

## 閾値強度を考慮したモデルによる視覚刺激に対する 単純反応時間の解析

正員 百田 正広<sup>†</sup>      正員 三池 秀敏<sup>††</sup>  
非会員 林 晋一郎<sup>††</sup>      正員 蛭名 良雄<sup>††</sup>

Analysis of Simple Reaction Time to Light Stimuli by  
the Model Considering Threshold Intensity

Masahiro MOMOTA<sup>†</sup>, Hidetoshi MIIKE<sup>††</sup>, Members,  
Shin'ichiro HAYASHI<sup>††</sup>, Nonmember and Yoshio EBINA<sup>††</sup>, Member

あらまし 視覚刺激の強度に対する単純反応時間の振舞いに関して、Piéronは刺激強度  $I$  と反応時間  $RT$  の関係を初めて定量的に表式化し  $RT = RT_0 + K/I^\beta$  を与えている。 $RT_0$  は刺激光強度が十分強いときの反応時間の漸近値で、 $K$  は定数、 $\beta$  はべき指数である。しかし、刺激光の継続時間が変わると  $RT_0$ 、 $K$  および  $\beta$  は変化することが報告されている。そこで我々は、(1)反応できる刺激光強度には限界があるのではないか、(2)刺激継続時間  $D$  の効果を明確に表現できないか、という点に注目し、刺激光強度の弱い領域と刺激時間間隔の短い領域での詳細な実験を行った。その結果、Piéronの式に閾値刺激光強度  $I_{th}$  を導入し  $RT = RT_0 + K'/(I - I_{th})^\beta$  とすることで、刺激継続時間が変化しても、 $RT_0$ 、 $\beta$  は定数として取り扱えることがわかった。更に、刺激の強さを光の強度でなく刺激光の積算エネルギー ( $E = I \times D$ ) として捉えることにより、光刺激に対する反応時間の現象を表す式として、 $RT = RT_0 + K''/(E - E_{th})^\beta$  を得た。ここで  $RT_0$ 、 $K''$ 、 $\beta$ 、 $E_{th}$  は被験者が決まればすべて定数となり、積算刺激エネルギー  $E$  が与えられれば、反応時間は一意的に決定される。また  $K''$ 、 $\beta$ 、 $E_{th}$  は被験者によらない定数である可能性も示された。

### 1. ま え が き

人間が、外からの情報を知覚し思考判断した後、適当な行動を行うのに要する時間である反応時間 (RT: Reaction Time) には、脳での精神現象の情報が多く含まれていることが期待される。このことを積極的に利用し、人間の意識水準あるいは、精神活動を調べようとする多くの試みがある<sup>(1)~(9)</sup>。我々は、従来健常者と精神分裂症患者を対象に視覚刺激に対する反応時間の統計的差違に関する報告を行ってきた<sup>(9)~(13)</sup>。その際、与える光刺激の強度は、反応が起こる適当な強さとした。しかし、反応時間が刺激光強度に依存することは良く知られている<sup>(4), (10)~(13)</sup>。本研究では、従来使用してきた刺激光強度の反応時間への影響の大きさを調べるとともに、反応時間の基本的特性を見直す目的で、反

応作業に熟練した被験者 (健常者) を対象に反応時間の刺激光強度依存性の詳しい計測を行った。

Piéron<sup>(4)</sup> は刺激強度 ( $I$ : Intensity) と反応時間の関係を初めて定量的に表式化し、

$$RT = RT_0 + K/I^\beta \quad (1)$$

を与えた (Piéron's law: 1952)。ここで  $RT_0$  は刺激強度が十分強い時 ( $I \rightarrow \infty$ ) の反応時間の漸近値であり、 $\beta$  はべき指数、 $K$  は比例定数を示す。最近の研究によっても式(1)がほぼ妥当であることが報告されている (Mansfield<sup>(9)</sup>, Ueno<sup>(10)</sup>)。しかし、Ueno<sup>(10)</sup> は、従来 0.3 あるいは 0.33 とされていた指数  $\beta$  の値や、漸近値  $RT_0$  が刺激継続時間 ( $D$ : Duration) や刺激光源の寸法により変化することを明らかにしている。このことは種々の刺激継続時間に対する反応時間の振舞いを記述する際に各刺激継続時間に対して  $RT_0$ 、 $\beta$ 、 $K$  の3つをパラメータとして変えなければならないことを意味しており式(1)の適用の限界を感じさせる。また式(1)は、どんなに刺激光が弱くとも時間をかければ反応できることになり、閾値下刺激では感覚系は応答しな

<sup>†</sup> 徳山工業高等専門学校情報電子工学科, 徳山市  
Tokuyama Technical College, Tokuyama-shi, 745 Japan  
<sup>††</sup> 山口大学工学部電気工学科, 宇部市  
Faculty of Engineering, Yamaguchi University, Ube-shi,  
755 Japan

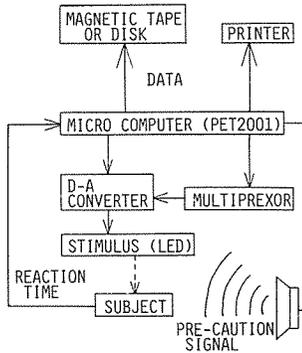


図1 システムブロック図

Fig. 1 The block diagram of the total system.

という生理学的知見と合致しない。

我々は、

- 1) 反応できる刺激強度に限界があるのではないかと
- 2) 刺激継続時間の効果を明確に表現できないかと

という素朴な疑問点より刺激光強度の非常に弱い領域と刺激継続時間の非常に短い領域に注目し詳細な実験を行った。

## 2. 実験装置と手順

図1に、実験システムのブロック図を示す。実験は、すべてマイコン (PET2001: Commodore Inc.) に、諸条件をセットすることにより制御されている。ボタンスイッチ、光刺激用の発光ダイオード (LED) および予告刺激用のスピーカも、マイコンにより制御されている。なお、反応時間を計測するカウンタは、マイコン内にソフトウェアで組み込まれている。光刺激に使用するLEDは、中心波長650nmで光源の直径約0.5mmの赤色を発するものを使用した。点灯するLEDの明るさの選択は、マイコンの出力ポートの五つのビットにより制御され、 $2^5=32$ 段階で変化する。また、バイアス電圧 $V_c$ を変化させることでも、LEDの明るさの強弱を調整できる。これによって実験に使用するLEDに流す電流を $1 \times 10^{-3} \text{ mA} \sim 50 \text{ mA}$ の範囲で自由に調節することが可能である。

まず、このLEDの電流 $I_i$ と明るさの関係を明らかにする必要がある。刺激強度はLEDの輝度に比例するので、LEDの光をPINフォトダイオード (S1223-02: HAMAMATSU) で受光し、その光電流を測定することにより相対的に表すことができる。すなわち、フォトダイオードの光電流は光量 $(L)$ があまり大きくない範囲 ( $10^{-10} \text{ w} < L < 10^{-4} \text{ w}$ : HAMAMATSU フ

ォトダイオード・カタログより) では、光量にはほぼ正確に比例することを利用した。そこで、LEDの電流 $I_i$ を変化させ、PINフォトダイオードの光電流 $I_0$ を測定した。その結果LEDの電流が弱い範囲 ( $10^{-3} \text{ mA} < I_i < 1 \text{ mA}$ ) では、

$$I_0 \propto I_i^r \quad (r=1.4)$$

と表せる。この結果をもとにLEDの明るさ、つまり刺激光強度は、 $I_0$ の値で相対的 (Relative Luminance) に表すことにする。ただし、使用している光源に違いがあるが $I_0=1 \text{ nA}$ は輝度約 $0.04 \text{ cd/m}^2$ に相当するとUeno<sup>10)</sup>の実験結果との比較により推測される。次に、LEDの点灯が短い継続時間の刺激に対しても十分かどうか、その追従性を調べた。受光素子にやはりPINフォトダイオードを用い、デジタルメモリ (サンプリング時間 $1 \mu\text{s}$ ) で測定した結果、実験に用いた範囲 ( $0.05 \text{ ms} \leq D$ ) では、きれいな矩形波であることを確認している。

実験の手順は、まず刺激の予告として予告信号を、スピーカから与える。予告信号よりある間隔をおいて決められた明るさ、長さでLEDが点灯する。点灯し始めると同時にカウンタが作動し、 $0.1 \text{ ms}$ の精度で反応時間のカウントを開始する。被験者はLEDの点灯を刺激として認知し、スイッチを押す。同時に、カウンタはカウントを終了する。この一連の動作が終了すると一定時間後、次の予告信号が出力され次の試行が行われる。一方、予告信号からLED点灯までの間隔は、 $2.5, 3.0, 3.5 (s)$ の3種の間隔をランダムに選んで与えている。これは、刺激を一定間隔で与えると被験者が予告から刺激までのタイミングを合わせ易くなり、反応作業に予測の効果が入ることを防いでいる<sup>11)</sup>。ただし、実験ごとの刺激間隔に順序の変化はなく一定にしている。

被験者は、これまでに反応時間実験に十分熟練した、視力の正常な男性2名を対象とした。被験者の年齢および視力は表1の通りである。

## 3. 刺激強度の変化に対する反応時間の変化 刺激継続時間一定の場合

### 3.1 実験方法

この実験は、刺激継続時間が一定の条件下で刺激強度を変化させる実験である。1回の実験は、4段階の刺激強度をそれぞれ25試行ずつ含む計100試行の反応操作により構成されている。4段階の刺激強度は、常に強い方から弱い方へと変化させて実験を行う。各

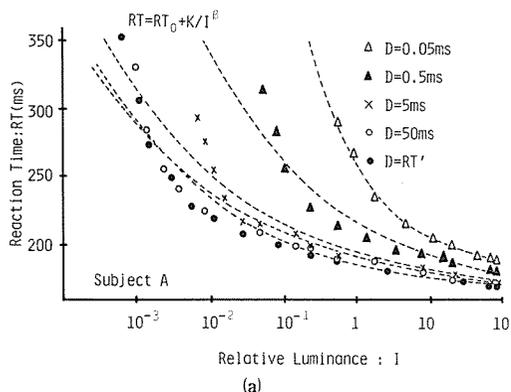
表1 被験者の年齢および視力

	Age	Sight	
		Right	Left
Sub. A	21	1.2	1.5
Sub. B	33	1.0	1.0

4種類の刺激強度に対する25個の中央値(median)を、1回の評価値とした。実験を繰り返し行い、それぞれの刺激強度に対して、4～8回の評価値を平均して、反応時間値とした。実験では、刺激継続時間をパラメータとし、0.05, 0.5, 5, 50msおよび反応があるまで点灯を続ける(RT')の5種類についてそれぞれ刺激強度を上述のように変化させ測定を行った。

1回の実験につき、4段階に刺激強度を変化させた理由は、同種の刺激ばかりで100試行反応を繰り返したのでは、1回の実験ごとの被験者の状態等の変化が、データに大きく影響すると予想されるからである。これを防ぐため上述のような実験方法を取り、各段階の中央値を求め、更に日を改めてとった数回の実験データの平均を求める方法を用いた。

実験は、防音されたシールド室内で行った。室内の明るさは、被験者にLEDの位置がかすかにわかる程度に暗くしてあり、被験者は暗順応している状態で行った。被験者は実験テーブルの前に腰掛け、LEDの点灯を認知し、直ちに手もとにあるボタンスイッチを押すことにより反応する。被験者は、できるだけ速く応答することとLEDを見る位置(LEDの面より30cm)を変えないように指示されている。この実験で使用するスイッチはマイクロスイッチで、閉時に必要な力は約7gである。



(a)

### 3.2 実験結果

図2(a)は、被験者Aについて横軸に刺激強度、縦軸に反応時間をそれぞれ取り、プロットしたものである。この図より次のようなことが分かる。

(a) 刺激継続時間Dをパラメータとした時、反応時間と相対的刺激光強度との関係にはかなり規則性が見られ、特にDが5, 0.5, 0.05msのデータ間の相互関係は、刺激継続時間が1オーダ低下すると、同一の反応時間を与える刺激強度はほぼ1オーダ上昇し右に平行移動した形となっている。

(b) 刺激継続時間Dが5msと50msの間では、平行移動の大きさが小さく、また50msと反応があるまで刺激を続ける場合の反応時間は、ほぼ同一の曲線に乗っている。

(c) 一定の刺激継続時間において刺激光強度が小さいと反応時間が長くなるが、反応できなくなる限界の光強度が存在するようであり、これは刺激継続時間に依存している。

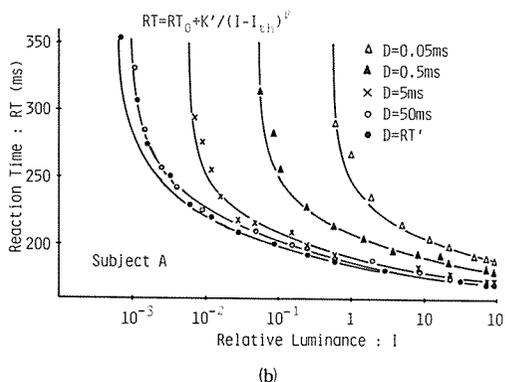
また、被験者Bのデータにも同様の振舞いが見られた。

### 3.3 検討

#### 3.3.1 Piéronの法則によるデータの近似

この章では、まず被験者Aのデータを中心に解析した結果を議論し、被験者Bの結果やAとの違いの議論は3.3.4において行う。

被験者Aの5通りの刺激時間の測定結果に対して、それぞれ式(1)のPiéronの法則<sup>(6)</sup>により、最小二乗法を用いて実験データに近似させた結果を図2(a)に合わせて示す。また、このとき得られた式(1)の各パラメータRT<sub>0</sub>, K, βは表2(a)に示した。データと近似曲線は、



(b)

図2 (a)反応時間の刺激強度変化および式(1)による近似曲線(被験者Aの場合)、(b)式(2)による近似曲線(被験者Aの場合)  
Fig. 2 (a)The change of reaction time to stimulus intensity of light and best fit curves by Piéron's law(eq.(1))(Subject A), (b)Best fit curves by eq.(2)(Subject A).

表2 モデルによる各パラメータの刺激継続時間依存性の違い(被験者Aの場合)

a) 式(1)の各パラメータ					
D(ms)	RT'	50	5	0.5	0.05
RT <sub>0</sub> (ms)	163	160	161	164	178
β	0.25	0.22	0.23	0.27	0.49
K	2.24	2.85	3.17	5.19	8.47

b) 式(2)の各パラメータ					
D(ms)	RT'	50	5	0.5	0.05
RT <sub>0</sub> (ms)	160	160	160	160	160
β	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
I <sub>th</sub>	6.7×10 <sup>-4</sup>	9.8×10 <sup>-4</sup>	6.4×10 <sup>-3</sup>	0.054	0.58
K'	26.0	27.7	31.5	50.4	75.2
D×I <sub>th</sub>	—	0.049	0.032	0.027	0.029

全体的に一致が悪く特に刺激強度が弱い範囲でそれぞれ不一致が目立っている。これは、式(1)のRTの発散値がどの刺激継続時間に対してもすべてI=0であることに原因していると考えられる。また、表2(a)に示した各パラメータRT<sub>0</sub>、K、βは、刺激継続時間が変わるとそれぞれ変化していることがわかる。特にDが短い領域(0.05ms)でRT<sub>0</sub>やβが急変していることは、モデル式の適用限界を感じさせる。これらの点から、式(1)を刺激強度と反応時間の関係を表す式として適用するのは、特に広い刺激範囲の場合不適当と思われる。

### 3.3.2 閾値強度(I<sub>th</sub>)を導入したモデルによる近似

式(1)の問題点は、まず各刺激継続時間に対して、それぞれ反応することのできる刺激強度に閾値が存在するのではないかという点である。そこで、この仮定に基づいて閾値刺激強度(I<sub>th</sub>)を導入して次のようなモデル式を考えた。

$$RT = RT_0 + K' / (I - I_{th})^\beta \quad (2)$$

この式を用いるべくRT<sub>0</sub>、βを一定にするようにして実験値に近似させた曲線を図2(b)に実線で示す。図より式(2)により近似させた曲線は、式(1)で一致が悪かった刺激強度の弱い範囲においても十分データと一致している。表2(b)にその時得られた式(2)の各パラメータRT<sub>0</sub>、β、K'、I<sub>th</sub>を示す。これから、注目すべきは刺激継続時間が変化しても、RT<sub>0</sub>=160ms、β=0.2と一定になっている点である。すなわち、式(2)においてデータに近似させるパラメータの調整は、K'、I<sub>th</sub>の二つだけとなり、式(1)によるRT<sub>0</sub>、β、Kの三つの調整

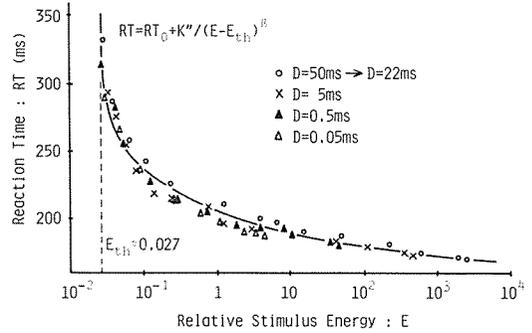


図3 反応時間の刺激光エネルギーに対する変化および式(3)による近似曲線(被験者Aの場合)

Fig. 3 The change of reaction time to the relative stimulus energy(E) and a best fit curve by eq.(3)(Subject A).

に比べてむしろ式(2)はI<sub>th</sub>の導入により簡単な形となっている。

また図2(b)から刺激継続時間が、5、0.5、0.05msと1オーダーずつ低下すると、I<sub>th</sub>は逆に1オーダーずつ増加していることに気付く。つまりI<sub>th</sub>×Dの積を計算するとD≤5msでは表2(b)に合わせて示しているようにほぼ一定(約0.03)である。このことから刺激継続時間が短い範囲において、刺激を刺激光強度と刺激継続時間の積(I×D)で与えられる積算エネルギー(E)<sup>0)</sup>として捉えることがより本質的であることが推定される。

### 3.3.3 刺激をエネルギーとして捉えた場合の近似

図3に刺激継続時間が、5、0.5、0.05msの全データに対し反応時間を縦軸に、横軸に刺激積算エネルギー(E=I×D)を取りプロットしたものを示す。全データは、ほぼ同一曲線上に乗り、刺激を積算エネルギーとして捉えることが有効であることがわかる。ここでデータに近似させた図中の曲線の式は、式(2)を少し変形した

$$RT = RT_0 + K'' / (E - E_{th})^\beta \quad (3)$$

$$(E = I \times D, E_{th} = I_{th} \times D)$$

である。ここでE<sub>th</sub>は、反応できる積算光刺激エネルギーの閾値を示しており、これも図3より定数と考えられる。すなわち式(3)においてRT<sub>0</sub>、K''、E<sub>th</sub>およびβはいずれも定数であり、光エネルギー(E)を与えると反応時間が一意的に決定されることを示している。式(3)においてRT<sub>0</sub>=160ms、β=0.2とすると被験者Aに対して

$$RT = 160 + 43 / (E - 0.027)^{0.2} \text{ (ms)} \quad (3)'$$

を得る。式(3)がそのまま適用できるのは、刺激継続時間が、5, 0.5, 0.05 ms の場合で、50 ms については表 2(b)より  $I_{th} \times D$  の値が違ってくることにより、式(3)は適用できない。Teichner<sup>10)</sup>がすでに述べているように、刺激エネルギーで統一的に記述できるのは、刺激継続時間がある値以下であると考えられる。すなわち刺激継続時間がある一定値  $D_0$  以上になると積算刺激エネルギーの増加は、反応時間に影響しなくなると考えられる。そこで刺激継続時間 50ms のデータを式(3)で表すため、 $D_0$  をパラメータとして最小二乗誤差法で計算した。その結果、 $D_0$  は約 22 ms となった。 $D_0 = 22$  ms にしたときの様子を  $\circ$  で図 3 に合わせて示す。これより、反応時間は刺激継続時間が約 22ms 以下の時には、積算刺激光エネルギー ( $E$ ) により、その振舞いを一意的に表すことができると考えられる。つまり、式(3)は、 $D \leq 22$  ms で適用できることになる。また  $D > 22$  ms 以上では、刺激継続時間はすべて  $D_0 = 22$  ms と考えれば式(3)を適用することができるといえる。

3.3.4 被験者が異なる場合

被験者 B の結果についても式(2)を用いて検討した。各刺激継続時間に対しての式(2)の各パラメータの変化を表 3 に示す。表 2(b)と比較すると、被験者を変えた場合も  $RT_0 = 165$  ms,  $\beta = 0.2$  と選べば刺激継続時間によらず一定として理解できる。また、 $D < 20$  ms の条件ではデータと式(2)とは、よく一致することが確認でき、被験者を変えても式(2)が有効なことを確認している。

次に式(3)を用いて検討してみる。刺激時間が、5, 0.5, 0.05 ms のデータについて、 $I \times D$  を積算エネルギー

表 3 被験者 B のモデル式(2)による解析結果

D(ms)	RT'	50	5	0.5	0.05
$RT_0$ (ms)	165	165	165	165	165
$\beta$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
$I_{th}$	$6.2 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-3}$	$5.9 \times 10^{-3}$	0.047	0.59
$K'$	28.2	26.8	31.2	47.5	71.5
$D \times I_{th}$	—	0.050	0.0295	0.024	0.0295

表 4 2人の被験者の反応時間特性パラメータの違い

	$RT_0$ (ms)	$\beta$	$E_{th}$	$K''$
Sub. A	160	0.2	0.027	43
Sub. B	165	0.2	0.026	44

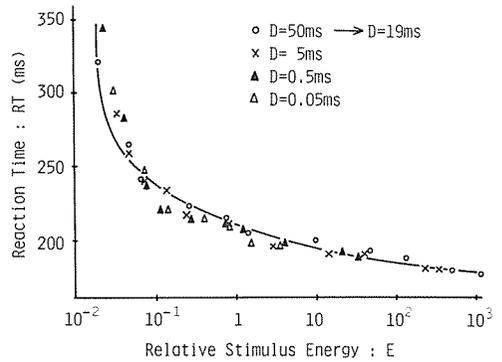


図 4 反応時間の光刺激エネルギーに対する変化および式(3)による近似曲線(被験者Bの場合)

Fig. 4 The change of reaction time to the relative stimulus energy ( $E$ ) and a best fit curve by eq.(3)(Subject B).

ギーとして横軸に取り、反応時間を縦軸に取り表したものを図 4 に示した。表 4 には、式(3)で近似させた時の各パラメータの値を、比較のための被験者 A についても合わせ示した。これより、 $RT_0$  において被験者 A と被験者 B では、160 ms, 165 ms と違っているほかは、他のパラメータ  $\beta$ ,  $E_{th}$ ,  $K''$  の値は、ほとんど一致していることがわかる。これらの量が両被験者間ではほぼ一致していることから、 $\beta$ ,  $E_{th}$ ,  $K''$  等の定数は人間の視覚系に共通な特徴を示すものと考えられる。また、 $RT_0$  の 160 ms と 165 ms の違いは、反応を認知してから動作が行われるまでの時間の違いであり、神経伝達系、筋肉等を考慮すると個人差があっても不思議ではないであろう。

一方、 $D = 50$  ms のデータを  $I \times D$  の積算エネルギーとして他の刺激時間のデータと合わすためには、50 ms を 19 ms に置き換えた時のもっとも良く一致した。この様子を図 4 に合わせて示す。図中  $\circ$  印が、刺激継続時間 50 ms のデータを 19 ms に置き換えて整理したものである。これにより Critical Duration ( $D_0$ )<sup>10), 11)</sup> として知られるこの値も被験者 A, B で大差なく、 $D_0 \approx 20$  msec 付近にあり妥当と考えることができる。このように、被験者を変えた実験においても、各実験式(2), (3)は適用できることが確認できた。

4. 刺激継続時間に対する反応時間の変化  
刺激強度一定の場合

4.1 実験方法および結果

式(3)の分母には  $D \times I$  の形で  $D$  が入ってきた。この  $D$  を変数とし、 $I$  をパラメータとして調べるのが、この

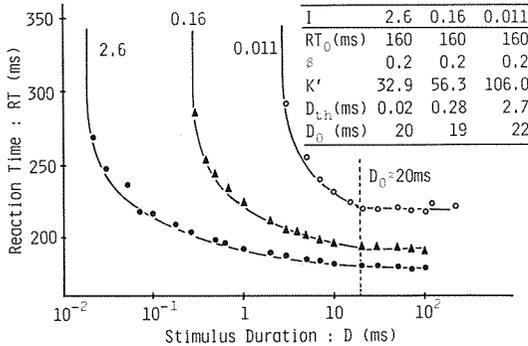


図5 反応時間の刺激継続時間に対する変化 (被験者Aの場合)

Fig. 5 The change of reaction time to stimulus duration of light (Subject A).

実験の目的である。すなわち光刺激強度  $I$  を一定とし、刺激継続時間を連続的に変化させることにより、 $D$  を含む反応時間の式を導き  $D_0$  を確認する。刺激強度をパラメータとし、0.011, 0.16, 2.6の3段階についてそれぞれ反応時間を測定した。刺激の呈示方法、実験室、実験装置等は、刺激継続時間をパラメータとした場合の実験と同じである。この実験は、被験者Aについてのみ行った。図5に横軸に刺激継続時間を、縦軸に反応時間をそれぞれ取り、プロットした。この図よりつぎのようなことが分かる。

(a) 刺激継続時間がある値以上になると反応時間は一定となる。

(b) 刺激強度の変化によって、反応時間が発散する時の刺激継続時間が変化する。

#### 4.2 刺激時間に対する反応時間の測定に対する検討

図5のデータを  $D$  を変数とする式(3)に類似の式  $RT = RT_0 + K' / (D - D_{th})^\beta$  (4) で表してみよう。そのとき、すでに3.3で述べたように  $D_0$  を仮定する。その値を20msを中心に1msずつ動かし、 $\beta$ ,  $RT_0$  は表4の値をそのままにして最小二乗法で求めた。 $D_0 = 20ms$ にした時の式(4)を実曲線で図5に示す。各パラメータの変化を合わせて図中に示す。ここでは  $D_0 = 20ms$  と求まり、3.3.3の22msより1割小さくなっている。この程度の変化は刺激法、データのばらつきを考えると大きいものでない。

一方、刺激強度をパラメータとして、刺激継続時間を変化させ、反応時間を測定した実験4.1の結果について、全データに対し  $I \times D$  の積算エネルギー  $E$  を横軸に取って、反応時間を表したのが図6である。ただ

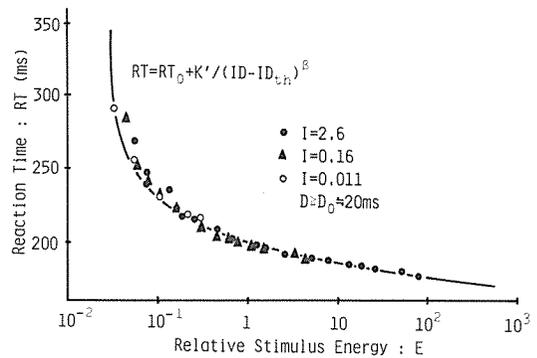


図6 図5のデータより得た反応時間の刺激エネルギーに対する変化および式(3)による近似曲線 (被験者Aの場合)

Fig. 6 The change of reaction time to relative stimulus energy ( $E$ ) obtained from figure 5, and a best fit curve by eq.(3) (Subject A).

し、刺激継続時間が20msを越えるデータについては、 $D = 20ms$  として積算エネルギーを計算した。 $D$  が  $D_0 = 20ms$  以下において、式(3)を用いてデータを近似させたものが図中の曲線である。図より式(3)を用いてのデータの近似はよい。ここでもCritical Duration ( $D_0$ ) 以下においては、刺激を積算光エネルギーとして扱うことが妥当であることを示している。ただし、ここでは刺激光強度が一定であることより、式(3)において  $E = D \times I$ ,  $E_{th} = D_{th} \times I$  と考えればよい。従って、式(4)は次のように考えられる。

$$RT = RT_0 + K' / (D - D_{th})^\beta = RT_0 + K'' / (I \times D - I \times D_{th})^\beta \quad (5)$$

$(K' = K'' / I^\beta)$

すなわち、刺激光強度  $I$  を一定とするのか、あるいは刺激継続時間を一定とするのかにかかわらず  $D < D_0$  での反応時間は、

$$RT = RT_0 + K'' / (E - E_{th})^\beta \quad (6)$$

$$E_{th} = I_{th} \times D \quad (D = \text{const})$$

$$= I \times D_{th} \quad (I = \text{const})$$

により与えられる。被験者が決まれば  $RT_0$ ,  $K'$  および  $\beta$  は定数となり、積算刺激エネルギー ( $E$ ) が与えられれば反応時間  $RT$  は一意的に決定される。なお  $D > D_0$  に対しては、 $E = I \times D_0$  と考えれば式(6)が適用できる。ところで、図6の刺激強度一定の場合の結果に対して式(6)を適用すると、 $K'' = 41$ ,  $E_{th} = 0.03$  が得られ、刺激継続時間一定の場合(式(3)')の結果とほぼ一致した結果を与えている。Critical Duration ( $D_0$ )

は刺激強度の変化により変化するという報告<sup>10</sup>や、刺激強度に依存せず一定であるという報告<sup>11</sup>があるが、我々の結果は後者を支持している。

## 5. む す び

従来、Piéronの法則として知られていた光刺激強度に対する反応時間の特性を示す式(1)において刺激強度の弱いところで成立しないことに疑問をいだき、反応できる刺激光強度に限界があることを仮定し閾値刺激光強度 $I_{th}$ を導入した式(2)のモデルを提案した。また、刺激継続時間( $D$ )をパラメータとした実験から閾値刺激間隔 $D_{th}$ を導入すると $I_{th}$ や $D_{th}$ は、刺激継続時間( $D$ )や刺激光強度( $I$ )によってかわるが、 $E_{th}(=I_{th} \times D = D_{th} \times I)$ が一定となることがわかり、刺激の強さを光の強度( $I$ )ではなく光の積算エネルギー( $E = I \times D$ )として捕らえた式(6)を導入することで、刺激エネルギー( $E$ )が与えられれば、反応時間は、一意的に決まることを示した。すなわち、従来刺激継続時間などの測定条件によって変化すると考えられていた漸近値 $RT_0$ 、比例定数 $K$ 、および指数 $\beta$ は被験者がきまれば定数となることが分かった。また $K$ や $\beta$ は実験の範囲で被験者によらない定数である可能性も示された。よって、式(6)は、光刺激に対する反応時間の現象を表す式として、一般性のあるものと考えられる。今後更に、これらの各パラメータの性質の違いや神経生理学的な各パラメータの意味付けなどに注目して、実験、検討を加えていくことが必要であり、また興味を持たれる点である。

謝辞 データ収集にご協力頂いた被験者の方々、また装置作成に協力頂いた谷戸宗吉氏、ならびに実験補助、結果の討論をして頂いた山口大学の諸氏に合わせて感謝します。

## 文 献

- (1) W.H. Teichner and M.J. Krebs: "Laws of Visual Choice Reaction Time", *Psychological Review*, 81-1, pp. 75-98 (1974).
- (2) C.P. Whiteman and E.S. Geller: "Effects of Stimulus and Response Patterns on choice Reaction Time", *Jurnal of Experimental Psychology*, 96-2, pp. 466-467 (1972).
- (3) W.H. Teichner and M.J. Krebs: "Law of the Simple Reaction Time", *Psychological Review*, 79-4, pp. 344-358 (1972).
- (4) H. Piéron: "The Sensations", Yale Univ. Press, New Haven (1952).
- (5) R. Naatanen: "Time Uncertainty and Occurrence Uncertainty of The Stimulus in a Simple Reaction Time Task", *Acta Psychologica*, 36, pp. 492-503 (1972).
- (6) R.J. Barry: "The Effect of 'significance' upon Indices of Sokolov's Orienting Respon's", A new conceptualization to replace the OR, 5-2, pp. 209-214 (1977).
- (7) R.J. Barry and H.C. Beh: "EEG correiates of The Alterimage of Visual Stimulation", *Psychophysiology*, 13-1, pp. 75-80 (1976).
- (8) C.S. Rebert and R.A. Mahoney: "Functional Cerebral Asymmetry and Performance II. Reaction Time as a Function of Task, Hand, Sex and EEG Asymmetry", *Psychology*, 15-1, pp. 9-23 (1978).
- (9) G.R. Grice: "Stimulus intensity and response evocation", *Psychological Review*, 75, pp. 359-373 (1968).
- (10) M.J.M. Nissen: "Facilitation and selection. Two modes of sensory interaction", Unpublished master's thesis, Univ. of Oregon (1974).
- (11) 三池, 西田, 蛭名, 柴田: "精神分裂病患者および健常者の2集団における単純反応時間の統計的解析", *ME誌*, 19, pp. 40-44 (昭56-02).
- (12) 三池, 蛭名, 百田: "4種類の光刺激モードに対する精神分裂症患者と健常者2集団における反応時間の統計的差違", *信学論(C)*, J66-C, 5, pp. 377-384 (昭58-05).
- (13) 百田, 三池, 蛭名: "反応時間の統計量に対する音のフィードバック効果", *信学論(C)*, J67-C, 8, pp. 637-638 (昭59-08).
- (14) J.M. Cattell: "The influence of the intensity of the stimulus on the length of the reaction time", *Brain*, 9, pp. 512-515 (1886).
- (15) R.J.W. Mansfield: "Latency function in Human vision", *Vision Res.*, 13, pp. 2219-2234 (1973).
- (16) T. Ueno: "Reaction time as a measure of temporal summation at suprathreshold levels", *Vision Res.*, 17, pp. 227-232 (1977).
- (17) W.H. Teichner and M.J. Krebs: "Laws of the Simple Visual Reaction Time", *Psychological Review*, 79.4, pp. 344-358 (1972).
- (18) M.J. Nissen: "Stimulus intensity and information processing", *Perception & Psychopsycs*, 22, pp. 457-462 (1977).
- (19) P. Niemi: "Stimulus Intensity Effects on Auditory and Visual Reaction Processes", *Acta Psychologica*, 43, pp. 299-312 (1979). (昭和60年11月22日受付, 61年2月7日再受付)



百田 正広

昭54 山口大・工・電気卒、同年  
徳山工業高等専門学校情報電子工学  
科助手。現在、生体情報処理に関す  
る研究に従事。日本M E学会員。



三池 秀敏

昭46 九大・工・電子卒、昭51  
同大学院博士課程電子工学専攻単位  
取得退学、同年山口大・工・助手。  
現在、同助教授、画像計測、光散乱  
計測法に関する研究に従事。工博。  
電気学会、日本M E学会、日本物理  
学会各会員。



林 晋一郎

昭57 山口大・工・電気卒、同年  
結力伊・核燃料開発事業団入社。現  
在 同社東海事業所・再処理工場技術  
開発課・試験運転第一課勤務。



蛭名 良雄

昭34 東北大・工・電気卒、昭36  
同大学院修士課程了、同年電・公社  
入社、昭37 東北大学電気通信研究  
所を経て、現在山口大・工・教授。  
生体計測の研究に従事している。日  
本M E学会、生物物理学会、応用物  
理学会各会員。