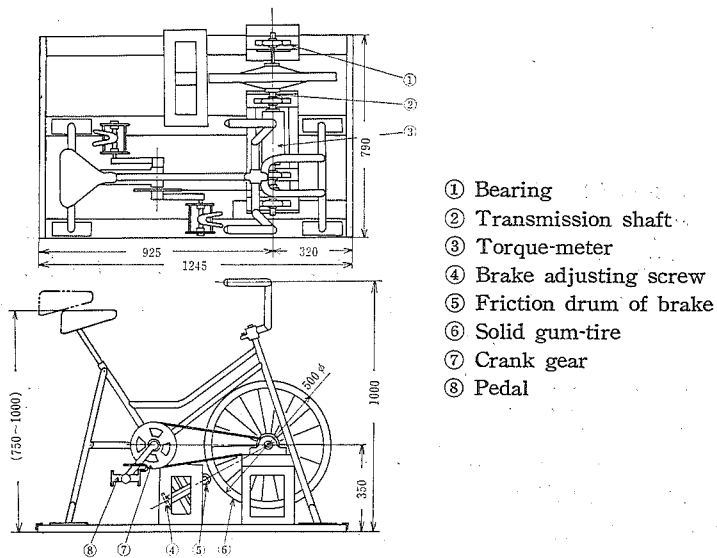


Fig. 2. Rebuilt bicycle to the load meter

り、チェーンによって連動されている。

オペレータは、メトロノームの拍子に合わせてペダルを踏むようにし、この実験では、予備試験の結果から 82拍/分に合わせた。この際にはクランク軸の回転数は 41 r.p.m となる。クランク軸とトルクメータ軸（負荷軸）との間に動力伝達の損失は、無視できるものとする、クランク軸にかかる動力とトルクメータの読みとの間には

$$PS = 0.142 T$$

PS：クランク軸動力 (PS)

T：トルクメータ読み ($m \cdot kg$)

の関係があることになる。

心拍数の計測は、被験者の胸部皮膚に貼付した3点の電極間に発生する心拍動による電位差を、腰につけた小形送信機によってFM送信し、被験者より離れた所で受信したFM検波信号を電磁オシログラフに自記させて、そのオシログラフから単位時間あたりの心拍数を計算した。

消費エネルギーを測定するには、被験者は呼気マスクをつけ、ダグラスバッグを背負って実験に入り、一定時間負荷したのち、心拍数が定常になるまでの回復期間の酸素債も加えて、呼気を採取し、労研式呼気ガス分析器を用いて、予め測定しておいた被験者の安静時代謝量をもとに、エネルギー代謝率 R.M.R を算出した。また1分間あたりの酸素消費量から被験者の消費馬力を求めた。

III. 実験結果および考察

1) 心拍数、呼吸量と酸素消費量との関係

心拍数は実験時間とともに増加する。Fig. 3 には心拍数の増加率としてあらわしてある。

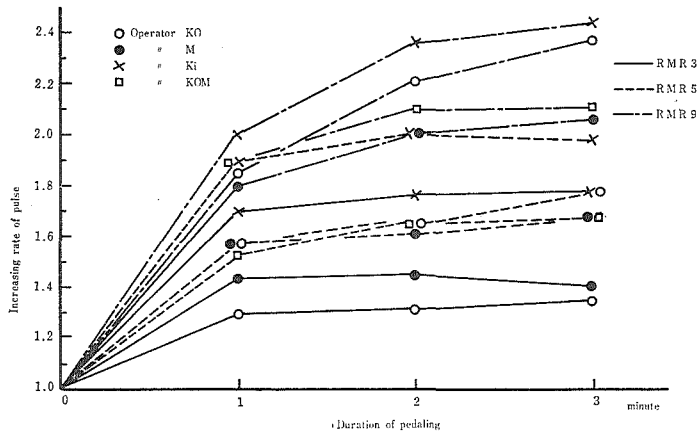


Fig. 3. Increasing rate of pulse vs. the duration of pedaling

パラメータには R.M.R をとっているが、その小さいものより、大きいものの方が時間の経過による心拍数増加率の変化が大きい。実験開始1分後には、R.M.R 3の場合 (R.M.R小) 30~70%, R.M.R 5の場合 (R.M.R中) 50~70%, R.M.R 9の場合 (R.M.R大) 80~100% 心拍数が増加している。その後の増加率は、それほど大きくはない。

Fig. 4 は心拍数と R.M.R の関係を被験者ごとにプロットしたものであり、Fig. 5 は、心

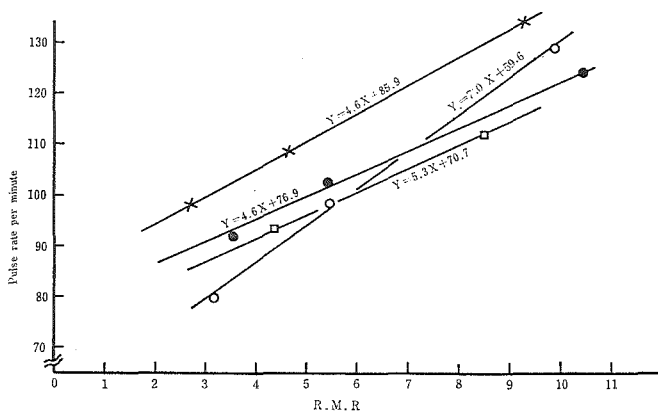


Fig. 4. Pulse rate vs. R.M.R

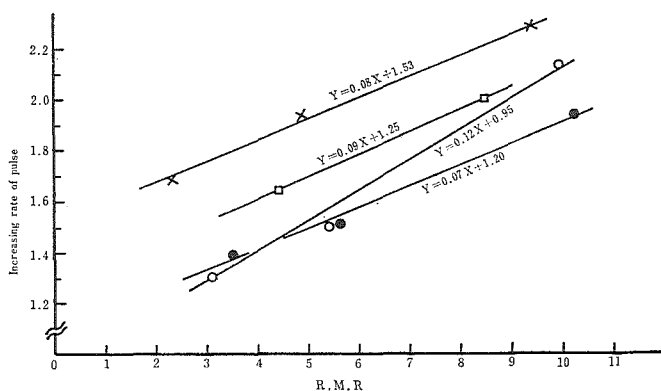


Fig. 5. Increasing rate of pulse vs. R.M.R

拍数の増加率と R.M.R の関係に表現を変えたものである。

これらを見ると、被験者による差異は R.M.R が 3~9 とかなり広い範囲にわたり、心拍数で、約 20 拍/分、増加率で 0.44 にばらついている。さらに、被験者による R.M.R のばらつきは、R.M.R 小の範囲で 2.8~3.6, R.M.R 中で 4.4~5.4, R.M.R 大で 8.5~10.5 にあるが、これは呼気ガス採取時の呼気量の計測、検体ガスの分析精度、さらにはトルクマークからトルクを読みとる際、その変化は考慮せず、ただ平均値をもってトルク値としていることなどの誤差によるものが含まれているので、被験者固有の差のみではないが、平均して約 20% の差がみられることは、個人差がかなりの割合を占めていると考えてよいであろう。

Fig. 6 は心拍数と呼気ガス分析で得られた酸素消費増加量の関係を示す。

この曲線の傾斜の大きいものほど、実験作業の未熟練者といわれており、事実この実験の場合 4 人ともに未経験者であり、傾向の異

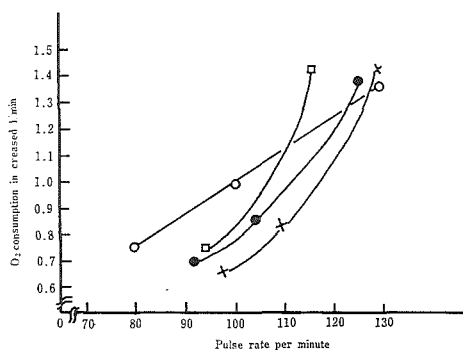


Fig. 6. Oxygen consumption vs. pulse rate

なる被験者を含んでいるといえる。しかし或程度の習熟によって曲線の傾斜は緩やかになると思われる。

Fig. 7は、被験者の作業中の消費エネルギーと心拍数の関係をあらわすものであって、たて軸に心拍数の増加率、よこ軸に被験者の1分間の酸素消費増加量を、それぞれ被験者の体表面積で除した指数をとったものである。

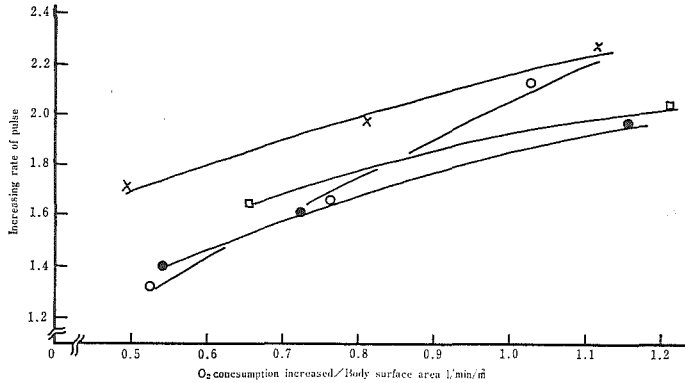


Fig. 7. Increasing rate of pulse vs. oxygen consumption

この横軸にあらわれる酸素消費増加量、体表面積とともに R.M.R の計算に使われる項目であるが、被験者の個々の特長を包含した指数であると考えられる。体格のよい者ほど酸素消費量が多く、それは体表面積に比例するといわれているので、被験者固有の測定値の比較としては、酸素消費増加量を体表面積で除した比の形の方が、より適切な判断を示すことになる。

この関係では、心拍数増加率とこの比は、ほぼ拋物線的であって、心拍数増加率に、ある大きさの最大値が予想されることから、R.M.R 値を横軸にとるより、より具体的であると考えられる。

Fig. 8は呼吸量と酸素消費増加量の関係を示すが、運動選手に見られる関係より、はるかに傾斜が緩やかである。すなわち運動選手の測定例では、単位酸素摂取に要する呼吸量（換気量）は大きく、呼吸量が80 l/分、酸素消費増加量が3 l/分をこえると、この関係は急に上昇するといわれるが、この実験では約2分の1の酸素消費増加量である。

Fig. 9は被験者の仕事の効率と R.M.R の関係を示す。仕事の効率は、被験者が pedaling によってなした仕事量と、呼吸によって消費したエネルギーとの比である。すなわち一定の仕

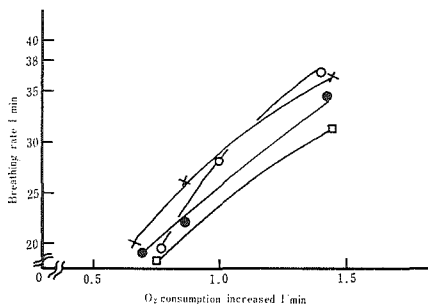


Fig. 8. Breathing rate vs. oxygen consumption

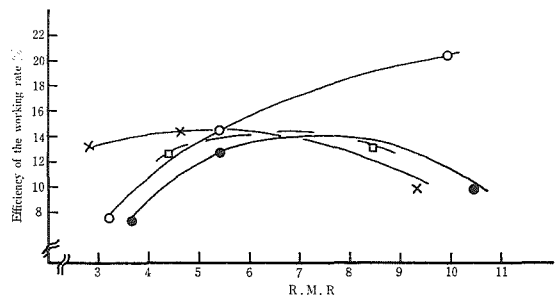


Fig. 9. Efficiency of the working rate vs. R.M.R

事（出力）をとり出すために、呼吸によって酸素を身体中にとり入れ、消費エネルギーを得ると考えると、これは入力となるので、この仕事の効率、オペレータが仕事をする際の出入力比をあらわすことになる。

R.M.R と効率の関係は、或る点において効率の最大値をもっているようであり、この実験においては4人の被験者中3人がR.M.R 4~5あたりに最大値(17~22%)をもっている。他の1人は、R.M.R の増加とともに効率は増加し、その最大値はこの実験では認められなかった。

2) 仕事量の推定

トラクタやコンバインを操縦する際のオペレータの必要な仕事は、操舵や多くの調節装置、附属作業機の操作などを含み、この仕事量の測定は、野外においては、難しい面が多く、別に実験を行なっている。

本実験の結果から、オペレータの心拍数を計測し、これを室内実験における心拍数、R.M.R、酸素消費量と仕事量の測定結果をもとにして、大略のオペレータの仕事量を推定することが可能と思われる。心拍数の計測は、呼吸量とか、仕事量を直接計測するよりも、はるかに手軽であることは、この方法の簡便さを示すものである。

方法(A)

手順 1. オペレータを被験者として、室内実験装置を用いて、心拍数、R.M.R を測定し体表面積をパラメータとしてプロットしておく。

手順 2. 心拍数と酸素消費増加量/体表面積の関係から、オペレータのそのときの酸素消費増加量がわかる。

手順 3. 仕事の効率とR.M.R の関係図を用い、すでに手順1でわかったR.M.R から効率を求め、この値と酸素消費増加量とからオペレータの出力、すなわち仕事量が計算できる。

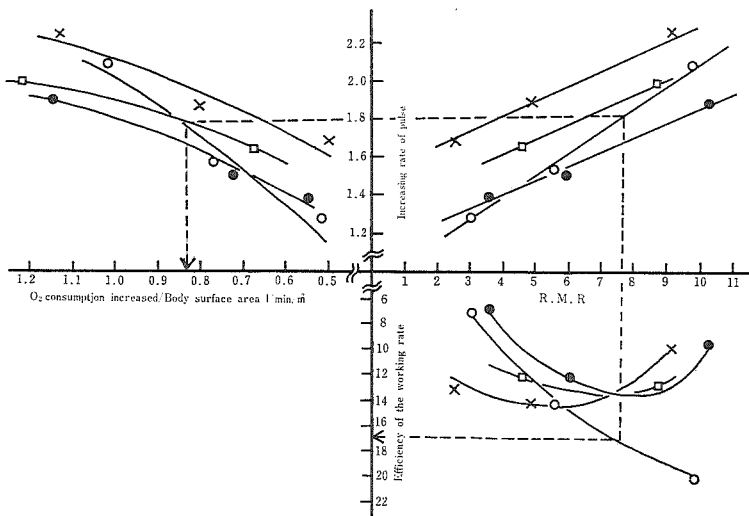


Fig. 10. Method 1 of estimating the work rate

方法(B)

手順 1. 室内実験装置を用いて被験者の心拍数と酸素消費増加量を測定してプロットしておく。

手順 2. 酸素消費増加量と仕事の効率の関係についてプロットする.

手順 3. この2つのグラフから仕事量を推定できる.

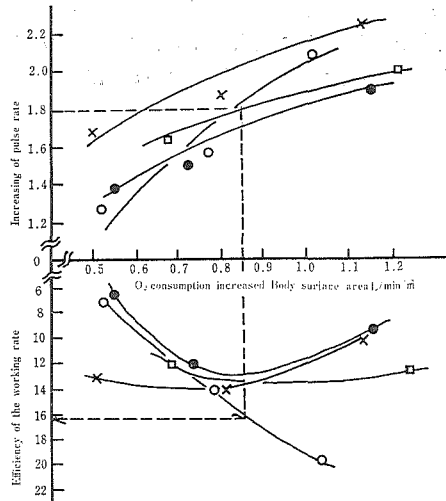


Fig. 11. Method 2 of estimating the work rate

以上の方法によって野外における農業機械オペレータの仕事量を推定することになるが、この推定法の基礎となる今回の室内実験は被験者の数が少なく、実験条件の設定数も少なかったため、実際野外における仕事量推定に適応するには、実験点数の不足とともに、オペレータに課す荷重仕事の違いや、野外作業につきものの外界擾乱による心理的影響についての考慮も入れなかったため、その数値的な適応精度は低いと思われるので、今後の改善を期したい。

IV. 摘 要

トラクタやコンバインなどのオペレータの必要な仕事量を知ることは、これらの機械を設計・利用する上に必要なことであるが、これらの仕事量は、作物、土壌、気候など多くの条件によって変化するところの負荷に左右される。したがってこの仕事量の推定は通常大へん難しい。

間接的にこの仕事量を推定するために、以下のような実験結果を用いた。

1. オペレータの作業中の心拍数は作業開始1分後には大きく増加し、その後の増加は少ない。
2. 作業密度が大きいほど、心拍数の増加率は大きい。
3. 心拍数と作業密度の間には、相関度は大きい。
4. オペレータの呼気中の酸素消費量と心拍数との間には、二次曲線的関係がある。
5. オペレータの酸素消費増加量をその体表面積で除した値と心拍数との間には、やはり二次曲線的関係がある。
6. オペレータのなした作業量と、それに要した酸素消費増加量との比を、オペレータの仕事の効率とすると、この効率と作業強度との間には、ある R.M.R 点で、効率が最大となる。
7. 野外で作業するオペレータの心拍数を計測し、予め実施しておいた上述の室内実験の結果から、その際の仕事量を推定することができる。

参 考 文 献

- 1) A. D. Julian (1971) : J. Agr. Eng. Res., 16(3), 324—336
- 2) 近藤政市 (1968) : 基礎自動車工学後期編(2版), 126, 養賢堂, 東京
- 3) 中永征太郎, 吉岡真澄美, 長沢俊三(1971) : 岡山清心女子大時報, 16, 1—6
- 4) 遠藤俊三, 西村 功, 笹尾 彰(1972) : 岡大農学報, 39, 69—78