

視覚系の応答潜時と単純反応時間との関係

滝 浦 孝 之

(受付 2004 年 5 月 10 日)

目 的

単純反応時間 (RT) とは, 1 種類の刺激の提示からキー押しなどの運動反応が生起するまでの所要時間をいう。これは刺激検出事態という比較的単純な事態での情報処理速度の 1 つの指標と考えられ, その性質に関して古くから検討がなされてきた (Luce, 1986; Teichner & Krebs, 1972)。

RT は, 刺激検出過程と運動賦活過程という機能的に独立した 2 つの処理過程により決定されると伝統的に考えられてきた (Luce, 1986)。また輝度や持続時間といった刺激諸変数は, 検出過程での処理速度にのみ影響し, 運動賦活過程には影響しないとされてきた (Ulrich, Linkenauer, & Miller, 1998)。しかしこれらの考えは必ずしも実証を伴っているわけではないということは注意を要する。また一般に, 視覚刺激の輝度変化に伴う RT の変化は, 視覚系の応答潜時の変化を忠実に反映するものと考えられている (Smith, 1995) が, この仮定も十分な裏付けを有しているとはいえない。なぜなら, 同一刺激条件の下で視覚皮質誘発電位 (VECP) と RT とを測定した研究では, 輝度変化に伴う VECP の特定の成分の潜時の変化と RT の平均値ないしメディアンの変化とは並行的であるという報告が存在する一方で (Jaśkowski, Pruszewicz, & Świdzinski, 1990; Osaka & Yamamoto, 1978; Vaughan, Costa, & Gilden, 1966; Wilson & Lit, 1981), RT の変化量が VECP のそれを上回ることを示すデータもまた得られているからである (Kammer, Lehr, & Kirschfeldt, 1999; Krauskopf, 1973; 逆のデータも報告されている: Mckerral, Lachapelle, & Benoit, 1992)。さらに, 輝度が高ければキーを押す力も増加するという事実も報告されている (Angel, 1973;

Mattes & Ulrich, 1997; Mattes, Ulrich, & Miller, 2002; Ulrich, Linkenauer, & Miller, 1998)。従って、少なくとも刺激の輝度が視覚系の中枢における応答の潜時に及ぼす効果に関して検討する場合、応答潜時の心理学的な指標として無条件に RT を用いることには問題があると言わねばならない。

一方、刺激輝度の変化に伴う視覚系の末梢レベルでの応答潜時の変化と RT の変化との関係については明らかにされてはいない。これの主な理由としては、ヒトの場合には視覚系の末梢レベルでの応答を生理学的に測定することが困難であるということが挙げられる。唯一の例外は双極細胞の応答に関連する電位である網膜電図 (ERG) であり、これは非侵襲的に記録することが可能であるが、測定に際して非常に高輝度かつ大面積の刺激を要するなど、刺激輝度の効果について検討するという目的には向いていない。

ヒトの視覚系の比較的末梢のレベルにおける応答の時間的経過の心理学的評価を可能にする方法の 1 つにマスキング法がある (Boynton, 1972; Hood, 1998)。マスキング法とは、マスクと呼ばれるディスク光の中央部にプローブと呼ばれるディスク光を短時間提示し、その検出閾を求めるという方法である。マスクとプローブの提示時間差の関数としてプローブの閾値の変化を示したグラフをマスキング関数と呼ぶ。マスキング関数は、視野内の輝度の過渡的变化によって視覚系内に惹起された応答の時間的経過の心理物理学的な記録と見なされている。本研究では、同一刺激条件の下でマスキング関数と RT を測定し、刺激の輝度を変化させた場合の視覚系の末梢レベルでの応答の潜時の変化と RT の変化との関係について検討した。

方 法

装 置

刺激の提示には緑色 LED (SHARP, LT9560E: 主波長 565 nm, 半値幅 12 nm) を光源とする 2 チャンネルのマックスウェル視光学系が用いられた。順

応野は周波数 30 kHz, 持続時間 3 μ s の電圧パルス列を一方のチャンネルの LED に印加することにより提示された。従って順応野は物理的には断続光であるが, その周波数は CFF よりはるかに高いため, 視覚的にはその時間的平均輝度と等しい輝度の定常光と等価であった。ターゲットはパーソナルコンピュータ (NEC, PC-9801DA) に装着された 12-bit D/A 変換ボード (CONTEC, DA12-4(98)) の出力を V/F コンバータ (NF 回路設計ブロック, FG-122) に入力し, 30 kHz の搬送波を周波数変調させ, 順応野の輝度を一時的に増減させることにより提示された。この場合, ターゲットの輝度は Talbot-Plateau の法則に従い, パルス列の周波数に比例して変化した。

マスキング関数を測定する場合には, 2 ms の電圧パルスを他方のチャンネルの LED に印加することによりプローブが提示された。プローブの輝度は光学系の光路に挿入されたコンピュータ制御の車輪型 ND ウェッジ (三双製作所, MODEL NDW-AT を改造したもの) により変化させられた。

刺 激

順応野とターゲットはともに直径 6.42° のディスク光であり, 両者は空間的に重畳して提示された。順応野の輝度は 79.0 cd/m^2 であり, これは網膜照度では 248.0 td であった。刺激提示条件は以下の 3 種類であった。

(a) ステップ光条件

持続時間 2000 ms のターゲットが順応光に対する輝度増分または輝度減分として提示された。ターゲットの輝度は ± 2.6 , ± 5.4 , ± 16.4 , ± 65.6 cd/m^2 であり, これらを網膜照度に換算すると, それぞれ ± 8.3 , ± 17.0 , ± 51.4 , ± 206.1 td であった。

(b) 輝度変化パルス光条件

持続時間 5 ms のターゲットが順応光に対する輝度増分または輝度減分として提示された。ターゲットの輝度は ± 11.0 , ± 16.4 , ± 32.9 , ± 65.6 cd/m^2 であり, これらを網膜照度に換算すると, それぞれ ± 34.4 , ± 51.4 , ± 103.3 , ± 206.1 td であった。

(c) 等エネルギーパルス光条件

エネルギー総量が一定で持続時間の異なるターゲットが順応光に対する輝度増分または輝度減分として提示された。ターゲットのエネルギー量は $1035 \text{ td} \times \text{ms}$ ($329.6 \text{ cd/m}^2 \times \text{ms}$) であり、持続時間は 5, 10, 20, 30, 40, 60 ms であった。

マスキング関数を測定する場合には、ターゲットと様々な立ち上がり時間差 (SOA) で直径 0.86° のプローブが順応野の中央部に提示された。刺激の観察は右眼中心視で行われた。注視を容易にするために、順応野を十字に横切る 2 本の細い線分が定常的に提示された。

手 続 き

被験者は10分間の暗順応の後、顎台と額当て、および噛み板により頭部を固定し、順応野に5分間順応した。課題は以下の2つであった。これらの課題はセッションを変えて実施された。

(1) RT 測定課題

被験者毎に、RT 測定に先立ち 4 - 10 時間程度の練習試行が行われた。実験では 100 ms の警告音の後にターゲットが提示された。警告音の提示からターゲットが提示されるまでの時間は 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 ms のいずれかであり、これは試行毎にランダムに変えられた。被験者の課題は、順応野上に何らかの変化を検出したら、可能な限り早く手元のマイクロスイッチのキーから人差し指を離すことであった。RT の計測は 0.1 ms 刻みで行われた。1 つのセッションでは上記の (a), (b), (c) のいずれか 1 つの刺激条件での測定が行われ、ターゲットの輝度と極性の組み合わせはランダムな順でテストされた。1 つのセッションでは、被験者 1 名あたり輝度と極性の 1 つの組み合わせにつき 10 個の RT が測定された。被験者 1 名あたりの最終的な RT の測定数は、輝度と極性の 1 つの組み合わせにつきステップ光条件で 200 個、パルス光条件では 100 個であった。

(2) マスキング関数測定課題

ターゲットの出現時およびその前後の時点におけるプローブの検出閾が極限法下降系列によって求められた。1回のセッションでは1つのターゲットについて測定が行われ、閾値は1つのターゲットにおいて、1つのSOAあたり連続して4個求められた。SOAの設定順序はランダムであった。ターゲットごとに、セッションは日を変えて2回行われた。ターゲットとプローブの組み合わせは2000 ms 毎に提示された。

被 験 者

被験者は21-31歳の成人男女であり、全員裸眼視力ないし矯正視力は正常であった。また全員が心理物理学的測定の経験を有していた。RT測定では、刺激条件(a), (b), (c)における被験者はそれぞれ3名, 2名, 5名であった。またマスキング関数測定では、全条件でのデータは1名の被験者(TT)から収集されたが、各刺激条件とも主な結果は別な1名の被験者により確認された。

結 果

以下では刺激条件毎に結果を記述する。RTは正規分布ではなくハザード関数状の分布を示すため、平均値は必ずしもRTの代表値として適切ではないとされており、また一方で標本のメディアンは母集団のメディアンを過大評価するという問題も指摘されている(Miller, 1988)が、ここではRTの代表値として両者を併記した。しかし本実験ではほとんどの場合、輝度変化に伴うRTの変化は平均値とメディアンとで系統的な差は認められなかった。

(a) ステップ光条件

ステップ光の輝度の変化に対するRTの変化をFigure 1に示す。Figure 1の横軸はターゲットの網膜照度の絶対値を表す。

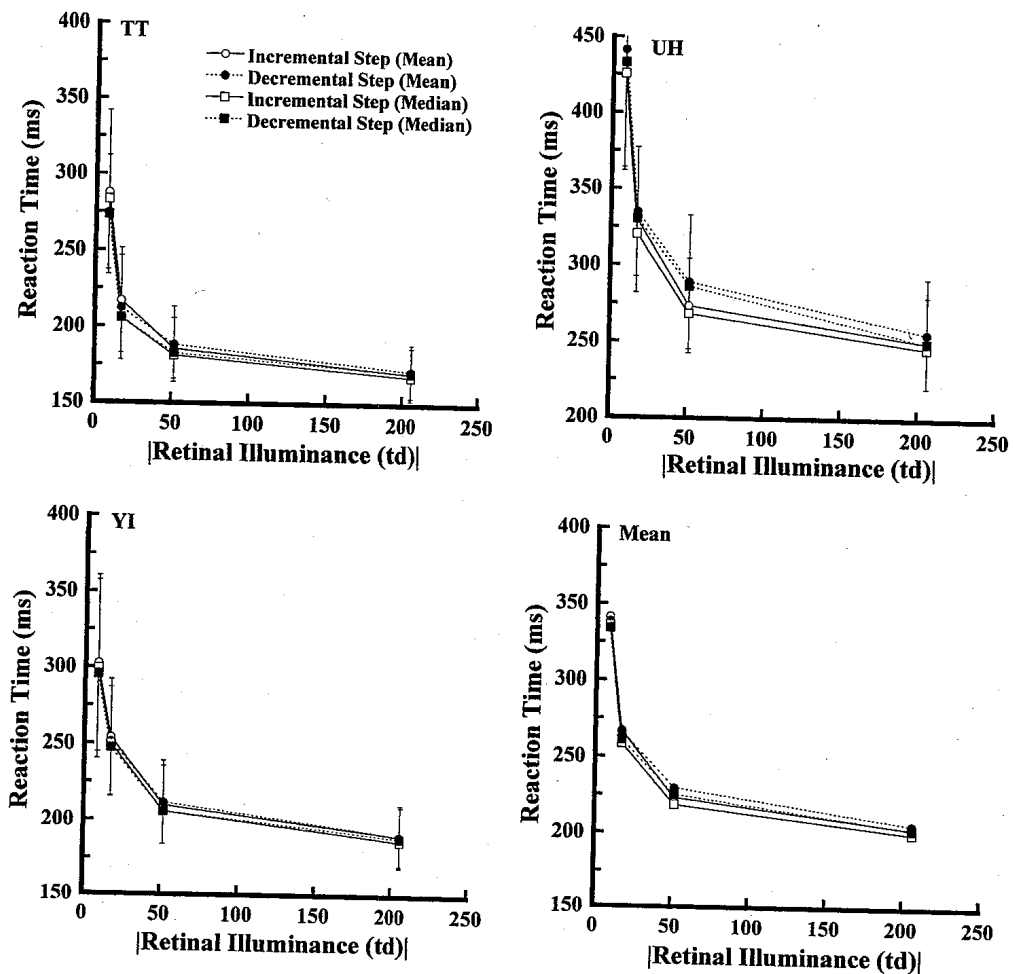


Figure 1. Simple reaction time to the step-like luminance change.

RT の平均値はターゲットの網膜照度に対して負の加速度を持った減少関数となった。これは広く知られている事実に合致する (Pianta & Kalloniatis, 1998; Teichner & Krebs, 1972)。分散分析の結果, 平均値 ($F(3, 6) = 23.29, p < .005$), メディアン ($F(3, 6) = 29.43, p < .005$) とともに輝度の主効果のみが有意であった。ターゲットが輝度増分の場合と輝度減分の場合とで, RT に系統的な差は認められなかった。

ターゲットに対するマスキング関数を Figure 2 に示す。Figure 2 の横軸はターゲットの立ち上がり (輝度増分ターゲットの場合は順応野に対する輝度増加, また減分ターゲットの場合には輝度減少) とプローブの立ち上がりとの時間差を, また縦軸はプローブの検出閾の対数値をそれぞれ表している。Figure 2 は上のパネルが増分ターゲット, 下のパネルが減分ター

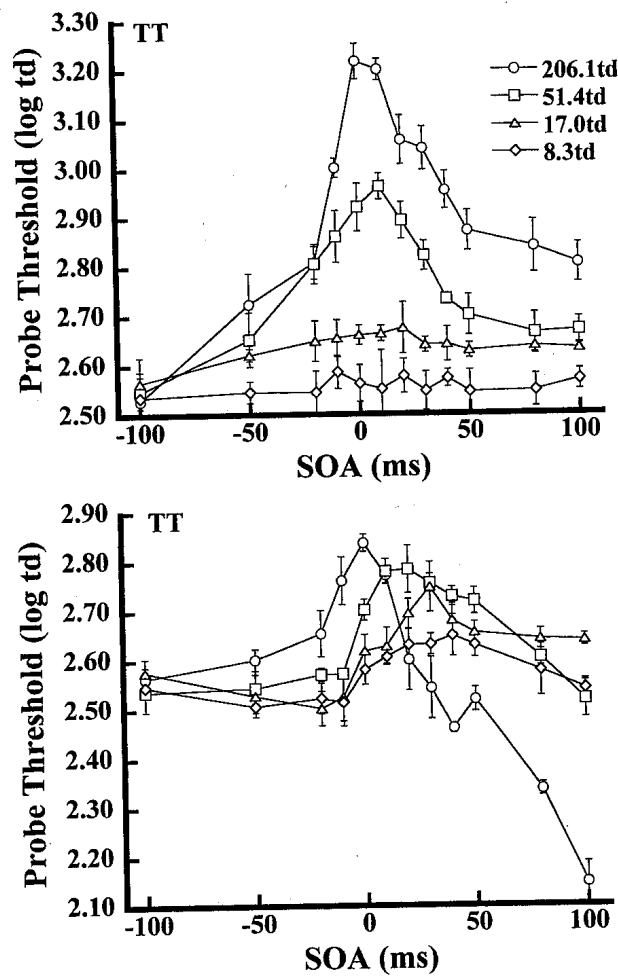


Figure 2. Masking curves for the step-like luminance change (upper panel, incremental luminance change; lower panel, decremental change).

ゲットでの結果である。

得られたマスキング関数はいずれも典型的な Crawford 型であった。増分ターゲットに対するマスキング関数のピークは輝度が増加するにつれ高くなり、ピーク位置も早まった。最も輝度の低い条件（網膜照度で8.3 td）ではピークははっきり認められなかった。減分ターゲットに対しても同様の結果となったが、輝度の最も低い条件でもマスキング関数上にはっきりしたピークが認められた。これは Takiura (1992), 滝浦・高橋・丸山 (1994) の結果に合致する。マスキング関数のピーク位置の変化は減分ターゲットの方で、またピーク値の変化は増分ターゲットの方でより大きかった。これらも他の研究での結果と合致する (Green, 1981; Poot, Snippe, &

Table 1. Increment in the reaction time and the peak position in the masking curve to the increase of the step-like luminance change from those with the target of 206.1 td in illuminance.

retinal illuminance (td)	luminance polarity	increment of the mean	increment of the median	increment of the peak delay of the masking curve
206.1	increment	0	0	0
	decrement	0	0	0
51.4	increment	19.6	18.2	10
	decrement	23.5	21.9	10 - 20
17.0	increment	63.3	58.3	20
	decrement	59.9	58.0	30
8.3	increment	137.7	135.7	—
	decrement	132.1	130.7	30 - 40

van Hateren, 1997; 滝浦・高橋・丸山, 1994)。

Table 1 にターゲットの輝度の変化に伴う RT とマスキング関数のピーク位置の変化量を示す。いずれもターゲットの網膜照度が 206.1 td の場合の値からの差である。輝度変化量が大きい場合、RT の変化はマスキング関数のピーク位置の変化と類似していたが、輝度変化量が小さい場合には RT の変化の方がずっと大きかった。

(b) 輝度変化パルス光条件

ターゲットの輝度変化に対する RT の変化を Figure 3 に示す。ターゲットがステップ光の場合と同様に、RT はターゲットの網膜照度に対して負の加速度を持った減少関数となった。分散分析の結果、平均値 ($F(3, 3) = 553.83, p < .005$), メディアン ($F(3, 3) = 1108.91, p < .005$) とともに輝度の主効果が有意であった。ここでもターゲットの極性の効果は認められなかった。

マスキング関数を Figure 4 に示す。上のパネルにはターゲットが輝度増

滝浦：視覚系の応答潜時と単純反応時間との関係

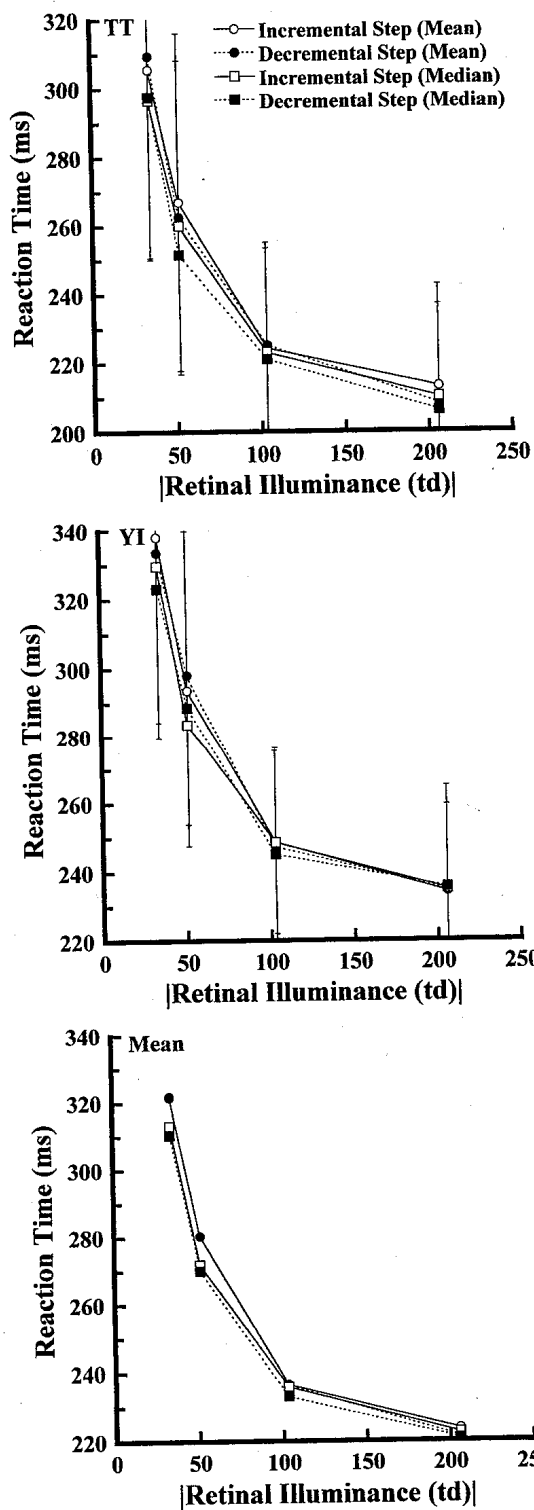


Figure 3. Simple reaction time to the pulse-like luminance change.

分パルスの場合の結果が、また下のパネルには輝度減分パルスの場合の結果がそれぞれ示されている。

ターゲットの輝度が高い場合（網膜照度で ± 103.3 , ± 206.1 td), マスキ

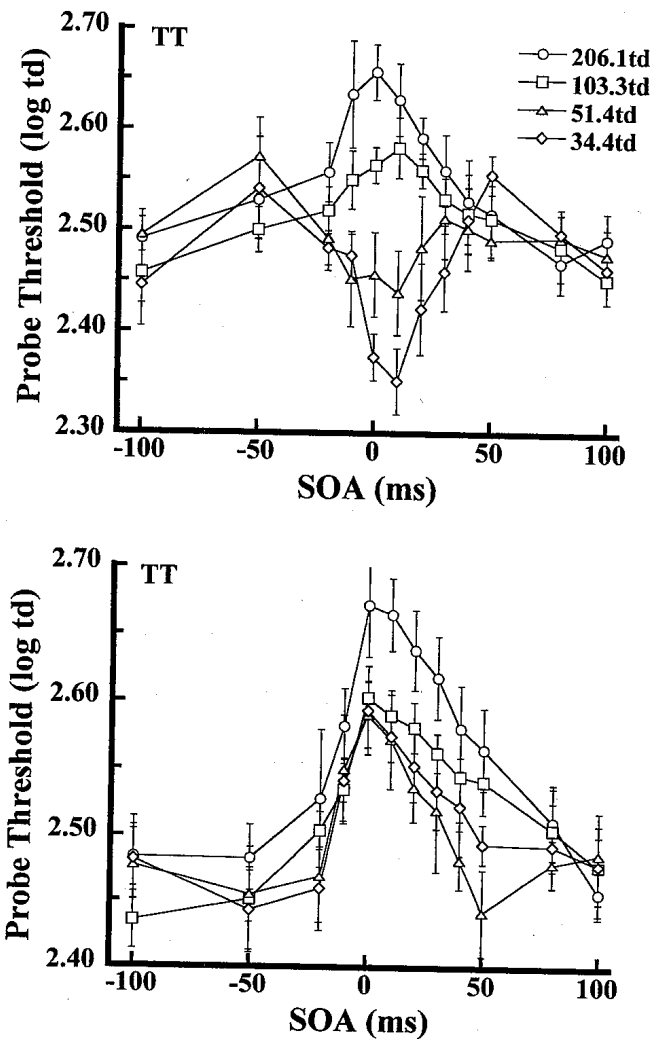


Figure 4. Masking curves for the pulse-like luminance change (upper panel, incremental luminance change; lower panel, decremental change).

ング関数のピーク値は輝度の増加に伴い増大した。増分ターゲットではピーク位置も早まったが、減分ターゲットではピーク位置の変化は認めにくかった。またターゲットの輝度が低い場合（網膜照度で ± 34.4 , ± 51.4 td), プロブの閾値は、増分ターゲットでは SOA が ± 50 ms で最大となり、SOA が $0 - 10$ ms で最小となった。減分ターゲットではこの逆となった。このような閾値の変化は、検出閾およびその近傍での2つの刺激間の加重と抑制 (Ikeda, 1965) という、マスキングとは質的に異なる現象を示すものとして理解すべきものと思われる。すなわち ± 50 ms 付近の SOA でみられたプロブの閾値の上昇は、閾近傍輝度のターゲットとプロブ

Table 2. Increment in the reaction time and the peak position in the masking curve to the increase of the pulse-like luminance change from those with the target of 206.1 td in illuminance.

retinal illuminance (td)	luminance polarity	increment of the mean	increment of the median	increment of the peak delay of the masking curve
206.1	increment	0	0	0
	decrement	0	0	0
103.3	increment	12.9	13.3	10
	decrement	15.0	12.2	0
51.4	increment	56.7	49.3	—
	decrement	59.0	49.2	—
34.4	increment	98.2	90.5	—
	decrement	100.2	89.5	—

の間で抑制が生じていることを示すものであり、SOAが0 ms付近でのプローブの閾値の下降は、これらの2つの刺激の間で加重が生じていることを示すものと考えらるべきである。

Table 2 にターゲットの輝度の変化に伴う RT とマスキング関数のピーク位置の変化量を示す。いずれもターゲットの網膜照度が206.1 td の場合の値からの差が示されている。ターゲットの輝度が高い場合、RT の変化はマスキング関数のピーク位置の変化に近いものであった。しかしターゲットの輝度が低い場合には、視覚系の応答をマスキング法でとらえることはできず、RT データと応答の潜時とを詳細に比較することはできなかった。

(c) 等エネルギーパルス光条件

エネルギー総量が一定のターゲットの持続時間を変化させた場合の RT の変化を Figure 5 に示す。RT はターゲットの持続時間が増加するにつれ（あるいは輝度が減少するにつれ）増加した。ターゲットの持続時間が 20

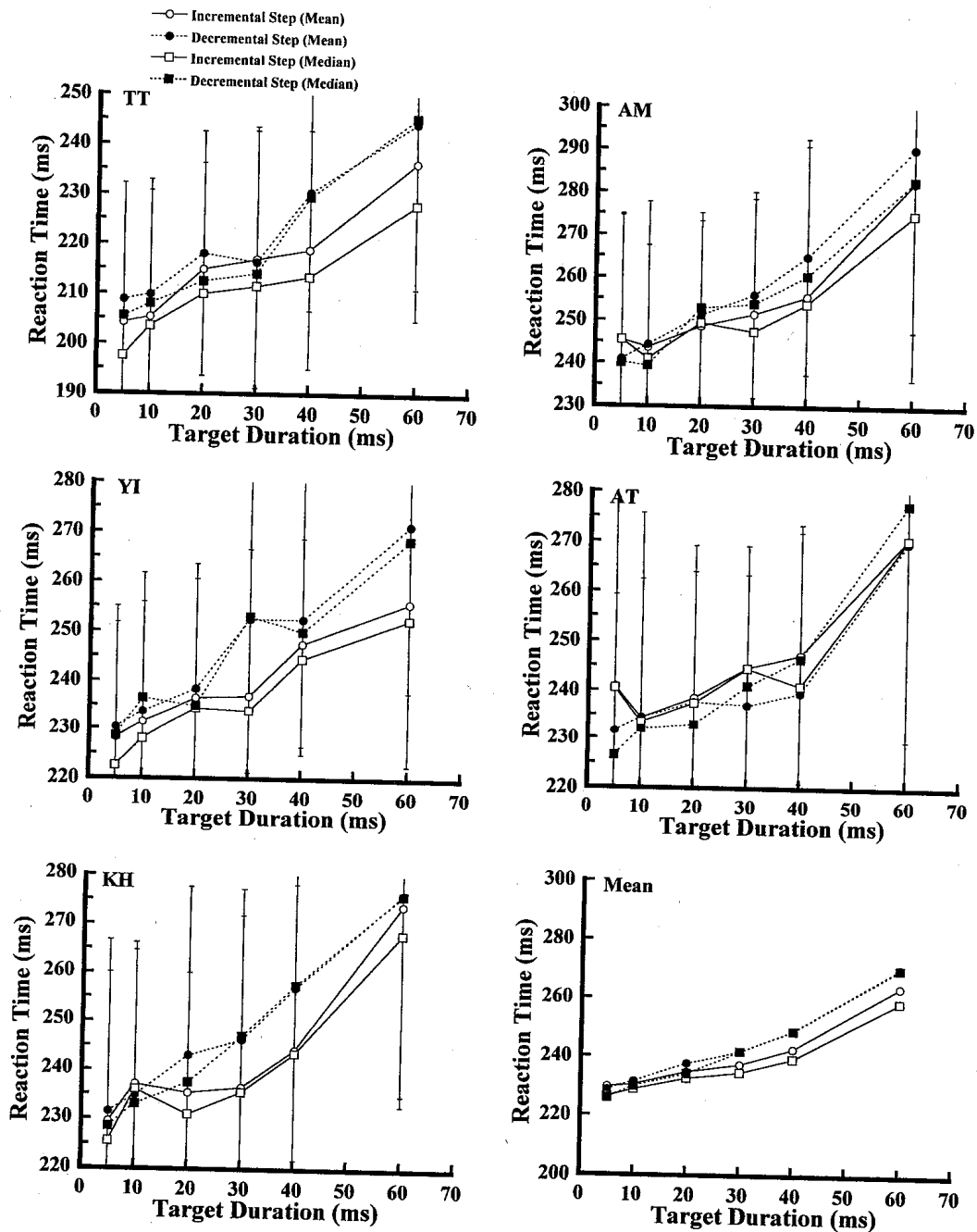


Figure 5. Simple reaction time to the stimulus with varying duration but of constant luminous energy.

ms 以下では極性の効果は認められなかったが、それ以上の持続時間では RT は輝度減分の方で 10 ms 程度長かった。分散分析の結果、平均値に関しては、持続時間 ($F(5, 20) = 135.05, p < .005$) と極性 ($F(1, 4) = 15.95, p < .05$) の主効果がともに有意であり、両者の交互作用も有意であった ($F(5, 20) = 4.15, p < .01$)。またメディアンについても持続時間の

主効果 ($F(5, 20) = 91.71, p < .005$) と持続時間 \times 極性の交互作用 ($F(5, 20) = 4.86, p < .01$) が有意であったが、極性の主効果は有意傾向であった ($F(1, 4) = 6.31, p < .1$)。

Figure 6 にマスキング関数を示す。上のパネルが輝度増分ターゲットでの結果であり、下のパネルが減分ターゲットでの結果である。どちらの極性のターゲットにおいても、持続時間が 20 ms 以下では、持続時間が増加するとマスキング関数のピーク位置が遅れるものの、マスキング関数の形状自体は等しくなった。30 ms 以上では持続時間の増加とともにピークの

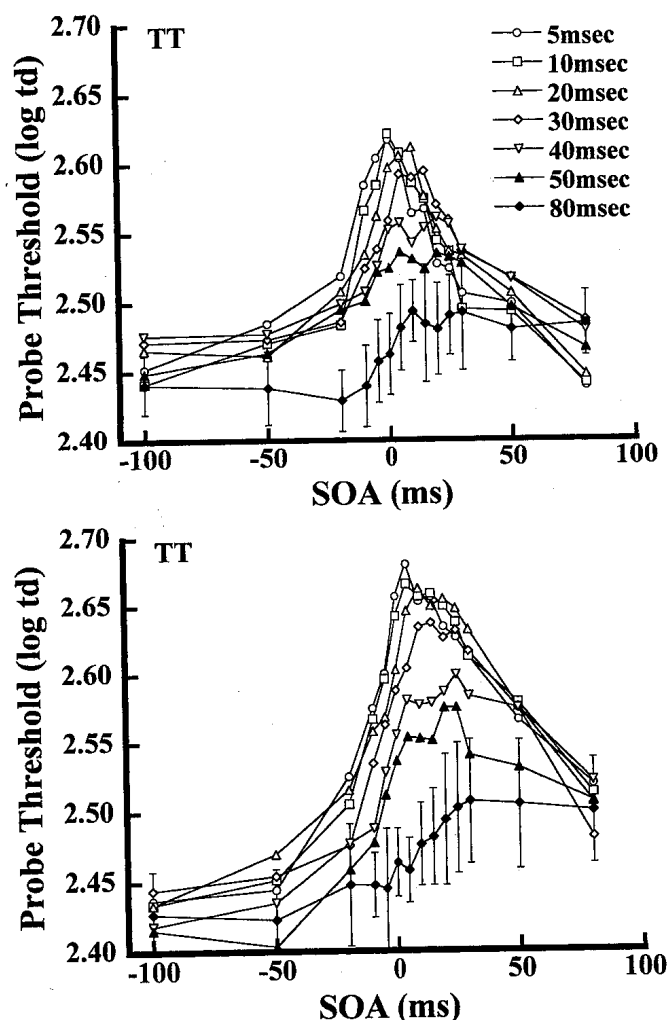


Figure 6. Masking curves for the stimulus with varying duration but of constant luminous energy. (upper panel, luminance increment; lower panel, luminance decrement). Error bars (± 1 SD) are shown only with the longest duration for graphical clarity.

高さが減少し、グラフの時間的な広がりが増加した。さらにピーク位置も遅延した。これらは輝度増分ターゲットを用いた他の研究での結果と合致した (滝浦, 1999)。またピークの高さの減少は他の 2 つの刺激条件に比べて小さかった。ピーク位置はターゲットの極性からほぼ独立であった。

Table 3 にターゲットの持続時間の変化に伴う RT とマスキング関数のピーク位置の変化量を示す。いずれの値もターゲットの持続時間が 5 ms の場合のデータとの差である。マスキング関数がピークとなる SOA は視察により決定された。直接の比較が可能な 40 ms 以下の領域での両者の値はかなり近いものであった。

Table 3. Increment in the reaction time and the peak position in the masking curve to the increase of the duration of the stimulus with constant luminous energy from those with the target of 5 ms in duration.

target duration (ms)	luminance polarity	increment of the mean	increment of the median	increment of the peak delay of the masking curve
5	increment	0	0	0
	decrement	0	0	0
10	increment	- 1.0	0	0 - 5
	decrement	2.7	3.9	0 - 5
20	increment	5.0	6.4	5 - 10
	decrement	8.5	8.3	5 - 10
30	increment	7.9	7.9	10 - 15
	decrement	15.1	15.4	10 - 15
40	increment	12.7	11.8	15 - 20
	decrement	21.5	21.5	15 - 20
60	increment	31.8	34.1	—
	decrement	39.5	43.5	—

考 察

ステップ光の輝度変化に伴う RT の変化と、視覚系の比較的末梢レベルでの応答の時間的経過の心理物理学的記録と見なされているマスクング関数のピーク位置の変化との対応は悪かった。特に低輝度領域では RT の変化幅がマスクング関数のピーク位置の変化幅を大きく上回った。これはヒトの RT とネコの網膜神経節細胞の応答潜時とを比較した Lennie (1981) の結果と類似している。これらのことは、ステップ光に対する RT は、視覚系末梢部での応答潜時を単純に反映したものではなく、応答潜時以外の要因も大きく関与し、それは低輝度領域で特に顕著であることを強く示唆する。滝浦 (2001) は、刺激の輝度あるいはコントラストが低い場合の RT は、視覚系の応答の潜時と振幅の両方を反映するのではないかと述べている。一方、刺激の輝度が十分に高い場合には、応答の振幅は RT に有意な効果を及ぼさず、潜時により RT の多くの部分が決定されると推測されるが、その場合でも潜時以外の要因が RT の決定に関与していることは、Takiura (1997) の結果から強く示唆される。彼は輝度一定の刺激の持続時間の变化に伴う RT の変化とマスクング関数の形状の変化について調べ、輝度が高ければ、刺激の持続時間の増加に伴い、あるところまではマスクング関数のピーク値は増加し、ピーク位置は遅延するが、RT は変化せず、刺激の輝度が低ければ、RT は刺激の持続時間に依存して変化することを見出している。

先行研究においては、中心視でのステップ光に対する RT は、刺激の輝度が高い場合には輝度増分に対するものと輝度減分に対するものとの差がないか、あるいは輝度増分に対するものの方が短い、低輝度では輝度減分に対するものの方が短くなるという報告がしばしばなされている (Bartlett, Sticht, & Pease, 1968; Burkhardt, Gottesman, & Keenan, 1987; Vicars & Lit, 1975, 詳細なレビューは滝浦, 2001を参照)。しかし本研究では、ステップ光に対する RT はターゲットの極性の効果を受けなかった。

同様の結果は、サルの反応時間を測定した研究においても得られている (Dolan & Schiller, 1994) が、これらの結果の違いの原因は今のところ明らかではない。順応野の輝度、刺激径、持続時間、分光組成などの要因はいずれも RT に及ぼす刺激の極性の効果を説明できない (滝浦, 2001)。また、本実験と同様に輝度増分と輝度減分を同一セッションでランダムな順で提示して RT の測定を行い、刺激の極性による効果を報告している研究もあり (Burkhardt, Gottesman, & Keenan, 1987)、運動プログラミングの要因 (Di Lollo, Enns, Yantis, & Dechief, 2000) が決定的な作用を及ぼしているとも考えにくい。この問題については今後詳細な検討が必要である。

一方、等エネルギーパルス光条件では、ターゲットの持続時間が 20 ms 以下では RT に及ぼす刺激極性の効果は認められなかったものの、30 ms 以上では輝度減分に対する RT の方が 10 ms 程度長かった。このことは、中程度の持続時間 (数十 ms 程度) の刺激に対しては、輝度増分に対する時定数より輝度減分に対する時定数の方が長いメカニズムが応答することを示唆する。この考えは、輝度増分の持続時間の増加に伴う明るさのピークは 50-80 ms 付近に位置するが、輝度減分の持続時間の増加に伴う暗さは 100 ms 付近でピークに達するという結果 (Fiorentini, Baumgartner, Magnussen, Schiller, & Thomas, 1990; White, Irwin, & Williams, 1980) により支持される。なお刺激の持続時間が長い場合、輝度増分と減分に対するヒトやサルの視覚領の応答の潜時において 10 ms 程度の差を報告している研究がある (Mutlukan, Bradnam, Keating, & Damato, 1992; Nowak, Munk, Girard, & Bullier, 1995; Török, Meyer, & Waldberger, 1992) が、これらの研究ではパターン刺激を用いており、一様光を刺激とした本実験とは応答するメカニズムが異なると考えられるため、本実験での結果と直接的な関連性は少ないと思われる。刺激の持続時間が十分長い場合 (数百 ms 以上) には、輝度増分に対する時定数と輝度減分に対する時定数とが等しい (あるいは前者の方がわずかに短い) メカニズムが応答すると推測される。また刺激の持続時間がごく短い場合 (20-30 ms 以下) には、輝度減

分に対する時定数が輝度増分に対する時定数より短いメカニズムによって刺激の知覚が行われることが滝浦 (2002) により見出されている。

30-40ms 以下の領域においては、特定の持続時間のターゲットに対する RT は輝度増分と減分とで実質的に等しく、輝度変化に伴う RT とマスキング関数のピーク位置の変化の対応はおおむね良好であると見なせる。このことは、輝度変化に伴う応答振幅の変化がさほど大きくなければ、刺激の輝度が比較的高くとも、RT の変化は応答のピーク潜時の差をかなり忠実に反映することを示すものと考えられることもできるが、むしろエネルギー量を一定に保ちながら持続時間を変化させた場合、しかもかなり短い持続時間の範囲という、相当限定された刺激条件においてのみ、RT は視覚系の応答のピーク潜時の心理物理学的な指標として適切であることを示すものと考えられるべきであろう。

引用文献

- Angel, A. (1973). Input-output relations in simple reaction time experiments. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **25**, 193-200.
- Bartlett, N. R., Sticht, T. G., & Pease, V. P. (1968). Effects of wavelength and retinal locus on the reaction time to onset and offset stimulation. *Journal of Experimental Psychology*, **78**, 699-701.
- Boynton, R. M. (1972). Discrimination of homogeneous double pulses of light. In D. Jameson, & L. M. Hurvich (Eds.) *Handbook of sensory physiology. Volume VII/4. Visual psychophysics* (pp. 202-232). New York: Springer.
- Burkhardt, D. A., Gottesman, J., & Keenan, R. M. (1987). Sensory latency and reaction time: dependence on contrast polarity and early linearity in human vision. *Journal of the Optical Society of America, Series A*, **4**, 530-539.
- Di Lollo, V., Enns, J. T., Yantis, S., & Dechief, L. G. (2000). Response latencies to the onset and offset of visual stimuli. *Perception & Psychophysics*, **62**, 218-225.
- Dolan, R. P., & Schiller, P. H. (1994). Effects of ON channel blockade with 2-amino-4-phosphonobutyrate (APB) on brightness and contrast perception in monkeys. *Visual Neuroscience*, **11**, 23-32.
- Fiorentini, A., Baumgartner, G., Magnussen, S., Schiller, P. H., & Thomas, J. P. (1990). The perception of brightness and darkness. Relations to neuronal

- perceptive fields. In L. Spillmann & J. S. Werner (Eds.) *Visual perception: the neurophysiological foundations* (pp. 129–161). New York: Academic Press.
- Green, M. (1981). Spatial frequency effects in masking by light. *Vision Research*, **21**, 861–866.
- Hood, D. C. (1998). Lower-level visual processing and models of light adaptation. *Annual Review of Psychology*, **49**, 503–535.
- Ikeda, M. (1965). Temporal summation of positive and negative flashes in the visual system. *Journal of the Optical Society of America*, **55**, 1527–1534.
- Jaśkowski, P., Pruszevicz, A., & Świdzinski, P. (1990). VEP latency and some properties of simple motor reaction-time distribution. *Psychological Research*, **52**, 28–34.
- Kammer, T., Lehr, L., & Kirschfeldt, K. (1999). Cortical visual processing is temporally dispersed by luminance in human subjects. *Neuroscience Letters*, **263**, 133–136.
- Krauskopf, J. (1973). Contributions of the primary chromatic mechanisms to the generation of visual evoked potentials. *Vision Research*, **13**, 2289–2298.
- Lennie, P. (1981). The physiological basis of variations in visual latency. *Vision Research*, **21**, 815–824.
- Luce, R. D. (1986). *Response times: their role in referring elementary mental organization*. New York: Oxford University Press.
- Mattes, S., & Ulrich, R. (1997). Response force is sensitive to the temporal uncertainty of response stimuli. *Perception & Psychophysics*, **59**, 1089–1097.
- Mattes, R., Ulrich, R., & Miller, J. (2002). Response force in RT tasks: isolating effects of stimulus probability and response probability. *Visual Cognition*, **9**, 477–501.
- Mckerrall, M., Lachapelle, P., & Benoit, J. (1992). Comparative effects of luminance and scatter on the pattern visual evoked potential and eye-hand reaction time. *Documenta Ophthalmologica*, **79**, 177–185.
- Miller, J. (1988). A warning about median reaction time. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **14**, 539–543.
- Mutlukan, E., Bradnam, M., Kieting, D., & Damato, B. E. (1992). Visual evoked cortical potentials from transient dark and bright stimuli: selective 'on' and 'off-pathway' testing? *Documenta Ophthalmologica*, **80**, 171–181.
- Nowak, L. G., Munk, M. H. J., Girard, P., Bullier, J. (1995). Visual latencies in area V1 and V2 of the macaque monkey. *Visual Neuroscience*, **12**, 371–384.
- Osaka, N., & Yamamoto, M. (1978). VEP latency and RT as power functions of

- luminance in the peripheral visual field. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 44, 785-788.
- Pianta, M. J., & Kalloniatis, M. (1998). Characteristics of anisometric suppression: simple reaction time measurements. *Perception & Psychophysics*, 60, 491-502.
- Poot, L., Snippe, H. P., & van Hateren, J. H. (1997). Dynamics of adaptation at high luminances: Adaptation is faster after luminance decrements than after luminance increments. *Journal of the Optical Society of America, Series A*, 14, 2499-2508.
- Smith, P. L. (1995). Psychophysically principled models of visual simple reaction time. *Psychological Review*, 102, 567-593.
- Teichner, W. H., & Krebs, M. J. (1972). Laws of the simple visual reaction time. *Psychological Review*, 79, 344-358.
- Takiura, T. (1992). On- and off-responses in visual masking functions: effects of intensity and duration of the conditioning flash. *Tohoku Psychologica Folia*, 51, 10-21.
- Takiura, T. (1997). Temporal integration characteristics of the human visual system for the suprathreshold flashes: III. Effects of flash duration on the visual responses. *Tohoku Psychologica Folia*, 56, 22-32.
- 滝浦孝之 (1999). 閾上での時間的加重 電子情報通信学会技術研究報告, HIP 99, No. 185, 7-12.
- (Takiura, T. (1999). Supraliminal temporal summation in the visual system. *IEICE Technical Report*, 99, No. 185, 7-12.)
- 滝浦孝之 (2001). 視覚刺激の立ち上がり立ち下がりに対する単純反応時間 文化, 64(3・4), 35-46.
- (Takiura, T. (2001). Simple reaction times to the onset and offset of the visual system. *Bunka*, 64(NO. 3/4), 35-46.)
- 滝浦孝之 (2002). 閾上増・減分光に対する時間的加重 日本心理学会第66回大会発表論文集, 488.
- (Takiura, T. (2002). Temporal summation for the supraliminal luminance increment or decrement. *JPA Proceedings 66th Annual Convention*, 488.)
- 滝浦孝之・高橋誠・丸山欣哉 (1994). 低周波数フリッカー刺激に対する視覚系の非線形応答についての研究 心理学研究, 65, 190-196.
- (Takiura, T., Takahashi, M., & Maruyama, K. (1994). A study on nonlinearity of the visual system in response to the flickering stimuli in the low temporal frequency domain. *Japanese Journal of Psychology*, 65, 190-196.)

- Török, B., Meyer, M., & Wildberger, H. (1992). The influence of pattern size on amplitude, latency and wave form of retinal and cortical potentials elicited by checkerboard pattern reversal and stimulus onset-offset. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *84*, 13-19.
- Ulrich, R., Linkenauer, G., & Miller, J. (1998). Effects of stimulus duration and intensity on simple reaction time and response force. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *24*, 915-928.
- Vicars, W. M., & Lit, A. (1975). Reaction time to incremental and decremental target luminance changes at various photopic background levels. *Vision Research*, *15*, 261-265.
- Vaughan, H. G. Jr., Costa, D., & Gilden, L. (1966). The functional relation of visual evoked response and reaction time to stimulus intensity. *Vision Research*, *6*, 645-656.
- White, T. W., Irwin, G. E., & Williams, M. C. (1980). Asymmetry in the brightness and darkness Broca-Sulzer effects. *Vision Research*, *20*, 723-726.
- Wilson, A. J., & Lit, A. (1981). Effects of photopic annulus luminance level on reaction time and on the latency of evoked cortical potential responses to target flashes. *Journal of the Optical Society of America*, *71*, 1481-1486.

Summary

Visual response latencies and motor reaction times

Takayuki TAKIURA

The change of the reaction time with the change of the luminance has been considered to be the psychophysical index of the latency of the physiological response. This view is, however, not necessarily proper in all stimulus condition, because some studies reported discrepancies regarding the relationship between the latency of the visually evoked cortical response and the reaction time. In the present experiment, the reaction time and the visual masking function, which has been regarded as a psychophysically-recorded transient response at relatively peripheral stage in the visual system, were obtained with the same spatially uniform stimulus varying its luminance. We found that the reaction time and the psychophysically-estimated response latency changed with the same increments with the increase in the luminance only in rather a restricted stimulus condition, that is, with the shorter stimuli of the constant luminous energy.