

## 熱産生機構の等尺性筋収縮筋電図の解析\*

(I) クラスタ分析による群化放電の条件設定

近藤 正行, 染岡 慎一, 大渡 伸  
山口 和正, 藤本 博一\*\*, 小坂 光男

長崎大学熱帯医学研究所疫学部門(環境生理学)

EMG Pattern Analysis of Isometric Muscular Contraction in Thermoregulatory Heat Production\*

(I) Cluster Analysis and Factor Analysis of Grouping Discharge

Masayuki KONDO, Shinichi SOMEOKA, Nobu OHWATARI, Kazumasa YAMAGUCHI, Hirokazu FUJIMOTO\*\*, and Mitsuo KOSAKA, (Department of Epidemiology and Environmental Physiology, Institute for Tropical Medicine, Nagasaki University)

**Abstract:** In a neutral temperature environment, six healthy human volunteers aged 22-33 years were examined by computer analysis of EMG patterns of dominant biceps brachii muscle throughout its isometric contraction against a constant load. The isometric contraction was performed from a seated position with the elbow resting on a flat surface and 45° angle to the table (90° flexion).

Fatigue EMG of unilateral biceps brachii was recorded during 40% maximum contraction value (MCV) isometric contraction, using both surface and fine needle electrodes. Properties of grouping discharge in EMG patterns of cold shivering and muscular fatigue were investigated. The interval of consecutive two pulses, mean frequency and mean duration of grouping discharge were analyzed by Cluster analysis as well as by Factor analysis using an analogue computer ATAC 450 and a personal computer PC-8001.

Two different modes of interval of grouping discharge were found from a dendrogram of P-mode Cluster analysis. One had an interval time of 1-19 msec and the other had 20-50 msec of consecutive two pulses of grouping discharge. The data of Factor analysis using a Direct Varimax method also revealed a significant difference between the two modes interval, namely in the one, less than 19 msec and in the other, more than 21 msec, respectively.

These results indicate that the range of interval of consecutive two pulses of grouping discharge in EMG of cold shivering and isometric muscular contraction is conclusively 20 msec and that the range is identical with the result of previous studies. The difference between Cluster analysis and Factor analysis was further discussed to evaluate the purposes and nature of the statistical analysis.

Tropical Medicine, 23(2), 111-118, June, 1981

---

Received for publication, June, 12, 1981.

\*A portion of this experiment supported by scientific Research Grant (No. 548108) from the Ministry of Education, Japan.

\*\*長崎大学学生

長崎大学熱帯医学研究所業績第1,108号

## 〈はじめに〉

筋収縮による熱産生機構の一つである寒冷ふるえの筋電図波形にみる群化放電<sup>18-20)</sup> (Grouping Discharge 以下 G. D. と略す) の平均周波数は小動物ほど大きく、同一動物種では、G. D. の平均周波数と体重の間には、相関のないことが報告されている<sup>9)15)</sup>。先に我々は正常ウサギの寒冷ふるえ筋電図上の G. D. の平均周波数および各個の G. D. の平均持続時間をデータ処理システムにて解析した結果、連続する2個の筋放電スパイク間隔が20msec以下を G. D. の条件とすると、G. D. の平均周波数は22.5c/s となり従来の報告結果<sup>9)10)15)</sup>と有意差のないことがわかった<sup>13)</sup>。ところで、ふるえ筋電図上に出現する G. D. は筋の疲労状態の筋電図にも出現することが知られている<sup>11)16)17)</sup>。そこで今回等尺性筋収縮によるヒトの筋の疲労状態の筋電図に観察された G. D. を同様のデータ処理システムにて解析することを試みた。その際、G. D. の解析の前段階として、G. D. の条件設定すなわち2つの筋放電スパイクの間隔の設定を多変量解析の一つである、クラスター分析<sup>4)5)14)</sup>および因子分析<sup>4)7)</sup>を用いて行い、その結果を従来の報告結果<sup>9)10)13)</sup>と比較検討し、この分析方法<sup>4)</sup>について幾らかの考察を加えた。

## 〈方 法〉

### (1)被験者

測定の対象とした被験者は、6人の健康な成人男子で、その年齢構成は22~33才(平均28.3才)であった。

### (2)実験方法

室温25°C、湿度65%の環境条件下で被験者を机に正対させ、机の面に対し、上腕骨軸が45°、更に肘を90°屈曲させた状態をとらせ、上腕二頭筋の等尺性収縮を行わせしめた (Fig. 1 参照)。実験に先立ち、各人の上腕二頭筋の最大随意収縮力をバネ計りにて測定し、その40%を負荷量とした。

実験は、これ以上肘を90°に保持できなくなった時点で終了とした。

### (3)反応指標記録

筋電図は、上腕二頭筋より、双極針電極を用い測定し、増幅した筋電図波形をシンクロ・スコープで観察すると共に、データ処理システム ATAC 450

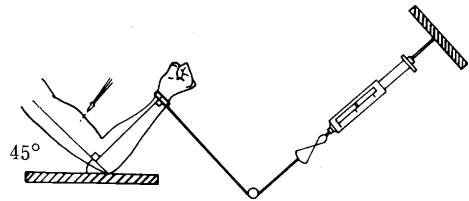


Fig. 1. Method for isometric contraction. A seated position with the elbow resting on a flat surface and 45° angle to the table (90° flexion).

(日本光電工業 KK), およびパーソナルコンピュータ PC-8001 (日本電気 KK) で分析する目的でデータレコーダへ収録した。

## 〈結 果〉

被験者(6名)から記録した筋電図について、多変量解析を行ったが、以下、その典型的な2例について報告する。

### A. 被験者 I (Cluster 分析による分類)

①収録された筋電図について、連続する2つの筋放電パルスの間隔が1~50msec のインターバルを1msec 毎にデータ処理システム (ATAC 450) を用いカウントした。カウントは、実験開始時から終了時まで、1分毎に6区間行われた。Fig. 2は最大



Fig. 2. EMG pattern changes during muscular fatigue

EMG of localized muscular fatigue of unilateral biceps brachii during a 40% maximum contraction value isometric contraction.

A: Initial stage of fatigue

B: Middle stage of fatigue

C: Terminal stage of fatigue

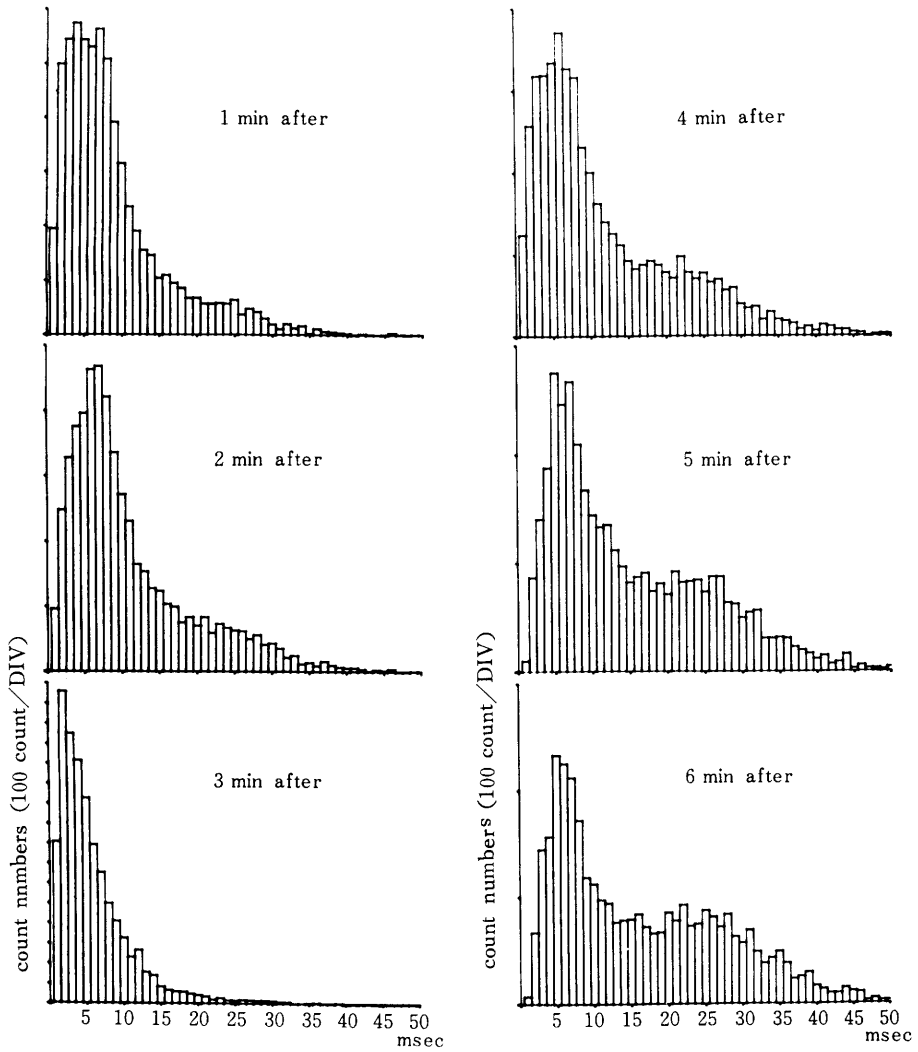


Fig. 3. Histograms of interval changes in consecutive two pulses of grouping discharge. EMG recorded in the time course of muscular fatigue of dominant biceps brachii during isometric contraction.

筋収縮力の40%負荷における等尺性筋収縮のA……初期（1分経過）、B……中期（3分経過）、C……終期（6分経過）の筋電図、及び Fig. 3は、2つの筋放電パルス間のインターバルのカウント数により作成された1分毎6区間のヒストグラムである。

②2つの筋放電パルス間の各インターバルの、実験開始から終了までのカウント数の1分毎の変化をもとに、1~50msecの各インターバルについての相関行列を求め、P-mode Cluster分析を行った。P-mode Cluster分析の結果、Fig. 4に示すdendrogramが得られた。

Fig. 4の dendrogramの横方向は相関係数を表わし、右へ行くほど正の相関が高くなっている、ま

た縦方向は計算により分類された2つの筋放電パルス間の各インターバルを表わしている。Similarity level of clustering（相関係数）-0.412で分類した所、各インターバルの順序に若干の変動が見られるものの、1~19msecと20~50msecの2つのClusterに分けることが出来た。この2つのClusterの各インターバルについては、Clusterの内部では、各々が相対的に正の相関をなし、Cluster間においては、各々が負の相関をなしていると言える。つまり、2つのパルス間のインターバルが1~19msecのものは、筋が疲労に致るまでの頻度の時間によるダイナミックな変化が、20~50msecのものとは逆の動きをしていることが示唆される。故に、G. D.

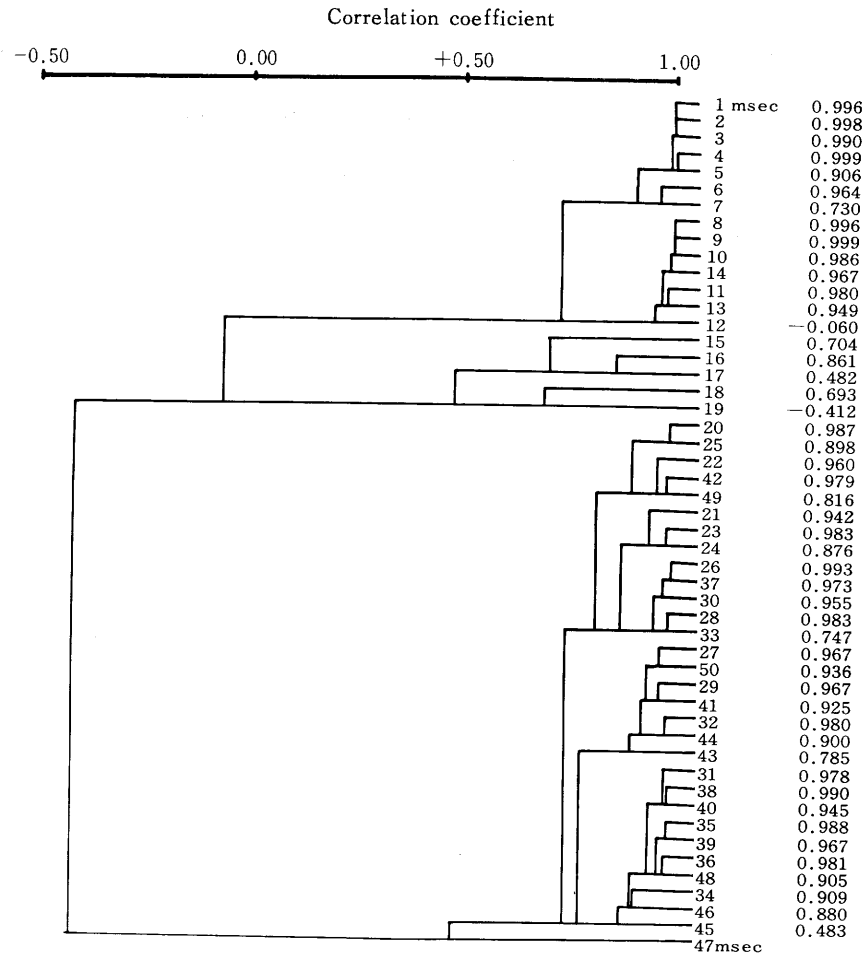


Fig. 4. Dendrogram of a subject I. Clusters divided into two parts at a correlation coefficient -0.412.

の条件設定値, つまり2つの筋放電パルス間のインターバルがその値以内だと1つのグループ内と見なされ, それ以上だと次のグループに移ったと見なされる値をこの被験者については20 msec と設定した.

### B. 被験者 II (因子分析による分類)

①被験者 I の場合と同様に, 実験開始から終了までの筋電図について, 2つのパルス間の各インターバルを1分毎にカウントした.

②被験者 I の場合と同様に, 各インターバルについての相関行列を求め, P-mode Cluster 分析を行った. 計算により得られた Fig. 5 の dendrogram に示されているように, 各インターバルが3以上の

Cluster をなし, dendrogram を見ただけでは2つのグループ間のインターバルを設定する手がかりが得られなかった. この理由としては, この被験者の2つの筋放電パルス間の各インターバルの時系列変化に複数の変動要因が働いていて, 各インターバルの相対的關係を視覚的に示す Cluster 分析では, その計算結果が複雑化したことが考えられる.

③Cluster 分析を行っただけでは, 2つのグループ間のインターバルを設定する手がかりが得られなかったので, Cluster 分析で用いた, 2つの筋放電パルス間の各インターバルについての, 同じ相関行列を用い, Direct Varimax 法による因子分析を行った. Table 1 は計算により得られた因子行列であ

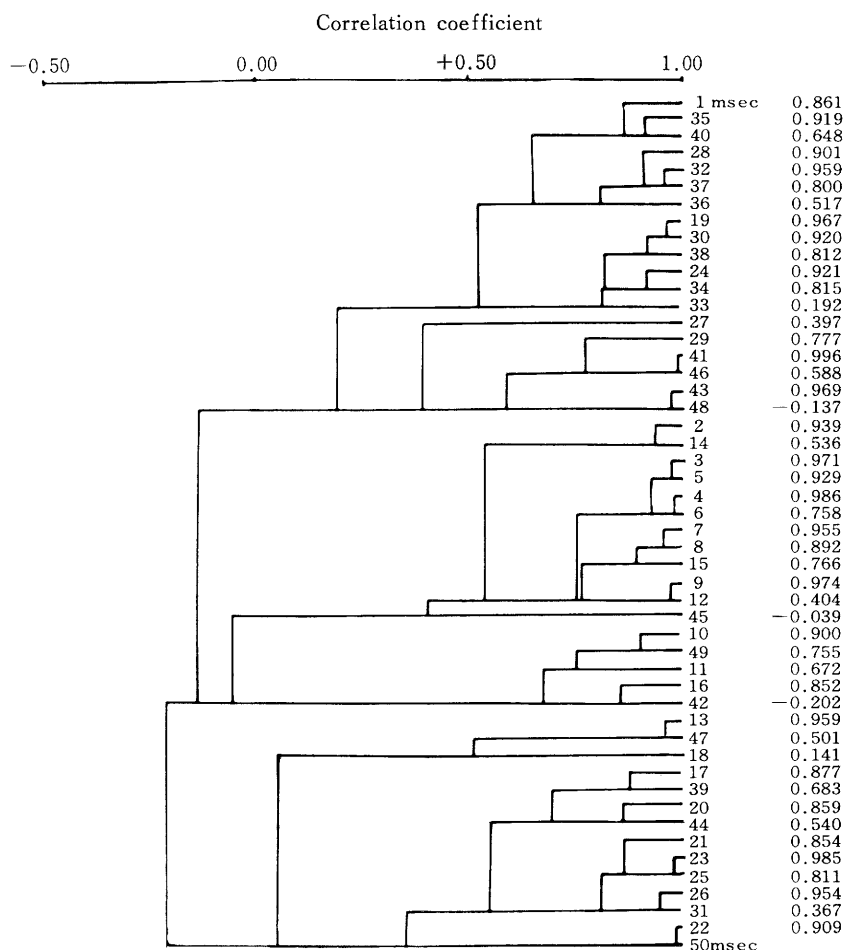


Fig. 5. Dendrogram of a subject II. Clusters not to be divided into two parts at any correlation coefficient

Table 1. Factor loadings by Direct Varimax method (for details see text).

Intervals (msec)	Factor-loadings	
	I	II
1	-0.5777	+0.4024
2	+0.6313	+0.4567
3	+0.8084	-0.1225
4	+0.9221	-0.2172
5	+0.9076	+0.0311
6	+0.9556	-0.2233
7	+0.9933	-0.0514
8	+0.9808	+0.1626
9	+0.8195	-0.2586
10	+0.6392	-0.6891
11	+0.2277	-0.5516
12	+0.8393	-0.0561
13	-0.1851	+0.1398
14	+0.6942	+0.1870
15	+0.8928	+0.2811
16	-0.0276	-0.9913
17	+0.1464	+0.9351
18	-0.0381	+0.9177
19	-0.9412	-0.0343
20	+0.0140	+0.4026
21	-0.4523	+0.3777
22	-0.3179	+0.1313
23	-0.4806	+0.1448
24	-0.9212	+0.2106
25	-0.3684	+0.2665
26	-0.6591	+0.5228
27	-0.1895	-0.6364
28	-0.6910	+0.1859
29	-0.6000	-0.1623
30	-0.8733	-0.1162
31	-0.6345	+0.6839
32	-0.4987	-0.0851
33	-0.9277	-0.1537
34	-0.8502	+0.4973
35	-0.5714	+0.0885
36	-0.5078	+0.5194
37	-0.6288	+0.1239
38	-0.9406	-0.0644
39	+0.2726	+0.7399
40	-0.3208	+0.2860
41	-0.7865	-0.5022
42	+0.0155	-0.9116
43	+0.1251	-0.5103
44	+0.2390	+0.2574
45	+0.5848	-0.0689
46	-0.7750	-0.4556
47	+0.0572	+0.2891
48	-0.1061	-0.4318
49	+0.3931	-0.7202
50	-0.3119	-0.2427
Contributions	+0.3950	+0.1910

る。

因子行列とは、想定されるいくつかの因子と項目、つまり2つの筋放電パルス間の各インターバルとの相関行列であり、1~50行目が各インターバル、1, 2列目が、第1因子、第2因子である。ここで因子と言うのは、データの変化を規定する変動要因であるが、その実体は、各項目との相関係数から推測される。本研究の場合、各インターバルの分類が目的であるので、因子の解釈は、特に行わなかった。計算では、第2因子まで求めているが、帰寄率について見てみると、第1因子が39.5%に対し、第2因子も19.1%とかなり高い値を示している。帰寄率とは、想定された因子が、変動要因全体の中でどれだけ説明することが出来るかと言う確率のことであるが、第2因子の帰寄率の高さが、Cluster分析の計算結果を複雑化させた原因であることが示唆される。

第1因子について見てみると1msec~10msecまでと12, 14, 15msecに正の相関が見られ、11, 13, 16~18, 20msecは相関が見られず、19msecと21msec以上には、一部例外があるものの負の相関が見られた。よって、負の相関と無相関の変化する20msecを、この被験者の、2つのグループ間のインターバルに設定した。

以上、被験者I・IIを用いた誘発等尺性筋収縮筋電図波形上に観察される筋放電パルスの間隔は20msecに特異性が認められる事がCluster分析および因子分析によって証明された。

### ＜考 察＞

筋電図上のG.D.の分析においては、groupingの条件つまり2つのグループ間のインターバルの設定が重要な問題となってくるが、従来の研究<sup>8-10)13)18-20)</sup>においては、その判断に主観的要素が入り込む可能性が大きかった。これに反し条件設定に多変量解析の結果を手がかりにすると、判断が、より客観的となり、本研究において有効な手段であると考えられる。中でもCluster分析は、各項目つまり、2つのパルス間のインターバル相互の相対的關係をdendrogramと言う形で視覚的に示すことが可能であり、また因子分析は、各項目と、想定される因子との關係を、相関係数で示し、変動要因が2つ以上

考えられ、Cluster 分析の結果が複雑になって、解釈が困難になった場合に有効である。

各被験者 6 人について分析した結果、設定された 2 つのグループ間のインターバルは、17msec から 24msec にわたり平均は 20.6msec であり、平均値については、従来の研究結果<sup>9)10)</sup> とほぼ一致するものであった。従来の研究においては、2 つのグループ間のインターバルの条件を、平均値などにより、統一された値として設定していたが、本研究においては、個人について設定値を求めた。この方法により、G.D. の分析において、個人差を考慮した客観的な分析が行えるものと考えられる。

Fig. 6 は、Cattell<sup>23)</sup> が示した、情報分析における測定値の基準とその方向を表わした図である。従来の研究においては、個体間の変動を用い個体内の要因を分析するもの (R-technique, 横断的研究)、1 個体についての時間ごとの変動を用い個体内の要因を分析するもの (P-technique, 縦断的研究と呼ばれ本分析で用いた) が主であった。しかし、このような 2 次元的な統計処理からは、各要因の状況しか見ることが出来ず、解析方法として、不十分な面が残っていると言える。

今後は、単に状況を見るだけの解析体系を一步進めて、「必要な条件を再現する方向に情報とその解釈が蓄積されることが必要である」と言う情報処理の考え方を導入する必要があるであろう。今回用いた Cluster 分析については、こう言った情報処理の考え方を取り入れ、個体間×時係列×個体内の 3 次元の情報を一時に処理する 3 Dimension Cluster 分析の開発<sup>12)</sup>が進められており、今後の成果が期待される所である。

更に、臨床医学や基礎医学分野における筋電図学

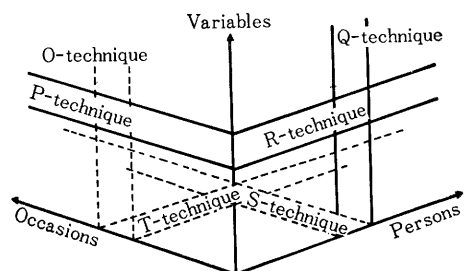


Fig. 6. Three dimension analysis of data matrix (Cattell, 1946).

的研究において G.D. の生理学的意義、とくに体温調節上の意味づけやその形成機序に関しては幾多の報告<sup>1)10)9)</sup>がある。しかるに今回の実験結果の如く、等尺性筋収縮の経過中に誘発される筋疲労の筋電図波形にも G.D. が記録され、かつ、G.D. の形成にあずかる連続する二個の筋放電パルス間隔が 20 msec 以下である事を客観的に証明した研究報告は今後の体温調節研究分野に新しい指針を与えるものであり、臨床医学への応用も可能である。

## 〈要 約〉

常温環境下に於て 6 名の健康被験者の上腕二頭筋 (M. Biceps brachii) に随意・等尺性筋収縮を誘起し、その経過中に出現する筋疲労の EMG 波形をデータ処理システム (ATAC450 及び PC-8001) を用いて解析し以下の結果を得た。

① 等尺性筋収縮による筋疲労時の EMG 波形には寒冷ふるえ時の EMG と同様に群化放電 (grouping discharge: G.D.) が観察された。

② G.D. の形成機序を解明するために、G.D. の構成成分である連続する 2 個の筋放電パルスのインターバルについて相関行列を求め、更に P-mode Cluster 分析を行った。その結果得られた dendrogram は、2 個のパルスのインターバルが 1~19 msec と 20~50 msec の 2 群に分かれ、かつ、両群のヒストグラムは筋疲労の進行過程において相反的な動態を呈した。

③ ②で示した Cluster 分析の dendrogram で、インターバルが 2 群に区分できなかった例に関して、相関行列を求めた後に Direct Varimax 法による因子分析を行い因子行列を作成した。

因子分析の結果から、G.D. 形成のインターバルは 19 msec~21 msec が適当値と判明し、この事は従来の研究結果が妥当である事を立証した事になる。

④ 即ち、従来の研究では G.D. の条件設定に主観的要素が混入する可能性を残していたが、本研究 (上述②③) の結果は、多変量解析の駆使によって G.D. の条件設定がより客観的となった点が進歩である。

⑤ 体熱産生の寒冷ふるえと随意・等尺性筋収縮の誘発法や、その EMG 波形分析、特に、Cluster 分析や因子分析の統計学上の意義について二・三の検討が加えられた。

<文 献>

- 1) Bligh, J. (1973): Temperature regulation in mammals and other vertebrates. 70-75, North-Holland/American Elsevier Pub. Co. INC., New-York.
- 2) Cattell, R. B. (1952): The three basic factor-analytic research designs-their interrelations and derivatives. Psychol. Bull., 49, 499-520.
- 3) Cattell, R. B. (1946): Description and measurement of personality, Yonkers, N. Y., World.
- 4) Fruchter (1954): Introduction to Factor Analysis. 1-105, van Nostrand Co. Ltd. New York-Toronto-London.
- 5) 林知己夫 (1979): クラスター分析の意味. 数理科学, 190, 5-8.
- 6) Hemingway, A. (1963): Shivering. *Physiol. Rev.*, 43, 397-422.
- 7) 柏木繁男 (1962): 因子分析における図表解の客観化について. 心理学研究, 34(1), 36-39.
- 8) 小坂光男 (1981): ふるえ. 温熱生理学 (中山編), 111-121, 理工学社, 東京.
- 9) Kosaka, M. & Simon, E. (1968): Kältetremor wacher, chronisch spinalisierter Kaninchen im Vergleich zum Kältezittern intakter Tiere. *Pflügers Arch.*, 302, 333-356.
- 10) Kosaka, M. & Simon, E. (1968): Der zentralnervöse, spinale Mechanismus des Kältezitterns. *Pflügers Arch.*, 302, 357-373.
- 11) Marsden C. D., Meadows J. C. and Merton P. A. (1976): Fatigue in human muscle in relation to the number and frequency of motor impulses. *J. Physiol.*, 258, 94-95.
- 12) Nishioka, K.: personal communication.
- 13) 大渡 伸, 小坂光男, 土屋勝彦, 井元孝章, 近藤正行, 山口和正 (1981): ウサギの寒冷ふるえ筋電図における群化放電 (Grouping Discharge) の解析. 熱帯医学, 23(1), 61-67.
- 14) 佐野竹彦 (1974): クラスター分析結果の安定性について. 教育心理学研究, 22(3), 45-49.
- 15) Spaan, G. u. Klusmann, F. W. (1970): Die Frequenz des Kältezitterns bei Tierarten verschiedener Größe. *Pflügers Arch.*, 320, 318-333.
- 16) Stephens, J. A. & Taylor, A. (1970). Changes in electrical activity during fatiguing voluntary isometric contraction of human muscles. *J. Physiol.* 207, 5-6.
- 17) Stephens J. A. and Taylor A. (1972): Fatigue of maintained voluntary muscle contraction in man. *J. Physiol.*, 220, 1-18, (London).
- 18) Stuart, D., Ott, K., Ishikawa, K. & Eldred, E. (1966): The rhythm of shivering, I, General sensory contributions. *Am. J. Phys. Med.*, 45, 61-74.
- 19) Stuart, D., Ott, K., Ishikawa, K. & Eldred, E. (1966): The rhythm of shivering, II, Passive proprioceptive contributions. *Am. J. Phys. Med.*, 45, 75-90.
- 20) Stuart, D., Ott, K., Ishikawa, K. & Eldred, E. (1966): The rhythm of shivering, III, Central contributions. *Am. J. Phys. Med.*, 45, 91-104.