

心拍反応のデーター処理法

清 水 秀 美

心周期を心理学で指標として使用する場合多くの問題が存在する。その一つは心周期の刺激に対する反応が常に明確に出現するとは限らない点にある。即ち心周期は自発的変動、呼吸性不整脈、体動による変動をも反映し、刺激による変化成分のみを取り出すことは困難である。この点に関して今だに最終的解決は与えられていない。

更に(1)心周期の測定単位を選択、(2)得られた多くの心周期のデーターからどの心周期を取り出すかというサンプリングの方法、(3)刺激を与える前の心周期水準が、刺激後の反応に及ぼす効果についても問題が残されている。当論文の目的はこの三点について今までの研究がどのように対処してきたかを概観することにある。

1. 心周期の測定単位

心臓の周期的活動を研究する場合、可能な最小の単位は一つの心周期が完結する時間である。これは一サイクルに要する時間（心周期；cardiac cycle, IBI；interbeat interval, 又 RR interval——操作的便宜からR波を指標にした場合——と呼ばれる）、あるいは1分間あたりの心拍数（HR in bpm）⁽¹⁾として表示される。これらの単位を用いた研究は数多い。しかしそのいずれを使用するかは研究者の好み及び実験装置に左右されていることが多いようである。Lipton et al. (1961)⁽²⁾, Black (1965)⁽³⁾ はそれらの単位が異なる意味をもち、かつ実験結果に差異をもたらすことを指摘している。Lipton らによるとHRとRR間隔の関係は次式で与えられるとする。

$$\frac{60}{\text{RR interval (sec)}} = \text{HR in bpm}$$

この関係は図1に示される。問題はこの変換が nonlinear であることにある。明らかに RR

(1) 心理学研究ではHRと略記されることが多く、又瞬時心拍数（instantaneous heart rate）と同義に使用される場合が多い。

(2) Lipton, E.L., Steinschneider, A., & Richmond, J.B. Autonomic function in the neonate: III. Methodological considerations. *Psychosomatic Medicine*, 1961, 23, 461—471.

(3) Black, A.H. Cardiac conditioning in curarized dogs: The relationship between heart rate and skeletal behaviour. In W.F.P. Prokasy (Ed.), *Classical conditioning: A symposium*. New York: Appleton-Century-Crofts, 1965, Pp20—47.

清水：心拍反応のデーター処理法

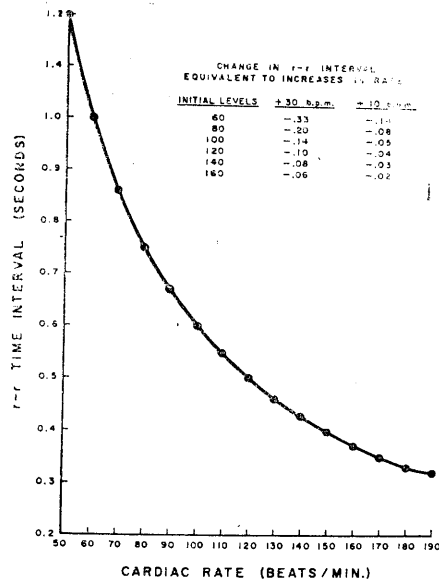


図1 Lipton et al. (1961, Fig.1)

間隔が大きい時の変化成分はHRではより小さく、間隔が小さい時それはより大きく現われる。従って HR と RR 間隔という二つの測定単位は心臓の周期的活動の測定において異なる 重みづけをしていることになる。そのいずれがより正しいのかということに関して生理学的観点からは現在のところ解決は与えられていない。しかしながらいずれの単位がより発見的価値を有するか、即ちそのことについて統計的操作上から一つの決定が可能であろう。理論的には一方の単位を使用して得られた測定値が正規分布するなら (parametric statistics で重要な前提)、他方による測定値は、変換が nonlinear であるから正規分布を示さないことになる。しかし実際には linear な関係から逸脱する程度はそれほど大きくないと思われる。成人の正常な範囲内 (HR が 50~110)、及び幼児の正常な範囲内 (HR が 100~160) で両単位は近似的に直線関係を示すと看しうるからである。

個人内で得られたデーターを基に Lipton らは⁽⁴⁾、新生児の HR 変化量と刺激前の HR 水準と対応させた散布図 (scattergram) から、HR の対数変換値がより有効であるとしている⁽⁵⁾。しかし両単位、及び log HR での分布についてのデーターは公表されていない。一方集団から得られたデーターについての検討も公式には発表されていない。しかしながら Clifton et al. (1968)⁽⁶⁾ は HR が集団内で正規分布を示すことを見いだしてデーター処理を行なっている。

現在のところいずれの単位がより長所を有するか統計的操作の観点からも決定されえない。た

(4) Lipton et al. 1961: Ibid.

(5) Lipton et al. の一連の研究は刺激前の HR 水準のみを対数変換して処理を行なっている。

(6) Clifton, R.K., Graham, F.K., & Hatton, H.M. Newborn heart-rate response and response habituation as a function of stimulus duration. *Journal of Experimental Child Psychology*, 1968, 6, 265-278.

だといえることは HR を単位として使用している研究が多いことから、データーの比較という点で、HR の方が利用価値があるといえる。

更に単位の選択が重要となるのは、記録及び測定誤差がつきまとう状況においてである。この誤差は RR 間隔を単位とする場合常に一定であるが、HR の場合は一定ではない。例えばポリグラフにより記録された ECG を読む時、誤差の生じる原因及び程度は紙送り速度及び HR 値の範囲に依存する。紙送り速度 25mm/sec で、読み取り誤差を 0.5mm とすれば $\pm 20\text{ms}$ の時差が生じる。これは HR が 60 の時、約 1 心拍の誤差を生じるが、HR が 150 の時 7 心拍の誤差を生じることになる。こういった状況下では RR 間隔の単位が妥当となる。

2. サンプリング

HR 反応に多くの位相が出現する場合を問題とすると、サンプリングに関して考慮しなければならない。即ちサンプリングは HR 反応が識別され、更に反応方向の変換点が検出されうるほど十分詳細になされるべきである。

このサンプリングの詳細さの程度を決定するに、ある実験条件で適切であるからというのではなく、より詳細さの程度を高めた方がよいと考えられる。というのは探索的研究からの要求があり、更に電子計算機によるデーター処理能力の増大の故である。従って多くの研究は、最小可能な一心周期をサンプリングするに到っている。

ここで重要な問題は、時間的経過における HR 反応をプロットする際、時間単位を心周期に求めるか、実際の時間単位にすべきかということである。HR 反応値を Y 軸にとると、前者では X 軸が心拍順位 (beat order)、後者では時間 (sec) がそれぞれ対応することになる。これら二つは各々 beat-by-beat analysis、及び second-by-second analysis と呼ばれている。前者の分析法は Roessler et al. (1969)⁽⁷⁾、Lewis & Wilson (1970)⁽⁸⁾、Keefe et al. (1971)⁽⁹⁾ その他多くの研究で使用されている。しかしながらより多くの諸研究が second-by-second analysis を使用していることは述べるまでもない。

明らかにこの二分析法によって得られる反応曲線は同一ではない。もし X 軸に心拍順位をとり HR 反応値をプロットすると、HR の速い人は、遅い人に比べ、実際にはより短かい時間からサンプリングされたことになる。逆に実際の時間を X 軸にとり、一定時間内で反応値をプロットすると、HR の速い人からは、遅い人より、より多くの心周期をサンプリングすることになる。かかる異なった両分析法は頻繁に使用されているけれども、その使用選択の理由は多くの

(7) Roessler, R., Collins, F., & Burch, N.R. Heart rate response to sound and light. *Psychophysiology*, 1969, 5, 359-369.

(8) Lewis, M.L., & Wilson, C.D. The cardiac response to a perceptual cognitive task in the young child. *Psychophysiology*, 1970, 6, 411-420.

(9) Keefe, F.B., Johnson, L.C., & Hunter, E.J. EEG and autonomic response pattern during waking and sleep stages. *Psychophysiology*, 1971, 8, 189-212.

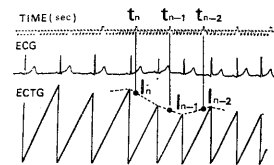
研究において明確には論じられていない。

second-by-second analysis は HR が著しく異なる年齢グループの比較，更に他の付随的活動との対応関係を比較するのに適している。例えば2つの刺激が心拍によるよりむしろ，一定の時間間隔により呈示されるような実験計画，即ち反応時間 (Chease, 1968)⁽¹⁰⁾，条件づけの研究 (Deane & Zeaman, 1958, Deane, 1961)⁽¹¹⁾⁽¹²⁾ 等に使用されうる。

secone-by-second analysis ではサンプリングを1秒ごとに常に行なうことを意味しない。被験体の HR が速い場合1秒以下でサンプリングした方がよいと考えられる。Schachter et al. (1971)⁽¹³⁾ は 100ms ごとにサンプリングを行ない，刺激後1～2秒以内に生じる変化を研究するに有効であることを明らかにした。しかしこのサンプリング時間 100ms は実際の心周期より短かいが故に，一心周期は一つ以上の時点での HR を決定することになる。従って各時点での差異を検討するとき自由度 (df) の減少が生じることになり，この自由度を各時点で修正しなければならないことになる。

second-by-second analysis を用いた研究の多くは一秒ごとに一心周期を抽出している。従って各時点での HR はほぼ心周期一個で決定される。これに対して各時点での心周期とその直前の心周期とを重みづけて(比例配分) HR を決定する方法がみられる。操作的には electro cardiogram (ECTG) をトレースして求められる曲線から各時点での HR を読み取ることになる (Black et al., 1962)⁽¹⁴⁾。

更に後述されてる shortcut method と second-by-second analysis の折衷が可能である。即ち各一秒間に生じる心周期数及び部分周期から HR を算出する方法である (Clifton et al., 1968)⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾。しかしこの分析法の使用例は少ない。その主な理由は計算の困難性にあったようである。しかし電子計算機の使用によってその利用度は高められるであろう。



附 図 1

以上述べた beat-by-beat analysis, second-by-second analysis の他に次のようなサンプリングの方法が存在する。即ち比較的長い時間にわたる心拍平均を求めたり— shortcut method, 数個

(10) Chase, W.G., Graham, F.K., & Graham, D.T. Components of HR response in anticipation of reaction time and exercise tasks. *Journal of Experimental Psychology*, 1968, 4, 642-648.

(11) Deane, G.E., & Zeaman, D. Human heart rate during anxiety. *Perceptual and Motor Skill*, 1958, 8, 103-106.

(12) Deane, G.E. Human heart rate responses during experimentally induced anxiety. *Journal of Experimental Psychology*, 1961, 61, 489-493.

(13) Schachter, J., William, A.T., Khachaturian, Z., Tobin, M., Kruger, R., & Kerr, J. Heart rate responses to auditory clicks in neonates. *Psychophysiology*, 1971, 8, 163-179.

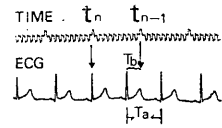
(14) Black, A.H., Carlson, N.J., & Solomon, R.L. Exploratory studies of the conditioning of autonomic responses in curarized dogs. *Psychological Monographs*, 1962, 76, 1-31.

(15) t_n, t_{n-1} の各時点での RR 間隔は I_n, I_{n-1} になる (附図1)。

(16) Clifton et al. (1968): Ibid.

(17) $\left(1 + \frac{T_b}{T_a}\right) \times 60$ が $t_{n-1} \sim t_n$ 時間に生じた HR となる (附図2)

の心周期をサンプルとして取り出す方法—sampling method—がそれである。前者では短時間のうちに増減する反応、及び変化方向の変換点を発見することが困難である (Graham & Clifton, 1966)⁽¹⁸⁾。例えばもし刺激後 5 秒間に HR が増加し、次の 5 秒間で刺激前の水準以下に低下したとすると 10 秒間の平均 HR は変化を示さないか、増減のいずれの



附 図 2

要因がより大であるかを反映するにすぎない。更に反応が 1 分間の平均で求められ、刺激後 HR が 12 増加したとしても反応の形、即ち二相性か三相性かといったことに関してなんの情報も得られないことになる。

sampling method でも反応の形についての情報は与えられないし、方向の変換点も明らにはならない。更に刺激前の最大 HR 6 個と刺激後の最大 HR 6 個の平均を比較し、最大反応量を算出する方法では (Lacey, 1956)⁽¹⁹⁾、過少評価が生じる (Lipton et al., 1961)⁽²⁰⁾。というのは刺激前の HR は比較的安定しているのに、刺激後では反応が一過的に生じるからである。しかも反応の尖度が高いほどこの過少評価は大となる (図 2)。更に sampling method では次のような誤りが生じ易い (Graham & Clifton, 1966)⁽²¹⁾。刺激前 2 秒間での HR と刺激後 10 秒間で最も大なる HR 変化の生じる 2 秒での比較を行ったり、刺激前 5 秒間と刺激後 10 秒での最大 HR の抽出を行ったりすることである。このような方法では、刺激前後の平均及び分散が等しいとしても、測定値は明らかに HR の変化を示すものとなる。即ち分布の異なった部位からサンプルが抽出されているからである。例えば次の数の集合を考えれば明らかである。(1, 2, 3, 4, 5) と (1, 1, 2, 2, 3, 3, 4, 4, 5, 5) の平均及び分散は等しい。しかし大きいものから順に 3 個抽出し平均を求めると後者の値がより大となることは明らかである。

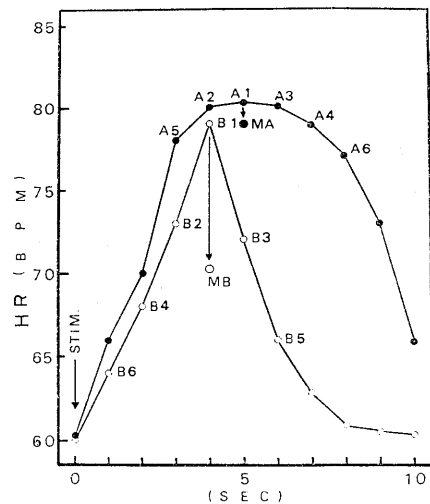


図 2 5 心拍の平均 (MA, MB)

では刺激後を刺激前と比較するにはどうしたらよいだろうか。Clifton et al. (1968)⁽²²⁾ は刺激前 1 秒目の HR と刺激後の各秒ごとの HR とを比較すればよいとしている (LIV の観点から)。即

- (18) Graham, H.K., & Clifton, R.K. Heart-rate change as a component of the orienting response. *Psychological Bulletin*, 1966, 65, 305-320.
- (19) Lacey, J. I. The evaluation of autonomic responses: Toward a general solution. *Annals of the New York Academy of Science*, 1956, 67, 123-164.
- (20) Lipton et al. 1961: Ibid.
- (21) Graham, F.K., & Clifton, R.K. Heart-rate change as a component of the orienting response. *Psychological Bulletin*, 1966, 65, 305-320.
- (22) Graham, F.K., Clifton, R.K. & Hatton, H.M. Habituation of heart rate response to repeated auditory stimulation during the first five days of life.

ち刺激前 5 秒間の HR の平均と同程度に刺激後の反応量を説明しうるからである。今日では刺激直前の HR のみを求めた研究が多くなっている。

以上 shortcut method 及び sampling method には多くの難点もあるが、しかし実験目的に依り有効な場合もある。例えば HR 変動の大まかな傾向を知ろうとする時、しばしば shortcut method が使用され、その例は睡眠実験（藤沢、荒川、1971）⁽²³⁾、生理的リズム（Wieland & Mefferd, 1970）⁽²⁴⁾ の研究にみられる。しかし刺激との関連で HR の反応を調べる研究では、現在使用されることは少ない。

その他に Lipton et al, (1961)⁽²⁵⁾の方法がある。この方法は個々の反応曲線から加速公配、頂点、頂点後の加速低減公配等々の変数（parameter）を抽出し、各変数について平均を求め、再構成反応曲線を求めるものである（詳しくは後述する）。しかしこのような方法を用いる際、それらの変数の値が信頼性及び客観性を有しているか否かが問題となる。特に反応が小さかったり、複雑である場合疑問となる。この方法は比較的融通性を欠き、実験状況が変わり、HR の反応の形に変化が生じた場合、反応についての変数を再定義しなければならないことになる。又加速成分が求められるべき時、加速低減が生じたとすると、それは除外されるか 0 とされることになる。かかる操作的不明確さの故に今日ではこの方法は使用されていない。しかしある変数がある反応の特徴を明示するなら繁雑なデーター処理の効率を高めることになると考えられる。

3. 刺激前 HR 水準の修正

刺激に対する自律反応量は刺激前の機能水準に関係する。かかる関係を明示したのは Wilder (1956)⁽²⁶⁾である。彼は次のように述べている。「生体の反応の強さのみならず、その方向は刺激前の機能水準に大いに関係し、初期値（刺激前の水準）が高まれば高まるほど、反応は小さくなるか、ないしその機能を抑制する作用が強くなる。即ち初期値が高まるにつれ、反応が生じないか、又は逆の反応（paradoxic reaction）が生じる。この事実は全実験の 75～85 % にあてはまる」と述べている⁽²⁷⁾。Wilder (1958)⁽²⁸⁾はかかる関係を自律反応のみならず心理的事象にまで拡大し、

(23) 藤沢清・荒川正吉ポリグラフィによる児童と成人の睡眠の比較 福井大学教育学部紀要1971 87-103.

(24) Wieland, B.A., & Mefferd, R.B. Jr. Systematic changes in levels of physiological activity during a four-month period. *Psychophysiology*, 1970, 6, 669-689.

(25) Lipton et al. 1961: Ibid.

(26) Wilder, J. The law of initial values in neurology and psychiatry. Facts and problems. *Journal of Nervous and Mental Disease*, 1956, 125, 73-86.

(27) 全ての自律反応がそうであるとは限らないとの報告がある（Hord, D.J., Johnson, L.C., & Lubin, A. Differential effect of the law of initial value (LIV) on autonomic variables. *Psychophysiology*, 1964, 1, 79-87）しかし、その際自律反応の測定単位を選択が問題となる（Benjamin, L.S. Facts and artifacts in using analysis of covariance to "undo" the law of initial values. *Psychophysiology*, 1967, 4, 187-206.）。

(28) Wilder, J. Modern psychophysiology and the law of initial value. *American Journal of Psychotherapy*, 1958, 12, 199-221.

一般的法則を確立しようとした²⁹。

かかる初期値の概念が HR 研究に導入されるに到ったのは Lacey の貢献による。彼の一連の研究は Malmo & Shagass (1949)³⁰ の principle of symptom specificity の概念を正常者にまで拡大しようと意図したものであった。即ち各個人の自律神経系は刺激の種類を問わずその個人特有の一定の反応ヒエラルキーを有することを明らかにした。例えば、ある個人はあらゆる刺激に対して pulse pressure > parm. cond. > Heart-rate > Syst. BP > Diast. BP > Var. heart-rate の順に大なる反応を示すのである。彼はかかる事象に relative response specificity なる概念を与えた。ここで次元の異なる諸自律反応をどのようにして比較したらよいかが問題となる。Lacey は 1950 年³¹ の論文では集団内での反応量の順位を尺度とし、1953 年³²、1955 年³³ には集団から得られた T-得点を尺度として諸反応の比較を行なった。しかしながらこれらの論文では初期値は積極的には考慮されていない。1954 年³⁴ に初期値を考慮した論文が出され、ここに使用された方法は 1956 年³⁵ の論文に詳述され、ALS (Autonomic Lability Score) なる概念が提案された。これを契機に多くの批判及び発展がもたらされた³⁶。しかしながら初期値を取り扱った論文では概念の統一が欠けている。表 1 は各研究者により使用された、刺激が与えられる前と後の自律神経系の機能水準、及び変化量に対するタームを示したものである。

当論文では現在よく使用され、又操作的に定義されている刺激前水準 (pre-stimulus level)、刺激後水準 (post-stimulus level) 及び差異得点 (difference score = post-stim. level - pre-stim. level) の概念を使用する。

先ず刺激前水準の修正方法の糸口となった 1956 年の Lacey の論文を概括する。

Lacey の ALS

個人間で自律反応を比較するに際し、望ましく、かつ合理的な実験方法は、反応が刺激前水準

(29) 例えば興奮状態ではウィスキーは鎮静剤として作用し、疲労無気力の状態では興奮剤として作用する。
(30) Malmo, R.B., & Shagass, C. Physiologic study of symptom mechanisms in psychiatric patients under stress. *Psychosomatic Medicine*, 1949, 11-29.

(31) Lacey, J.I. Individual differences in somatic patterns. *Journal of Comparative Physiological Psychology*, 1950, 43, 338-350.

(32) Lacey, J.I., Bateman, D.F., & VanLehn, R. Autonomic response specificity: An experimental study. *Psychosomatic Medicine*, 1953, 15, 8-21.

(33) Lacey, J.I., Smith, R.L., & Green, A. Use of conditioned autonomic responses in the study of anxiety. *Psychosomatic Medicine*, 1955, 17, 208-217.

(34) Lacey, J.I., & Smith, R.L. Conditioning and generalization of unconscious anxiety. *Science*, 1954, 120, 1045-1052.

(35) Lacey 1956: Ibid.

(36) Lacey et al. の一連の研究は自律反応のデーター処理法、及び諸自律反応相互間の関係、諸自律反応と刺激様態との関係に有意義な概念を導入し、その成果は 1963 年 (Lacey, J.I., Kagan, J., Lacey, B. L., & Moss, H.A. The visceral level: Situational determinants and behavioral correlates of autonomic response patterns. In P. Knapp Ed., *Expression of the emotion in man*. New York: International University Press, 1963, Pp161-196.) に総括されている。

表 1

研究者	刺激前水準 (X)	刺激後水準 (Y)	差異得点 (D=Y-X)
Lacey (1956)	initial level	stress level	absolute change
Wilder (1958)	prestimulus level	poststimulus level	
	initial level		change
Block et al. (1959)	prestimulus HR level	stimulus HR level	HR change
Dykman et al. (1959)	prestimulus level	stimulus level	
Wenger et al. (1961)	prestimulus level	response level	
Lipton et al. (1961)	prestimulus level	peak level	peak magnitude
Benjamin (1963)	initial level	poststimulus level	difference score
	prestimulus level		
Hord et al. (1964)	prestimulus level	stimulus level	difference (change) score
Heath et al. (1965)	prestimulus measures	poststimulus measures	change
Steinschneider et al. (1965)	initial level	response level	change score

に従属して変わるという前提が存在するならば、同一刺激前水準のときに刺激を与えればよいことになる。このことは可能であるとしても多くの場合困難なことである。この解決策として Lacey (1956)⁶⁷⁾ は回帰分析手法をもちいた。即ち最小二乗法によって最適回帰直線が、集団から求められた X 得点群 (刺激前水準) と Y 得点群 (刺激後水準) から求められる。その結果この回帰直線と Y 得点との距離から求められる標準偏差が、真の反応の標準偏差の推定値となる。

かかる回帰は X と Y 得点をそれぞれ標準得点 X_z と Y_z に変換すると $\hat{Y}_z = r_{xy} X_z$ ($\hat{Y}_z$ は X_z からの推定値, r_{xy} は XY の積率相関係数である) で表わされる。この式から刺激前水準から平均

的刺激後水準を推定しうる。更に X_z , Y_z 得点群がサンプリング誤差範囲内で等質分散を示すとすれば、刺激前水準を考慮した刺激後水準の標準偏差は $\sigma_{Yz} \sqrt{1 - r_{xy}^2}$ で与えられる (正しくは $\sigma_{Yz} \sqrt{1 - r_{xy}^2} \times \sqrt{(N-1)/(N-2)}$ であるが N が大なら近似的に等しい)。ただし σ_{Yz} は Y_z の全分散の標準偏差 = 1 である。もちろんこの場合 X, Y 得点はそれぞれ正規分布を示すことを前提とする。

かかる関係から刺激前水準を修正して、各個人の刺激後水準が次式をもって比較可能となる (図 3)。

$$ALS = 50 + 10 \left[\frac{Y_z - X_z r_{xy}}{(1 - r_{xy}^2)^{\frac{1}{2}}} \right]$$

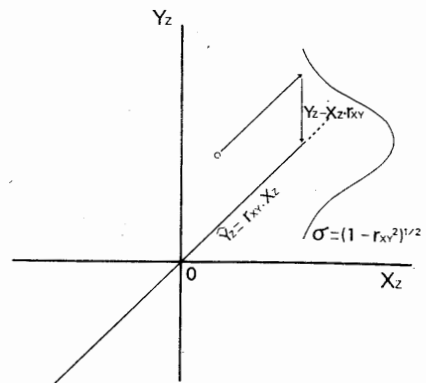


図 3

67) Lacey 1956: Ibid.

この式により変換された得点群は平均=50, 偏差=10 となるように定数が定められている。それは他の諸自律反応を同時に各個人について比較を容易ならしめるためである。例えば冷水テストによる HR 反応の ALS が 50 である場合, その被験者の刺激前水準から予想される平均反応水準と刺激によって生じた反応と全く一致していることを示し, 血圧で ALS=60 の場合は刺激前水準から予想される平均水準から 1 偏差上位に実際の反応が生じたことを示す。従ってこの被験者は HR に比し血圧の反応性が大であるといえる。

ここで注意すべきことは, 相関 r がそれまでよく使用されてきた変化率や, 差異得点からでなく, 粗得点を標準得点化した X_z, Y_z から直接求めたことである。彼は変化率及び差異得点から求められるものは(1)冗長 (redundancy) であり, かつ(2)偽り (spurious) であるとする。冗長性に関していえば, 例えば HR60 の刺激前水準を有する被験者群に変化率や差異得点を求めたとしても, 刺激後水準の高低の順位に関して, より以上の情報を与えるものではない。偽りなる理由は次のように説明される。差異得点 $D=Y-X$, 変化率 $\theta=(Y-X)/X$ で表わし X と D , X と θ の相関を求めると, X 成分が相関の求められる両変数に存在することになり, それ故偽りの相関が求められることになる。

X と D の相関は次式で示される。

$$r_{XD}^2 = 1 - \frac{\sigma_Y^2(1-r_{XY}^2)}{\sigma_Y^2 - 2r_{XY}\sigma_Y\sigma_X + \sigma_X^2}$$

もし $\sigma_X^2 = \sigma_Y^2$, $r=0$ ならば $r_{XY} = -.707$ になる。又もし $\sigma_X/\sigma_Y > r_{XY}$ ならば $r_{XY} > 0$, $\sigma_X/\sigma_Y < r_{XY}$ ならば $r_{XD} > 0$ となる。従って r_{XD} の解釈は困難なものとなる。

X と θ の相関は次式で示される。

$$r_{X\theta} = \frac{\pm \sqrt{1+3V^2}}{\sqrt{\frac{1+8V^2}{1+3V^2} + \frac{1-r_{XY}^2}{\left[\frac{V}{W} - r_{XY}\right]}}}$$

ただし $V = \sigma_X^2/X$, $W = \sigma_Y^2/Y$ とする。

従って $r_{X\theta}$ は変異係数 V , W 及び r_{XY} の函数として表わされる。

以上のことから差異得点及び変化率と刺激前水準との相関は解釈困難性をもたらし, 複雑さをもたらずにすぎないと考えられた。

かかる検討の後, 提案された ALS の持つ特性を Lacey は次のように要約する。

第 1 に, ALS は刺激前水準から独立であり, 回帰直線的前提条件が充たされるなら, 正規分布を示す。

第 2 に, ALS は生理学的理論に基づくという点で差異得点, 及び変化率と異なる。刺激前水準が増加するにも拘わらず一定の変化 (D) がみられるなら, ALS は増大する。

第 4 に, $r_{XY} \rightarrow 0$ の時 ALS は刺激後水準の偏差得点で示される度合が高まる。 $r_{XY} \rightarrow 1$ の時は刺激前水準に依存する度合が高まる。

ALSは集団内 (inter-individual) での各個人の反応を評価する為に提示されたものである。更に ALS が個人内においても使用可能かどうか問題となる。しかし個人内の X, Y 得点はかならずしも正規分布を示さない。従って Macall の T-scores の手法で人為的に正規化を試みる。X, Y の対数変換, 根号変換を試みると後者がより正規性を示すものであったが, これら変換の後, 更に分布の正規性の検定を行なうという手間を除去するという理由からである。

Benjamin の共分散モデル (Covariance XD Model)

Benjamin (1963)³⁹ による ALS に対してなされた批判は Oken & Heath (1963)⁴⁰ による批判と同様, r_{xy} から X と D の関係がどのようなものか, 即ち D の大きさとその方向 (増減) を絶対に知ることが不可能であるという点にある。Wagner (1960)⁴¹ 及び Wilder (1960)⁴¹ も同一立場にある。従って X と D (=Y-X) が取り扱われるべきであるとする。

ではいかなる規準に沿って HR データーを修正すればよいか。Benjamin は Lacey と同様修正された得点が刺激前水準と独立, 即ち相関が 0 であることとする。ただし X と D は回帰直線を前提とする。

この規準に基づき提案されたのが, 分散分析と相関の手法の結合された共分散分析法 (ANOVA) である。分散分析はグループ間, 試行間といった色々な条件間の比較に使用され, 有意差が統計的に検定される。一方相関は刺激前水準と差異得点の二変数が相互に依存する度合を示すものであり, 独立でない場合一変数 D は他の変数 X から予測される。共分散分析ではこの相関成分が除去された後, 各条件間の有意差が分析される。かくして共分散分析は刺激前水準 X という変数が修正された後の D の分析を行なうことになる。従って D の共分散分析は修正得点と刺激前水準との相関が 0 であるべきだとの規準を満足させる。

この共分散 XD モデルから個人を比較するには次式により各個人の得点を求める。

$$d - b_{DX}x$$

ただし $d = D - \bar{D}$, $x = X - \bar{X}$

この共分散 XD モデルと ALS との関係はどのように示されるか。ALS と共分散 XD モデルとを比較する前に共分散 XY モデルを考察する。各個人の比較のため, 次式が与えられる。

$$y - b_{YD}x$$

ただし $y = Y - \bar{Y}$

³⁹ Benjamin, L.S. Statistical treatment of the law of initial values (LIV) in autonomic research: A review and recommendation. *Psychosomatic Medicine*, 1963, 25, 556-566.

⁴⁰ Oken, D., & Heath, H.A. The law of initial values: Some further considerations. *Psychosomatic Medicine*, 1963, 25, 3-12.

⁴¹ Wagner, J. The significance of the S: (a-b) effect in the problem of Wilder's law of initial value. *Basimetry*, 1960, 3, 52-55.

⁴¹ Wilder, J. Discussion of: Wagner, H, The significance of the a: (a-b) effect in the problem of Wilder's law of initial value. *Basimetry*, 1960, 3, 55-57.

Garside (1956)⁽⁴²⁾ により $b_{YX}=b_{DX}+1$ が与えられているから、

$$y-b_{YD}x=d-b_{DX}x$$

又 $(d-b_{DX}x)$ の全分散 $= (y-b_{YD}x)$ の全分散 $=$ 共分散 XD の全分散 $=$ 共分散 XY の全分散となることは明らかである。もし $d-b_{DX}x$, $y-b_{YD}x$ が標準化されるなら次式が成り立つ。

$$\frac{D_Z - r_{XD}X_Z}{(1-r_{XD}^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{Y_Z - r_{DY}X_Z}{(1-r_{DY}^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (43)$$

これらの標準得点に 10 を乗じ 50 を加えると、Lacey の ALS と等しくなる。従って Lacey の ALS は共分散 XY モデルに基づくものであり、共分散 XY モデルは共分散 XD モデルと等価である。以上のことから次のような事が明らかとなる。

第 1 に、差異得点と刺激後水準のいずれを使用すべきかという、選択上の問題は解決される。

第 2 に、 r_{XD} の使用が偽りであるとの批判は否定される。

第 3 に、ある刺激がネガティブな反応（減少）を引き起すなら ($D < 0$)、ALS が 50 以下の時、その反応は平均より大であるといえる。

かくして共分散 XD モデルは ALS と共通性を有し、かつ一般的統計的手法、共分散分析の使用を可能とした。

共分散 XD モデルの発展と問題点

Benjamin は Lacey の ALS に対して、共分散モデルを提案した。しかし結論として ALS との等価性を導き、Y の代りに D を使用しても個人間の比較においては異なる結果が認められないことを明らかにした。しかし彼は D を使用する理由、即ち刺激後水準の量と方向についての共分散 DX モデルからの考察を明示していない。

現在ではより積極的に量と方向を知るという目的で次の式が使用される。この式により

$$AD = D - b_{DX} (X - \bar{X})$$

ただし b_{DX} は各条件をこみにして求められた回帰係数 (pooled linear regression coefficient),

AD : Adjusted Difference.

名条件下での各測定を修正する (AD—score)。かかる修正得点を用いた研究には次のものがあげられる。Chase et al. (1968)⁽⁴⁴⁾, Graham et al. (1968)⁽⁴⁵⁾, Clifton et al. (1968)⁽⁴⁶⁾, Clifton & Meyers (1969)⁽⁴⁷⁾, Meyers (1969)⁽⁴⁸⁾ 等である。

(42) Garside, R.F. The regression of gains upon initial scores. *Psychometrika*, 1956, 21, 67-77.

(43) $\sigma_D = (\sigma_Y^2 - 2r_{XY}\sigma_X\sigma_Y + \sigma_X^2)^{\frac{1}{2}}$

$r_{XD} = (r_{XY}\sigma_Y - \sigma_X) / \sigma_D$

(44) Chase et al. (1968) : Ibid.

(45) Graham et al. (1968) : Ibid.

(46) Clifton et al. (1968) : Ibid.

(47) Clifton, R.K., & Meyers, W.J. The heart-rate response of four-month-old infants to auditory stimuli. *Journal of Experimental Child Psychology*, 1969, 7, 122-135.

(48) Meyers, W.J. The influence of stimulus intensity and repetition on the mean evoked heart rate response. *Psychophysiology*, 1969, 6, 310-316.

この手法が使用されるのは各条件内で求められる回帰係数が標本抽出誤差範囲内で等しいことが前提となる。しかしながらこのことは HR データーでは常に保証されるのではない。Block & Bridger (1962)⁴⁹ の研究にみられるように b_{DX} は刺激の強さ及び反覆回数によっても変わるものである。

この回帰係数の等質性は、特に個人間の比較を、各個人について求められた単一測定値でもって行なう時間問題となる。例えばある集団の b_{DX} が求められている時、被験者 A, B を比較すると図 4—I では刺激前水準 X, X' を問わず A が B より大なる反応性を有するといえる。しかし図 4—II では刺激前水準 X では A が B より大なる反応を示すが、X' では逆になる。従って各個人の回帰係数が等しくないなら回帰分析手法をもちいた比較はできないことになる。各個人の示す回帰係数に著しい差がある (Steinschneider et al., 1964)⁵⁰ とすれば、ALS, 共分散モデル, AD 得点による個人間比較は無意味なものとなる。

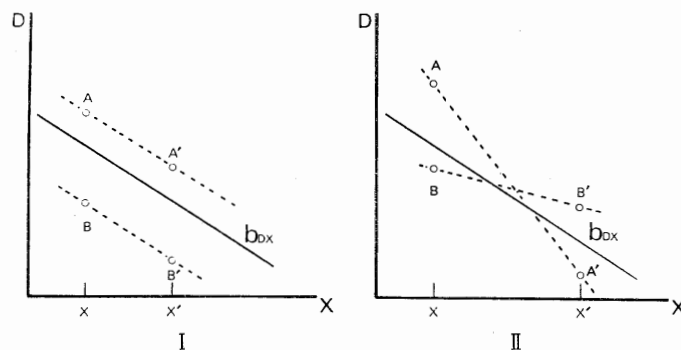


図 4

更に各条件（時間条件を含む）をこみにした回帰直線から算出された AD 得点を各条件で平均し反応曲線を求めるとき、刺激前水準は各条件で 0 とならない。このことは刺激前水準を一定にして比較すべきだとの要求に完全に答えるものではない。しかし AD 得点化により刺激前水準の散りが減少することは認められる。

上述された ALS, 共分散 XD モデル, AD 得点では b_{YX} , b_{DX} 成分をむしろ除去しようとする試みであった。かかる成分をより積極的に個人間の比較において取り扱ったのが Lipton 一派の研究である。

Lipton 一派の研究

Lipton 一派は一連の研究において、新生児の HR 反応にみられる個人差を見い出す為のデータ

⁴⁹ Block, J.D., & Bridger, W.H. The law of initial value in psychophysiology: A reformulation in terms of experimental and theoretical considerations. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1962, 98, 1229-1241.

⁵⁰ Steinschneider, A., Lipton, E.L., & Richmond, J.B. Autonomic function in the neonate: VI. Discriminability, consistency, and slope as measures of an individual's cardiac responsivity. *The Journal of Genetic Psychology*, 1964, 105, 259-310.

一処理法を探索した。この個人差を見い出すことが、身心疾患、自律神経機能失調への傾向が一体何かという問題にある手掛りを与えると考えられたのである (Lipton et al., 1964)⁵¹⁾。

彼等の実験は空気流触刺激に対する HR 反応を分析することであった (Lipton et al., 1960)⁵²⁾。分析に際し各時間点での平均反応量を求め、平均時間曲線 (average time curve) を得、これから曲線の諸変数を抽出する方法に懐疑的である (Lipton et al., 1961)⁵³⁾。平均時間曲線の形は必然的に、多くの個々の反応曲線と類似した形を示す。しかし平均時間曲線から得られた諸変数値は個々の曲線に対して妥当な変数を最も正確に予測するものではない。例えば最大刺激後水準という変数を推定する際、その水準が一定で、その最大水準に到達する時間のみが変わるとすると、単純に各時点での HR 反応を平均すると、その結果最大刺激後水準の推定は実際より小さな値を示すことになる。従って最良の推定法は、各 HR 反応曲線から各変数の値を測定し、各々についての平均値を求めることになる。かくして再構成反応曲線が求められる。

彼等は次の 11 個の変数を設定する。

1. Prestimulus level: 刺激呈示 1 秒目の HR.
2. Peak level: 刺激中ないし後に達する HR の最大ないし最小値。
3. Peak magnitude: Peak level と prestimulus level との差。
4. Primary slope magnitude: peak に達する前の最大 beat—beat 間の差。
5. Return level: 反応が終ったと思われる所で HR が prestimulus level と同じ、ないし以下になる水準。
6. Return magnitude: return level と peak level の差。
7. Secondary slope magnitude: peak level と return level との間で生じる最大 beat—beat 差
8. Base I level: primary slope 直前の HR.
3. Base I magnitude: base I level と prestimulus level との差。
10. Base II level: secondary slope の直前の HR.
11. Base II magnitude: base II level と peak level の差。ただし base I level と base II level は primary & secondary slope magnitude の算出目的の為求められる。なおこれらの変数に伴う時間も取り扱われる (図 3)

これらの変数に対して詳細な考察を加えた後、個人を比較するのに三つの指標が妥当であるとの結論に達している (Steinsehneider & Lipton, 1965)⁵⁴⁾。

第一に、homeostatic capacity という観点から各個人の b_{yx} (Y は peak magnitude) を求め比較する。従って b_{yx} は個人により異なることが前提とされる。

51) Lipton, E.L., Steinschneider, A., & Richmond, J.B. Autonomic function in the neonate: VIII. Cardio-pulmonary observation. *Pediatrics*, 1964, 33, 212-215.

52) Lipton, E.L., Steinschneider, A., & Richmond, J.B. Autonomic function in the neonate: II. Physiologic effects of motor restraint. *Psychosomatic Medicine*, 1960, 22, 57-65.

53) Lipton, E.L., Steinschneider, A., & Richmond, J.B. Autonomic function in the neonate: IV. Individual differences in cardiac reactivity. *Psychosomatic Medicine*, 1961, 23, 472-484.

54) Steinschneider, A., & Lipton, E.L. Individual differences in autonomic responsivity. Problem of measurement. *Psychosomatic Medicine*, 1965, 27, 446-456.

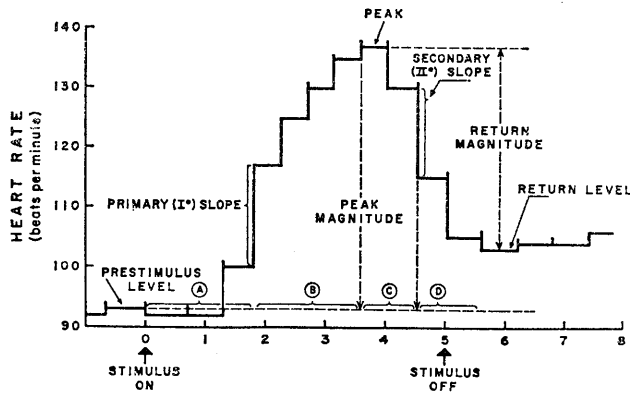


図 5 Steinschneider et al. (1964, Fig. 1)

第二に、推定標準誤差ないし、回帰直線のまわりの分散を個人の比較に使用する。この意味するものを追求する過程において、弁別比 (discriminability ratio) という概念を展開し、これは次式により与えられる (Steinschneider et al., 1964)。

$$\text{Discriminability Ratio} = b_{YX} \div S_{YX}$$

ただし S_{YX} は推定標準誤差。

これを統計的に説明すれば、二つの HR 反応間に統計的差を検出するには、刺激前水準間にどれほどの差が存在しなくてはならないかということになり、差が小さいほど弁別比はより大となる。換言すれば、刺激前水準が変わった時、刺激後水準を一定方向に変える系の能力 (capacity) といいうる。

例えば図 6A と図 6B では S_{YX} は等しく、 b_{YX} は異なっている。この場合刺激前水準 X_1 での反応と有意に異なった反応を示すのは前者で X_3 、後者では X_2 となる。図 6A と図 6C は b_{YX} は等しく S_{YX} が異なる場合であり S_{YX} の大なる後者がより大なる X_4 を必要とする。従って b_{YX} が大きく、 S_{YX} が小さいほど弁別比は大きくなるはずである。

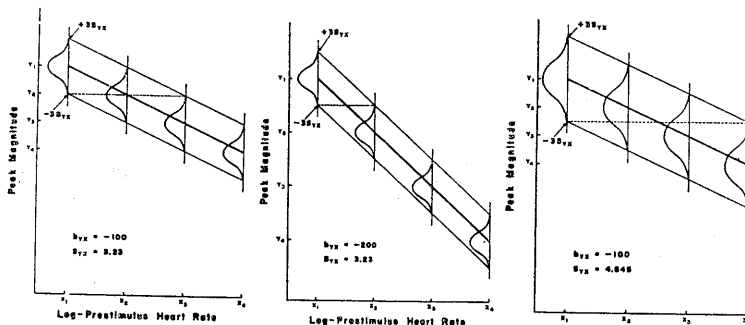


図 6 Steinschneider et al. (1946, Fig. 4)

55 Steinschneider et al. (1964) : Ibid.

第三に、各個人の反応性 (responsivity) を比較することである。しかしこの場合の難点は、差異得点 (peak magnitude=Y) が刺激前水準と関連するということである。従ってどの刺激水準で個人を比較するかが問題となる。この際、各被験者を一定の刺激水準で比較することはできない。それは前述したように b_{yx} が個人により異なるからである。更に刺激前水準の HR が 100 での差異得点を比較する場合、ある被験者は活動しているかもしれないし、又ある者は眠っているかもしれない。従って個人を効果的に比較するには同一活動状態で比較することが必要となる (Bridger & Reiser, 1959, Block & Bridger, 1962)。^{56,57} この問題に対する一つの解決法は、各被験者の最大反応性という観点で個人を比較することである。即ち刺激前水準と差異得点とが負の相関を示す場合、最大差異得点の推定は最小刺激前水準で求められる。又最大刺激前水準での差異得点も比較の対象となる。被験者が極度に落ち着かなく、刺激前水準が最大の時である。しかしかかる方法の基本的弱点は極端な状態を規定する実験者の能力に左右されることにある。更に各個人の刺激前水準の平均点における平均差異得点を比較の指標として使用できる (Lipton, et al., 1966)⁵⁸。

Lipton 一派の研究は幼児の HR 反応の比較検討にあった。幼児の HR は変動性が大であり、一定の刺激前水準を示すものではない。従って刺激前水準をどのように統制したらよいかが重要な問題となり、そこに回帰モデルが導入され、そこで提案された各指標について詳細な分析が行なわれた。しかし前述したように反応曲線からの変数の抽出の困難性の故にあまり使用されていない。ただし、Clifton & Graham (1968)⁵⁹ はこの諸指標の集団、及び個人内での信頼性を検討し、ただ個人内の b_{yx} の信頼性が低いと報告している。

その他の方法

Oken & Heath (1963)⁶⁰ は ALS が、 r_{xy} の小なる時、刺激後水準のみの標準偏差を示すことを指摘し、新しいデーター処理法を提案した。即ち ZDZ の算出である。ZDZ は刺激前 (X)、後 (Y) の HR をそれぞれ標準得点化し、その差を更に標準化して求められる。ZDZ は次式で表えられる。

$$ZDZ = \frac{Y_z - X_z}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum (Y_z - X_z)^2}}$$

彼等の意図は r_{xy} が 0 の時でも、常に刺激前水準 X_z を考慮した修正法を導こうとしたのであ

⁵⁶ Bridger, W.H., & Reiser, M.F. Psychophysiological studies of the neonate: An methodological and theoretical problems involved. *Psychosomatic Medicine*, 1959, 21, 265-276.

⁵⁷ Block & Bridger (1962) : Ibid.

⁵⁸ Lipton, E.L., Steinschneider, A., & Richmond, J.B. Autonomic function in the neonate: VII. Maturation change in cardiac control. *Child Development*, 1966, 37, 1-16.

⁵⁹ Clifton, R.k., & Graham, F.K. Stability of individual difference in heart rate activity during the newborn period. *Psychophysiology*, 1968, 5, 37-50.

⁶⁰ Oken & Heath (1962) : Ibid.

る。しかし $Y_z - X_z$ そのものが刺激前水準により変化するというを見落していることになる。従って $b_{yx}=1$ ないし $b_{dx}=0$ の時にのみ使用可能なことになる。同様の理由で単純に b_{dx} , b_{yx} により修正されない差異得点を使用することに対しても疑問がもたれる。

又次式により与えられる変化率を算出する方法がある。

$$\text{変化率} = \frac{\text{刺激後水準} - \text{刺激前水準}}{\text{刺激前水準}} \times 100 \quad \text{61)}$$

この方法はすでに Lacey により批判されている。刺激前水準が高くなるにつれ一定の差異得点はより小さな変化率をもたらす。これは一体何を意味するのか。変化率得点は身心研究で意味をもたない (Heth & Oken, 1963)。⁶²⁾

その他順位差 (Rank Orden Difference) (Wenger, 1961)⁶³⁾, 末修正の刺激後水準を指標とする方法が考えられるが、いずれも刺激前水準を考慮していない点で批判の余地を残している⁶⁴⁾。

61) 心理学実験指導研究会編実験とテスト—心理学の基礎—1969, Pp93.

62) Heath, H.A., & Oken, D. The quantification of "response" to experimental stimuli. *Psychosomatic Medicine*, 1965, 27, 457-471.

63) Wenger, M., Clemens. T.L., Coleman. D.R., Cullen, T.D., & Engel, B.T. Autonomic response specificty. *Psychosomatic Medicine*, 1961, 23, 185-193.

64) 全面的にこの方法を否定するのではない。宇宙飛行士選択に際し、g の力に対して HR が限界水準を越えない人を見い出さなければならない。ここでは g の力による HR 反応水準のみが問題となる (Heath et al., 1965: Ibid.).