

水平面と斜面上における作業の形態別強度差と呼気による判別

松原周信*・瀧本義彦**・市村秀樹***

Difference of work intensity based on work form at plane
and slope and discrimination with expired gas

CHIKANOBU MATSUBARA*, YOSHIHIKO TAKIMOTO**, and HIDEKI ICHIMURA***

Abstract: To investigate the difference of work intensity based on work form at plane and slope, 5 subjects performed sham weeding with a scythe and a weeding machine of gasoline engine in a laboratory. Expired gas was then analyzed and energy expenditure was calculated. Both at plane and slope of 20°, energy expenditure of the scythe work was significantly higher than that of weeding machine. And energy expenditure of the work with the scythe at slope was significantly higher than at plane, but concerning the weeding machine significant difference was not observed between plane and slope work. From this result, it was concluded that work intensity at slope was higher than at plane when the work was performed with legs actively, and work intensity did not differ when legs were used only to maintain standing position. At the same time it was revealed that the work with a scythe could be discriminated clearly from that with a weeding machine by means of a linear discriminant function constructed with 6 variables i.e. $\dot{V}E$, $ETCO_2$, FEO_2 , $ETCO_2$, $FECO_2$, and $\dot{V}CO_2$.

(Accepted September 9, 2002)

一般に身体作業の強度は、作業対象物の身体に対する高さ¹⁾、用いる道具の重量²⁾、あるいは足場が床の上であるかはしご上であるか³⁾などによって異なる。足場についてはそれ以外にもいろいろな場所があり得るが、通常、身体活動をともなう何かの作業を行う場合、特に理由がなければ水平面上で行い、ことさら斜面上で行うことはしない。これは、多くの場合水平面の方が作業場所として確保しやすいことも一つの理由ではあるが、主たる理由は、そのほうが作業しやすいからであると考えられる。しかし、状況によっては斜面で作業せざるを得ない場合も当然あり得る。その場合、斜面のゆえに作業しにくい動作を強いられることとなる。斜度と作業強度の関係についての報告はこれまでもなされている^{4,5)}が、水

平面における作業のしやすさと斜面上における作業のしにくさが、感覚の差異だけでなく、常に作業強度の差となってあらわれるものであるのかどうか、もしそうでなければ、いかなる作業形態のときに差があり、いかなるときに差がないのかについては、これまで報告がなされていない。

そこで、斜面上での作業を強いられることの多い動作の一例として、林業における下刈り作業をとりあげ、実験室において被験者に、柄ガマと刈払い機の2種類の用具を用いた模擬動作を行わせ、水平面上と斜面上における作業強度について検討した。あわせて、動作の相違が呼吸の様式に反映され⁶⁾、したがって呼気の組成などから作業の種類が判別できるのかどうかについても検討した。

*京都府立大学人間環境学部食保健学科健康科学研究室

Laboratory of Health Science, Department of Food Sciences and Nutritional Health, Faculty of Human Environment, Kyoto Prefectural University

**島根大学生物資源科学部附属生物資源教育研究センター森林科学部門

Section of Forest Science, Educational and Research Center for Biological Resources, Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University

***静岡大学農学部森林資源科学科森林科学講座

Division of Forest Science, Department of Forest Resources Science, Faculty of Agriculture, Shizuoka University

方 法

被験者は、第1表にその身体的特徴を示した通り、ほぼ標準的な体格の5人で、全員が林学を専攻する学生または研究者であり、林業労働者としての職歴はないものの、下刈り作業がどのようなものであるのかについては、一通りの知識を有していた。

これらの被験者に、物品収納用の建物を臨時に転用した仮設の実験室において、下刈り模擬動作を行わせた。用具は、林業用柄ガマ(全長145cm 重量1.1kg)と、ガソリンエンジン式の刈払い機(KIORITZ SRM230PGT 全長185cm 重量5.3kg)を用いた。

模擬動作を行う水平面は粗いコンクリートの床、斜面は裁断したままカンナのかかかっていないヒノキ板を20°に傾斜させて作成した台上とした。斜面の場合、右足を上、左足を下、両足を結ぶ直線が、斜面の等高線に直角になるようにさせ、左足の外側には、斜面の板上にさらに、厚さ約1.5cmの板を取り付け、足がずり落ちないようにした。水平面、斜面いずれにおいても、両足の間隔は、特に指示せず各被験者にまかせた。なお、被験者全員の利き手が右手であった。

柄ガマは両手で保持させ、1分あたり40回の頻度で右から左に振らせた。刈払い機は肩掛けベルトを装着した上で両手で保持させ、エンジンをかけて5000rpmで回転させながら、1分あたり30回の頻度で左右に振らせた。これらの頻度は、実際の作業時の頻度にあわせたものである。動作の頻度調節は、メトロノームを80拍/分または60拍/分で鳴らせ、その音をハンドマイクで拡声して聞かせ、それに合わせさせることによって行った。なお、実験室には雑草や灌木は設置しなかったが、それらがあって実際に刈払っていることを想定して動作させた。

被験者には、斜度と作業形態を組み合わせ、水平面で柄ガマ、水平面で刈払い機、斜面で柄ガマ、および斜面で刈払い機をそれぞれ使用する4種類の動作を4分間ずつ行わせた。その順序は被験者ごと無作為に割りつけ、これらの動作の開始前、および動作と動作の間には、いずれも6分間の椅座位をとらせ安静を保たせた。

最初の椅座位開始から最後の動作終了までの40分間、熱線式呼気流量計、ジルコニア式酸素濃度計、赤外線式

二酸化炭素濃度計、および演算装置(ミナト医科 MG-360ならびに RM-300)を用いて、1分ごとの吸気量、呼気量、呼吸数、平均吸気時間、平均呼気時間、一回吸気量、一回呼気量、吸気酸素濃度、呼気終末酸素濃度、呼気酸素濃度、吸気二酸化炭素濃度、呼気終末二酸化炭素濃度、呼気二酸化炭素濃度、酸素摂取量、および二酸化炭素排出量を測定した。4種類の動作を4分間ずつ行わせたが、いずれも3分経過後には呼吸代謝が定常状態に達したものとみなし、4分間のうち最後の1分間のデータを、各動作を代表する値として採用した。さらにこれらのデータをもとに、呼気時間一回呼吸時間率、呼吸交換比、死腔一回換気量率⁶⁾、呼気量二酸化炭素排出量率⁶⁾、およびエネルギー消費量を計算した。

結 果

呼気を分析したデータから、柄ガマと刈払い機それぞれについて、水平面と斜面におけるエネルギー消費量を求めた結果を、第1図に示した。水平面においても斜面においても、エネルギー消費量は、柄ガマを用いる場合の方が刈払い機の場合より有意に大きかった。また、柄ガマでは、斜面における作業時のエネルギー消費量の方が水平面におけるより有意に大きかったが、刈払い機では両者に有意差はなかった。なお、用具と斜度を2個の因子とし繰り返しのある二元配置分散分析を行ったところ

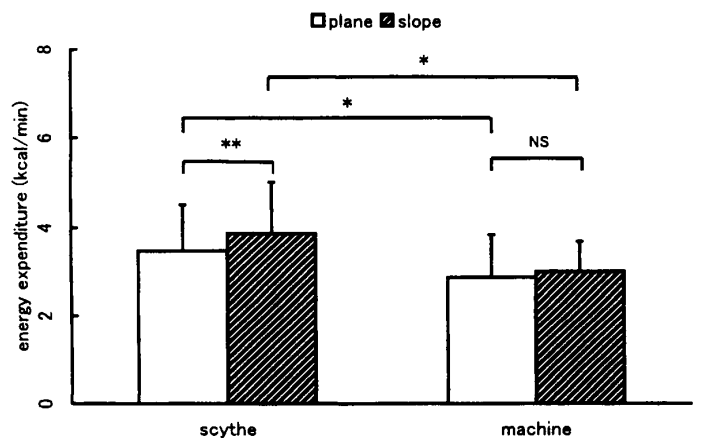


Fig. 1 Energy expenditure during sham weeding work with a scythe and a weeding machine at plane and slope of 20°. Both at plane and slope, energy expenditure of the scythe work was significantly higher than that of weeding machine. And energy expenditure of the work with the scythe at slope was significantly higher than at plane, but concerning the weeding machine significant difference was not observed between plane and slope work. *and** indicate significant difference between mean values at $p < 0.05$ and 0.01 , respectively.

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

	height (cm)	weight (kg)	age (yrs)
mean	168.4	59.6	33.0
SD	4.04	8.23	12.3

Subjects were 4 males and 1 female.

ろ、2因子ともに有意差はなく、交互作用も有意ではなかった。ただし用具に関しては、対応のある二組の平均値の差の検定を行ったところ、柄ガマを用いる作業の方がエネルギー消費量は有意に大きかった。また、4種類の動作における左右の足の間隔は、30cmから65cmの間に分布し、用具と斜度を2個の因子として繰り返しのある二元配置分散分析を行ったところ、2因子ともに有意差はなく、交互作用も有意ではなかった。

つぎに、呼気を分析して得た測定値をもとにして、柄ガマと刈払い機の動作を区別することのできる線形判別関数を求めた。すなわち、呼気分析ならびに演算によって得られた各項目を変量とし、柄ガマの動作と刈払い機の動作両群のデータについて、群間平方和の総平方和に対する相対的な大きさ、すなわち2群の平均間の標準化距離を最大にするような、線形関数の各変量に対応する係数を求めた。定数項は、判別の分点における線形結合の値が0となり、かつ誤判別される例数の最も少なくなる値とした。

以上の方針のもとに、できるだけ少ない変量で両群を判別できる関数を求めたところ、呼気量、呼気終末酸素濃度、呼気酸素濃度、呼気終末二酸化炭素濃度、呼気二酸化炭素濃度、および二酸化炭素排出量の6変量によって、第2図に示した通り、2群をいずれも誤判別率0%、すなわち完全に判別することができた。これらの6変量を、それぞれ順に x_1, x_2, \dots, x_6 とすると、判別関数は第2表に各変量に対応する係数と定数項を示した通り、

$$z = 6.240x_1 - 97.86x_2 + 135.15x_3 - 98.72x_4 + 202.19x_5 - 0.2235x_6 - 1014.9 \quad (1)$$

となった。

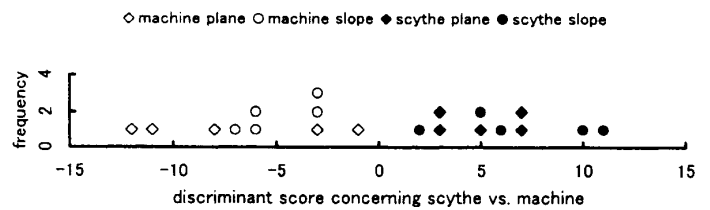


Fig. 2 Frequency distribution of discriminant scores of all cases which were calculated with the derived linear discriminant function between scythe and weeding machine work at sham weeding. On both the range of weeding machine and scythe work, 100% (=10/10) of the cases were discriminated correctly.

なお、6変量の係数は第2表に示した通り、判別に関しいずれも高度に有意に寄与していた。同じく第2表に示した通り、両群における6変量の平均値にはいずれも有意差が認められ、さらに、酸素摂取量、二酸化炭素排出量、およびエネルギー消費量は柄ガマを用いる作業において有意に大きく、死腔一回換気量率、および呼気量二酸化炭素排出量率は刈払い機を用いる作業において有意に大きかった。また、エネルギー消費量と(1)式による判別得点の相関係数は0.4502で、5%水準で有意な相関が認められた。しかし、(1)式における6変量にさらに、酸素摂取量、エネルギー消費量、死腔一回換気量率、および呼気量二酸化炭素排出量率のうち1変量または2変量以上を加えて線形判別関数を求めても、これらの変量は判別に関し有意には寄与しなかった。

なお、仮に(1)式をそのまま用いて水平面上における作業と斜面上における作業の判別を行うと、第2図から読み取

Table 2. Measured and calculated values of gas analyzing data.

unit of mean \pm SD	mean \pm SD of each item		coefficient		F_0
	scythe	machine	of LDF ¹⁾		
1 $\dot{V}E$ (l/min)	26.6 \pm 7.66	** 23.0 \pm 6.32	6.240	19.78	††
2 ETO_2 (%)	14.8 \pm 0.330	** 15.1 \pm 0.194	-97.86	17.08	††
3 FEO_2 (%)	17.4 \pm 0.418	** 17.7 \pm 0.258	135.15	10.81	††
4 $ETCO_2$ (%)	5.74 \pm 0.483	**** 5.38 \pm 0.429	-98.72	16.97	††
5 $FECO_2$ (%)	3.33 \pm 0.394	**** 2.99 \pm 0.273	202.19	16.57	††
6 $\dot{V}CO_2$ (ml/min)	681 \pm 231	**** 532 \pm 180	-0.2235	17.14	††
constant			-1014.9		

¹⁾ linear discriminant function

*, **, *** significant difference between mean values at $p < 0.05, 0.01, 0.001$, respectively

††, ††† significant contribution of each coefficient at $p < 0.01, 0.001$, respectively

ることのできる通り、水平面に関しては誤判別5例、正判別5例で、誤判別率は50.0%、斜面上についても同じく誤判別率50.0%であった。(1)式におけると同じ6個の変量を用いて、水平面における作業と斜面上における作業に関する線形判別関数を求めたところ、6個の係数はいずれも判別に有意に寄与せず、この関数によってもとのデータを判別したところ、誤判別率は、水平面で60.0%、斜面上で20.0%であった。6変量に、呼吸数、酸素摂取量、エネルギー消費量などの変量を加えて線形判別関数を求めても、係数が有意に寄与する変量はなく、誤判別率が大きく減少することもなかった。

考 察

第1図に示した通り、水平面においても斜面上においても、柄ガマを用いる作業のほうが、刈払い機を用いる作業より、エネルギー消費量すなわち作業強度が有意に大きかった。刈払い機の方が重いにもかかわらず、柄ガマを用いる方が作業強度が高いのは、次の理由による。すなわち、刈払い機は柄ガマより重い、肩掛けベルトによって一定の高さに保持され、また、刈払いは回転している刃を、対象物に接触させさえすればよい。したがって左右に振り回す速さは、それが速くても遅くても切れ味には関係せず、また速さに変化をつける必要もないので、振り回しやすい範囲でできるだけ速くしさえすればよい。これに対し、柄ガマには肩掛けベルトはなく、また、ある程度の速さで扱かなければならない。つまり、静止しているカマを急激に動かす、扱き動作が終わればこれをふたたび静止させなければならぬ。このとき、柄ガマに運動エネルギーを与えるのも、これを奪うのも、作業者の筋収縮によることとなる。この筋収縮のために消費されるエネルギーが、刈払い機を左右に振るための筋収縮によって消費されるエネルギーよりも大きいので、柄ガマを用いる作業の方が、刈払い機を用いる作業よりも、強度が高くなると考えられる。

つぎに、刈払い機の場合、水平面上でも斜面上でも、粗くて滑ることのない床面上で立位を保ちさえすればよく、そのためのエネルギー消費量はあまり変わらないと考えられる。柄ガマを用いる作業では、柄ガマの運動エネルギーの方向は水平なので、このエネルギーを増減させるため、足が床を押す力の水平成分は手の動作に応じて変化し、それは刈払い機を用いる作業におけるよりも、かなり大きいと考えられる。この力は作業者の筋収縮によって生み出されるので、エネルギー消費量も大きくなる。すなわち、足が床を押す力の鉛直成分に由来するエネルギー消費量は、水平面でも斜面上でも、大きくは異なるのに対し、水平成分に由来するエネルギー消費量は、水平面と斜面上でかなり異なると考えられる。このことが、柄ガマにおいては、斜面上における作業時のエネルギー消費量の方が水平面上におけるより大きかったが、刈

払い機においては両者に差がなかった主要な理由であると考えられる。

すなわち、水平面と斜面上における作業強度差は、作業の形態によって異なり、脚が単に体重を支えさえすればよい場合には大きな差はなく、脚が積極的に関与する作業では差が大きくなると考えられる。どのように関与しているかについては、ビデオ撮影、フォースプレート、あるいは筋電計を用いた計測などによって明らかにすることができると考えられるが、今回これらの測定は行わず、両足の間隔の測定のみを行った。その結果、作業しやすい両足の間隔は、斜度および用具がエネルギー消費量に与える影響と無関係であることが明らかとなった。

さらに、第2表に示した通りの、呼気量、呼気終末酸素濃度、呼気酸素濃度、呼気終末二酸化炭素濃度、呼気二酸化炭素濃度、および二酸化炭素排出量の6変量による(1)式の線形判別関数によって、柄ガマによる作業と刈払い機による作業を完全に判別することができた。すなわち、柄ガマと刈払い機における作業形態の差は、呼吸の様式に反映されることが明らかとなった。

なお、(1)式は非線形ではなく線形な関数なので、判別得点はその全範囲において、柄ガマによる作業らしきと刈払い機による作業らしきの尺度となるものであるが、エネルギー消費量とこの判別得点の相関は、あまり高くはないものの有意であった。また、2種類の作業における強度差は、対応のある二組の平均値の差の検定を施した結果、有意であった。しかし、判別関数に変量として酸素摂取量あるいはエネルギー消費量を加えても、これらの変量は判別に関し有意には寄与しなかったので、(1)式は作業の強度差そのものによって2種類の作業を判別しているわけではないと考えられる。現に、柄ガマにおいては平面における作業よりも斜面上における作業の方が強度が有意に高く、刈払い機においては有意ではないものの同様の傾向がみられたが、(1)式によって平面における作業と斜面上における作業を判別することはできなかった。また、判別関数に変量として死腔一回換気量率、および呼気量二酸化炭素排出量率のうち1変量または2変量を加えても、これらの変量は判別に関し有意には寄与しなかったので、(1)式は呼吸の効率^{6,7,8,9,10,11)}によって2種類の作業を判別しているわけでもないと考えられる。

なお、(1)式と同じ6個の変量を用い、水平面上における作業と斜面上における作業に関する線形判別関数を形式的に求めると、判別に有意に寄与する変量はなく、この関数によってもとのデータを的確に判別することもできなかった。6変量に、呼吸数、酸素摂取量、エネルギー消費量などの変量を加えても、同様の結果であった。すなわち、(1)式における6個の変量は、柄ガマと刈払い機の作業を判別するに特異的に有効であって、他の事柄もこれらの変量によって判別できるわけではない。

以上、水平面と斜面上における作業強度差は、作業の形態によって異なり、脚が単に体重を支えさえすればよ

い場合には大きな差はなく、脚が積極的に関与する作業では差が大きくなること、また、作業形態の相違が呼吸の様式に反映されること、従って呼吸の分析により作業の種類を判別できる場合のあることが明らかとなった。ただし本研究の範囲では、判別の可能性を決定する要因がどのような構造の動作であるか、それが呼吸の様式にどのように反映されるかについての詳細な点は不明である。

文 献

- 1) 松原周信, 瀧本義彦 (1995) 作業対象物の身体に対する高さや作業強度の関係. 京府大学術報告 (理学・生活科学), 46, B15-18.
- 2) 松原周信, 瀧本義彦 (1997) 片手で保持して操作する道具の重量と作業強度. 京府大学術報告 (人間環境学・農学) 49 1-4.
- 3) 松原周信, 瀧本義彦, 市村秀樹 (1998) 同一作業を床の上とはしご上で行う場合の強度差. 京府大学術報告 (人間環境学・農学) 50 33-38.
- 4) 林業機械化協会 (1961) 林業労働の作業強度表 エネルギー代謝率. PP17-46.
- 5) Y. Takimoto, C. Matsubara, and T. Yamamoto (1990), A computerized method of measuring energy expenditure in the forest work—pruning and weeding—, Proceedings P3.03 Ergonomics XIX World Congress IUFRO, 62-72.
- 6) 松原周信 (2000) バasketボールのチェストパスにおける技能の水準と換気効率の関係. 京府大学術報告 (人間環境学・農学) 52 7-14.
- 7) Wait, J. (1986) Cardiopulmonary stress testing A review of noninvasive approaches, Chest 90(4), 504-510
- 8) Cooper, D. M., M. R. Kaplan, L. Baumgarten, D. Weiler-Ravell, B. J. Whipp, and K. Wasserman (1987) Coupling of ventilation and CO₂ production during exercise in children, Periatr Res 21, 568-572
- 9) Clark, A. L., A. J. S. Coats (1993) Relationship between ventilation and carbon dioxide production in normal subjects with induced changes in anatomical dead space, Eur J Clin Invest 23, 428-732
- 10) Habedank, D., I. Reindl, G. Vietzke, U. Bauer, A. Sperfeld, S. Glaeser, K. D. Vernecke, and F. X. Kleber (1998) Ventilatory efficiency and exercise tolerance in 101 healthy volunteers, Eur J Appl Physiol 77, 421-426
- 11) Carter R. and S. W. Banham (2000) Use of transcutaneous oxygen and carbon dioxide tensions for assessing indices of gas exchange during exercise testing, Resp Med 94, 350-355