

振動障害発現要因の多変量解析

山 本 誠*

(農学部林業工学研究室)

A Multivariate Analysis of the Vibration Disease by Means of the Quantification Scaling

Makoto YAMAMOTO*

**Laboratory of Forest Engineering, Faculty of Agriculture*

Abstract : A study was made to analyse, through multidimensional quantification method as to how and to what extent mechanical and physiological factors affect to cause vibration diseases. The author classified mechanical and physiological factors into 20 items and subdivided them into 60 categories which were considered as the causes of vibration diseases. The analyses confirmed that a strong correlation existed between the skin temperature of the people under test and the three known item/categories; i. e. duration of exposure to vibration-long, vibrating acceleration-strong, and the state of the handle of the vibrating equipment-stripped. Furthermore the analyses led the author to discover that the properties of the human skin, particularly when it is thick and coarse, had a great deal to do with the variation in the skin temperature.

緒 論

チェンソーの振動特性に関する定量的な要因のみでは、作業者の振動障害発現を説明し尽し得ない点が多い。そこで、従来は扱われていなかった作業者の生理的状态等を含めた諸々の定性的要因を合わせて考究すると普遍的な原因の究明が可能であろう。この原因を明確に把握・明示できれば振動障害発現の危険を未然に回避するうとが期待できる。

本論では皮膚温変動に関係すると予想される要素20個をとりあげ、数量化による多変量解析を試みた。

ここでも既報¹⁾と同様に、皮膚温の変動が振動障害発現の直接的現象であるとの理解に基づいている。

測 定 方 法

供試機 : 6種類のチェンソー(マック35A型, ハスクバーナ77型, ホームライトXL123型, マッカーラーCP55型, スチール041AV型, ヤンマーRH57型)を供した。

被験者 : 健康な男子学生18人を対象にした。

測定方法 : 測定は瀧本ら²⁾の方法に準拠したが、室温は実験条件に合わせて調節した。チェンソーエンジンの回転数は6000rpmとし、排気は簡易なドラフトで吸気して実験室外に強制排除した。騒音に関しては、実験室の壁面の大部分、天井、床がコンクリートのため音圧が異常に高くなることから、イヤーマフを装着させて、音圧レベルを105dB±7dBの範囲とした。

測定は振動暴露開始70分前から安静状態にはいり、10分前に負荷試験の姿勢をとり、サーミスタを装着。そして振動開始5分前から皮膚温の測定を始め、以後30秒刻みで計測した。振動の暴露時間は3分間、6分間、9分間の3通りの暴露とした。そしてその後の10分間は休憩させ皮膚温の回

復状況を観測した。

皮膚温測定器は電気抵抗式サーミスタと精度 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ のデジタル温度計によった。

アイテム・カテゴリー分類

測定要素群および水準は Johansson や三浦らの産業医学的知見等^{3,4)} と林の分析法⁵⁾ とにかんがみ、以下に示すアイテム、カテゴリーとした。

チェンソーの重量：軽，中，重
 振動加速度：小，2 g 前後，大
 振幅：小，350 μ 前後，大
 周波数主成分：200Hz 近辺，400Hz 近辺，高周波帯
 機械の新古の度合：新しい，普通，かなり古い
 振動暴露時間：3分，6分，9分
 防振装置の有無：防振装置あり，防振ハンドル，無
 騒音：かん高い，普通，やわらかい
 振動の伝わり方：激しい，普通，やんわり，軽快
 把持方法1：指先，指のつけ根，手の掌
 把持方法2：力をいれて持つ，普通，そえている程度
 把持方法3：手首をそらせて，まっすぐ，手首甲を凸に曲げる
 姿勢：膝を曲げて前かがみ，前かがみ，ほぼ直立
 被験者の健康状態：元気（快調），普通，不調
 被験者の体格：やせ形，中肉中背，肥満系
 被験者の皮膚：肌理こまか，普通，粗い
 被験者の喫煙：無，10本/日程度，多量にすう
 被験者の飲酒：皆無，少々飲む，毎晩又は多量に
 室温：高い（25 $^{\circ}\text{C}$ 前後），普通（22 $^{\circ}\text{C}$ 前後），低い（18 $^{\circ}\text{C}$ 前後以下）
 湿度：高い（70%以上），普通（50%前後），低い（35%前後以下）

本報における数量化法

本論では，定性的な要素群のそれぞれに任意数値 X を対応させ，それら X の和で定量的な外的基準として皮膚温の変化量 Y を推定する方法をとった。ここでは前掲の20個の調査項目の要素群を，それぞれ説明変数として，それに反応値 X_j ($j=1, 2, \dots, r$) なる変数を対応させる。ただし，この X_j は変数 j のカテゴリー区分に応じて $x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jk_j}$ なる連続した k_j 個の値しか与えない。

このとき，皮膚温の変化量を外的基準 Y とし，その推定値 \hat{Y} を次式で定義する。

$$\hat{Y} = X_1 + X_2 + \dots + X_{20}$$

ここでの X_j の値は，個々のケースが該当するカテゴリーの値 x_{jk} である。この推定において Y と \hat{Y} の誤差の2乗の期待値を最小にするようなカテゴリー値 x_{jk} を導く。すなわち数量化するのである⁶⁾。

ケースごとの測定値 Y_i に対する推定値 \hat{Y}_i は

$$\hat{Y}_i = \sum_j \sum_k \delta_i(jk) x_{jk}$$

ここに $\delta_i(jk) : \begin{cases} 1 \cdots \text{ケース } i \text{ が変数 } j \text{ のカテゴリ } k \text{ に該当するとき} \\ 0 \cdots \text{該当しないとき} \end{cases}$

最小化する量を Q とすれば

$$Q = \sum_i (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum_i \left\{ Y_i - \sum_j \sum_k \delta_i(jk) x_{jk} \right\}^2$$

この Q を最小にする条件は

$$\frac{\partial Q}{\partial x_{jk}} = 0 \quad \text{と おいて}$$

$$\sum_i \sum_m f(lm, jk) x_{lm} = y_{jk}$$

$$\text{ただし, } f(lm, jk) = \sum_i \delta_i(lm) \delta_i(jk)$$

$$y_{jk} = \sum_i \delta_i(jk) y_i$$

ここで $f(lm, jk)$ を要素とするマトリックス F と x_{jk}, y_{jk} を要素とするベクトルを x, y とすると上式は

$$Fx = y$$

この連立方程式を解いて x を得ればよいこととなる。 F は変数間の総クロス集計である。また y_{jk} は変数 j においてカテゴリ k に該当するケース値 Y_i の総和である。なお、このとき外的基準 Y の平均値 C を定数項として推定式に加える。すなわち

$$\hat{Y}_i = \sum_j \sum_k \delta_i(jk) x_{jk} + C$$

以上が本分析に考えられる数量化法の概要であるが、推定の精度としては、外的基準の実測値 Y と推定値 \hat{Y} との相関係数、すなわちここでは重相関係数 $\rho_{Y\hat{Y}}$ で判断でき、次式で求め得る⁹⁾。

$$\rho_{Y\hat{Y}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_j \sum_k \sum_i \delta_i(jk) Y_i x_{jk}}{N}}}{\sigma_Y}$$

各説明変数の効きの評価は外的基準 Y と各変数 X_j の偏相関係数でみることができる。

説明変数 X_j と X_i の相関係数は

$$\rho_{ji} = \frac{\sum_k \sum_m f(jk, lm) x_{jk} x_{lm}}{\sqrt{\left\{ \sum_k \sum_j \delta_i(jk) x_{jk}^2 \right\} \left\{ \sum_m \sum_l \delta_i(lm) x_{lm}^2 \right\}}}$$

外的基準 Y と変数 X_j との相関係数は

$$\rho_{Yj} = \frac{\sum_k \sum_j \delta_i(jk) Y_i x_{jk}}{N \sigma_Y \sqrt{\sum_k \sum_j \delta_i(jk) x_{jk}^2}}$$

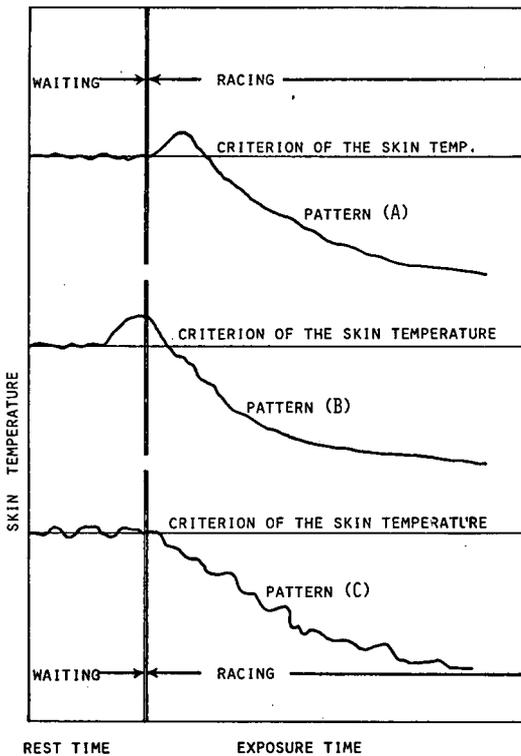


Fig. 1 Three patterns on the change of skin temperature.

るとの医学的知見にかんがみ各被験者の皮膚温の基準値まで回復するに要した時間を第二の外的基準値としてみた。

測定結果の分析と考察

本分析の精度：測定結果に対する分析全体の精度は重相関係数 ρ で示されている通り第1の外的基準、即ち皮膚温度の変化量に対しては $\rho_1=0.77$ 、第2の外的基準の所要回復時間に対しては $\rho_2=0.75$ であった。また測定値に対する数量化の値の比は Table 1 に示す結果であった。各要因項目を順次加えて算出した各段階における重相関係数は Table 2 に示した。これらによれば、

Table 1. The comparison between the observation and the estimation

	Mean	Standard dev.
Observed value (Y)	5.44781	1.78906
Estimated value (X)	5.44768	1.63333
Correlation coefficient	0.81250	
Regression equation	$Y=0.99967X+0.00222$ $X=0.67981Y+2.06407$	

この相関行列から偏相関行列の形で算出した。

外的基準：振動障害の発現にかかわる変量尺度として、皮膚温の変化量、即ち皮膚温の低下幅を採用したが、これは単純には扱えない。何となれば、この皮膚温変化の挙動は単調な推移をすることはむしろ少なく、多くの場合振動負荷開始直前、直後および負荷停止直後複雑に変動する。この値を皮膚温低下量と時間の関数、即ち低下過程の勾配で表わすと高い相関が得られると滝本は述べている⁷⁾。筆者は過去の実験結果から、その変化のしかたを大略 Fig. 1 の如く3通りのパターンに整理することができると判断している。(a)は外的刺激に対する生理的第1次反応としてのものと解釈され、(b)は負荷開始前の変化であることから心理作用によるものと推察される。(c)は概して不安定な経過をたどるが本測定に関しては、問題をもたない。(a)、(b)の初期の凸部は無視しても本課題に関してはさしつかえないものと推断して、基準値・最低値を第一の外的基準値とした。また、振動障害の発現が皮膚温の回復の遅速に関係す

それぞれの値は1%水準で有意性を示しており、20項目全部をとりあげた段階では $\rho_1=0.77$ 、 $\rho_2=0.75$ となっていて、両外的基準に対する精度は高く、本分析は有意であるといえよう。以下紙面の都合で第1の外的基準に関してのみ記す。

要因アイテムの寄与率：所与の20アイテム61カテゴリー-要因全体の外的基準に対する重相関係数は0.77とやや高い値を示しているが、この値に到達する過程において各アイテムを逐次扱

った場合の効率の変化を Table 2 の要因群偏相関係数表に示す。これによるとアイテムとしては特に振動暴露時間、振動加速度値、防振装置の有無、被験者の皮膚の性状が強く影響しており、次いで把持方法 2、把持方法 3、振動の伝わり方、湿度、等をあげ得る。これら要因群の外的基準に対する寄与率は偏相関係数とレンジの両面から判断すればより高い信頼性が得られるが、ここではカテゴリー数に対してケース数がやや少ないことからレンジは用いないで偏相関係数で検討する。偏相関係数は Table 2 によると、(1)振動暴露時間、(2)振動加速度、(3)防振装置の有無、(4)被験者の皮膚の性状、(5)把持方法 2、(6)把持方法 3、(7)チェーンソーの重量、(8)湿度、(9)振動の伝わり方、(10)振幅、(11)被験者の喫煙、(12)姿勢、(13)被験者の健康状態、(14)把持方法 3、(15)被験者の飲酒、(16)室温、(17)騒音、(18)周波数主成分、(19)機械の新古の度合、(20)被験者の体格、の順に高いが $|r| < 0.3$ とすれば第 1 の外的基準に対して寄与していると考えられるのは(1)~(4)である。

要因カテゴリーの寄与率

上記アイテムの寄与率では 4 要因がかなり強い影響を及ぼしていることが理解できた。

そこでここでは、それら 4 要因のどのカテゴリーが寄与しているかを明示する。

各カテゴリーの偏差値によれば相対的な寄与率の挙動が推察できる。これを偏相関係数が 1%水準で有意性を示すものについて示せば Table 3 となる。

本分析結果では偏相関係数が全てのアイテムにおいて正であるので、最大のスコア値をもつカテゴリーが影響を強く及ぼすと言える。従って、1%水準で有意なものを挙げれば

アイテム	カテゴリー
振動暴露時間	→ 9分 (長時間)
振動加速度	→ 大
防振装置の有無	→ 無
被験者の皮膚の性状	→ 肌理が粗い

5%水準で有意なものを挙げれば
把持方法 2 → 力をいれて握る

Table 2. The list of partial correlations and the multiple correlation of the multidimensional factor analysis on the vibration disease

Variables	Partial corr.
weight of chainsaw	0.3095
Acceleration	0.3611
Amplitude	0.2432
Frequency	0.0726
Life year of the machine	0.0224
Exposure time	0.3935
Anti-vibration systems	0.3351
Noise	0.0713
Feeling of vibration	0.2987
Grip method of the 1'st	0.1026
Grip method of the 2'nd	0.3184
Grip method of the 3'rd	0.3127
Operators posture	0.1856
Condition of the health	0.1238
Physical constitution	0.0200
Properties of the skin	0.3333
Smoking	0.2789
Drinking	0.1054
Indoor temperature	0.0878
Indoor humidity	0.3001
Multiple correlation coefficient	0.7715

Outside criterion = The rang of skin temperature

Table 3. The list of the numeric values assigned to item-categories

Variables	Categories	Variation
Exposure time	3 minute	-0.1162744
	6 minute	0.6461731
	9 minute	1.2266561
Acceleration	Less than 2G	-0.1394208
	Nearly 2G	0.4235612
	Greater than 2G	0.8732005
Anti-vibration system	With the system	-0.0768772
	Anti-vibr. handle	-0.2305095
	Without	0.5553012
Properties of the skin	Fine skin	-0.0996185
	Ordinary	0.3262477
	Rough skin	0.5473356

Valid observations are 150 cases
Significant level is 1%

把持方法 3 → 手首をそらせて握る
 振動の伝わり方の感覚 → 激しい
 空気湿度 → 70%以上
 被験者の喫煙 → 多量にすう
 チェンソーの重量 → 重いもの

他のアイテム・カテゴリーは偏相関係数が低く、有意性も小さいのでこの分析結果では取りあげて論じる意義は薄いと思われる。

今回の分析に被験者の体質的要因、生理的要因を扱った結果、上記のものについて高いレベルでその影響を見た。

以上20要因を基に分析した結果、皮膚温変動に起因する外観的な要因把握の概要を示し得たと考えられるが、なお今後アイテム・カテゴリー分類の改善・増加、ケース数、外的基準の選択等を検討し、信頼度の高い結果、即ちより普遍性を得ねばなるまい。

なお、本報の計算は京都大学大型計算機センターM-190システムの SPSS によった。

要 約

チェンソーによる振動障害の原因を把握するため定性的な要素20個を対象として多変量解析した。解析の結果、振動暴露時間では長時間、振動加速度では大、防振装置の有無では無、という従来の見解の他に被験者の皮膚質が粗い肌のものに高い寄与率がある結果を得た。

文 献

- 1) 山本 誠, 振動特性と皮膚温の変動, 高大学研報, 27, 1-10 (1978)。
- 2) 龍本義彦, 後藤純一, チェンソーの評価法(I)振動について(1), 京大演報, 49, 109-115 (1977)。
- 3) Johansson, G., Monotony and mental overload: Stress factors in the sawmill, *IUFRO World Cong. Proc.*, No. 16, 199-205, (1976)。
- 4) 三浦豊彦, 富永洋志夫, 肝付邦憲, 手・腕系への振動の曝露年数, 曝露時間と振動障害発生の関係(I), 労働科学, 54 (6), 297-314 (1978)。
- 5) 林知己夫, 数量化の方法, p. 95-117, 東洋経済新報社, 東京 (1975)。
- 6) Hayashi, C., Multidimensional quantification—with the applications to analysis of social phenomena, *Ann. Stat. Math.*, 5 (2), 121-143 (1954)。
- 7) 龍本義彦, 皮膚温の変化量は下降曲線の勾配で表わすと相関性が高い, 私信 (1978)。

(昭和53年9月30日受理)

(昭和53年12月22日発行)