

シェブロン図形認識における時間的たし合わせ特性

内川 恵二・D.P. ANDREWS

光学 第9巻第2号(1980年4月)別刷

研究

シェブロン図形認識における時間的たし合わせ特性*

内川 恵二** · D. P. ANDREWS***

Temporal Integration Characteristics for
Chevron Pattern Perception*

Keiji UCHIKAWA** and D. P. ANDREWS***

* This research was done at Dept. of Neuroscience and Communication, Univ. of Keele, England, where one of the authors stayed as an exchange student supported by the student international exchange program (1975) of Japan Ministry of Education.

** Department of Information Processing, Tokyo Institute of Technology Graduate School, 4259, Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 227

*** Department of Neuroscience and Communication, University of Keele, Keele, Staffs, ST5 5BG, England

Thresholds for detecting the bend of a chevron pattern were measured with SOA of its two component lines in a range from 0 to 1.5 sec. Duration D and length L of the lines were also varied from 0.01 to 1.5 sec., from 25 to 200 min. of arc, respectively. The results show that the thresholds were almost constant for all Ds in a range of SOA, at least, from 0 to 50–100 msec., and then began to increase rapidly at the SOAs which values depended on Ds. It was also obtained that the thresholds increased as a function of L, and became proportional to L when SOA was 1.5 sec. Simultaneous and successive integrations of the lines may be considered to explain these results.

1. はじめに

我々は視覚系を通して外界を広がりのある一つの視覚像として捕えている。これは第一に、視覚系には広い視野が備わっているためであるが、実際にパターンを知覚するという働きでは必ずしもこの広い視野がすべて利用されているわけではない。中心窓周辺のおよそ直径10°以下の限られた範囲を用いて¹⁾、注視点をパターンのい

ろいろな部分に飛び跳びに移動させながらパターン全体の観測を行っている。その結果、網膜上のパターンの像は各注視点毎に異なったものとなり、視覚系はパターンの各部分部分の像を時間的な遅れを伴なって次々に取り入れているといえる。このことは視覚系が外界を知覚する場合に第二の重要な機能、すなわち継時的に取り入れた情報をその後、時間的にまとめあわせて一つの像にするという機能が必要であることを示している。

視覚系に、このような継時的なたし合わせ機能が存在することは、実験的にも多くの報告がある。閾値における時間的寄せ集めを示すBlockの法則、パターンの情報を短時間保持したし合わせるVIS(Visual Information Storage)²⁾などはその例で、ある時間内の刺激をたし合せて一つの光、あるいはパターンとしての見えを作り出す機能が視覚系に備わっていることを明らかにしている。

* 本研究は著者の一人が昭和50年度文部省学生国際交流制度により、英国Keele大学に留学した際、同大学Neuroscience and Communication学科において行われた。

** 東京工業大学総合理工学研究科物理情報工学専攻
(〒227 横浜市緑区長津田4259)

*** Department of Neuroscience and Communication, University of Keele, Keele, Staffs, ST5 5BG, England

視覚系の時間的たし合わせ機能に関しては、与えられた刺激が視覚系内にどのくらい時間保持されているか、言い換えると、どのくらいの時間内に入力された刺激をたし合わせることができるかといった、たし合わせ時間幅がこれまでにも多く調べられている。たとえば、刺激全体をいくつかの部分に分け、それらを継続的に呈示するという手段を用い、文字の認識、パターンの見えの一様性、パターンの見えのまとまり、あるいは光点の検出といった判断基準により、約 80 msec から 500 msec というたし合わせ時間幅が求められている^{3~6)}。ところが、これらの研究では実験手段がたし合わせ時間幅の閾値を求めるという方法であるため、たし合わせ時間幅というものは一つ求まるが、入力刺激の時間遅れに伴なってたし合わせ機能がどのように量的に変化していくかという時間特性は直接的には示されていない。

Westheimer ら⁷⁾は副尺パターンを用い、その 2 線分の呈示開始に時間遅れ SOA (Stimulus Onset Asynchrony) を入れることにより、副尺視力の時間特性を求めている。SOA は Fig. 2 で示されるように、第一の刺激の呈示開始から、第二の刺激の呈示開始までの時間間隔であり、2 刺激の時間間隔 ISI (Inter Stimulus Interval) とは図中に示されるような関係にある。Westheimer らは、パターンの 2 線分の呈示時間は共に 1 sec とし、SOA を 0 msec から 1.5 sec まで変化させ、結果として副尺視力は、SOA が 750 msec まではほとんど変化なく、その後 SOA が 1 sec 付近で大きく低下することを報告している。Foley⁸⁾も奥行きと副尺視力の時間特性を 2 線分の呈示間に 0 sec から 32 sec までの時間間隔 ISI を入れることにより測定し、結果として ISI が約 30 msec 以上になると両視力とも急速に低下していくことを示している。これらの実験から 2 刺激の呈示間に時間間隔がはいいると、それらがわずかでも、たし合わせはかなり大きく劣化することが考えられる。しかし、これらの実験は用いた刺激の大きさ、呈示時間が一定というように実験条件が限られた範囲のものであった。そこでたし合わせ時間特性をさらに定量的に検討するためには、刺激の大きさ、呈示時間、および呈示開始時間遅れ等の実験変数の組み合わせを様々に変化させ、より広い範囲の実験条件が必要であると考えられる。

2. 実験方法

本研究では、刺激パターンとして Andrews ら⁹⁾の用いた

シェプロン图形を採用した。シェプロン图形とは、Fig. 1 左に示されるような 2 本の線分からなる谷形(上向き)、あるいは山形(下向き)のパターンである。このパターンは形が単純なため、曲りの向きや大きさの異なるものを容易に作成でき、線分パターンの視力などを測定する実験には有効であると考えられる。図の *h* を変化させ

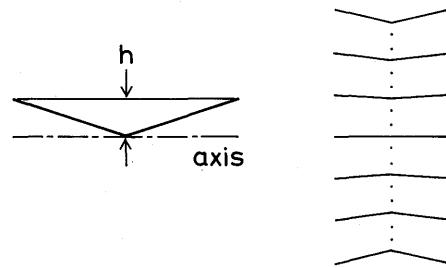


Fig. 1 A chevron pattern. The parameter (*h*) was varied as shown to the right. The slope of the axis of the pattern was also varied at random between presentations in a range of $\pm 10^\circ$ from the horizontal line.

ると、Fig. 1 右に示すようにパターンの曲りの大きさと上下の向きが変化する。*h* の値がある値以下では、直線と見分けがつかない。その *h* の値をシェプロン图形の曲りの閾値とする。本実験ではシェプロン图形の 2 線分の呈示に SOA を入れ、曲りの閾値がどのように変化するかをパターンの呈示時間と長さをパラメータとして測定した。

刺激パターンの呈示には CRT を用い、PDP-8 電子計算機で制御した。被験者の応答もスイッチを通して電

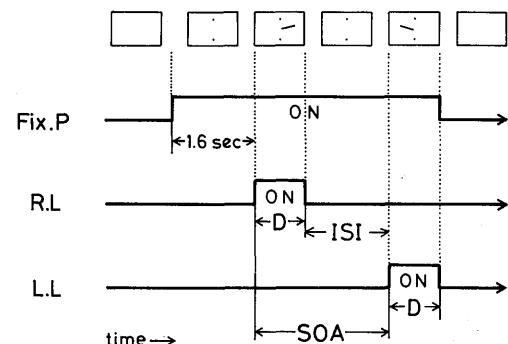


Fig. 2 Temporal sequence of presenting a stimulus. *D*: duration of the lines. SOA: stimulus onset asynchrony. Two fixation points were presented 1.6 sec before the stimulus.

子計算機に入れられ実験はパターン呈示から応答結果の処理まですべてオンラインで行った。

パターンの呈示法はFig. 2に示されるように、まず上下2個の固視点が、1.6sec現われ、続いて右側の線分、SOA後左側の線分の順に呈示される。線分の呈示時間は左右共に等しく、 D である。2個の固視点の間隔は0.8°、その間にパターンが呈示される。刺激パターンの線分の幅は1.8'、パターンは白色で輝度は270 cd/m²、背景となるCRT面の輝度は8.6 cd/m²となっている。被験者は両眼自然視、視距離150 cm、頭部は特に固定されず自由である。

実験は恒常法で行った。パターンの曲りがFig. 1右の例のように少しづつ、十分細かく異なるよう21個の刺激パターンを用意する。実験ではその中のいくつかのパターンをランダムに呈示し、被験者は呈示されたパターンが「上向き」あるいは「下向き」に見えたかをforced choice法により2個のスイッチの一方を押すことで応答する。

1セッションの実験は、合計して120回のパターン呈示からなるが、用いられる刺激パターンは前実験により、21個の中から4個を被験者の応答分布に適切に合うような方法で決めておく。ただし、30回以後のパターンの呈示では、15回毎にそれまでの30回の応答をもとにして刺激パターンを改めて4個選び直す。したがって、1回の実験に用いられる刺激パターンの個数は実験により異なり、1個の刺激パターンの呈示回数もそれぞれ異なっている。しかし、刺激パターンの個数と呈示回数は被験者の応答に合うように決められているため、閾値を求めるためには能率のよい方法といえよう。刺激パターンの長さ、呈示時間、呈示開始時間遅れSOAは1セッションの実験では一定とした。刺激パターンは約3秒毎に呈示され、1セッションの実験は前実験と含めて約15分間で終了した。

予備実験の結果、パターンの呈示法で一つ問題となつたことは、Fig. 1左のaxisの傾きを常に固定していると、線分一本の呈示だけで被験者が「上向き」「下向き」の判断をしてしまうということである。そこでFig. 1のaxisに水平方向から±10°以内の4方向で呈示毎にランダムに変化を与え、一線分の呈示だけでは「上向き」「下向き」の判断がつかないよう配慮した。

3. 結 果

Fig. 3に被験者の応答結果の一例を示す。横軸は刺激

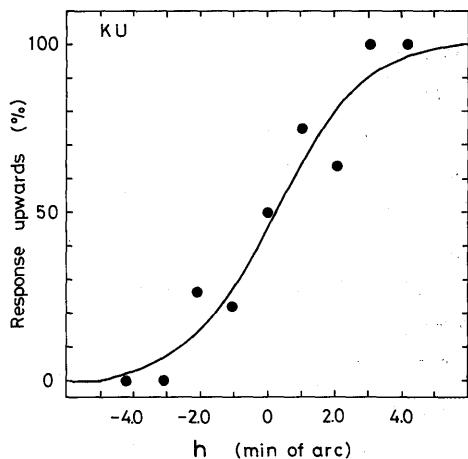


Fig. 3 An example of the responses. The abscissa represents the bend of a chevron pattern (h) in min. of arc, the ordinate, percentage of the responses "upwards". Line length including both lines of the chevron pattern: 100 min. of arc, duration: 50 msec., stimulus onset asynchrony: 1500 msec.

パターンの曲りの大きさを示す h の値で、正の値はパターンが上向き、負の値はパターンが下向きであることを表わしている。縦軸は被験者が「上向き」と答えた割合を示し、図中の黒丸が実験結果である。パターンの長さ L は2線分の合計の長さを表わし100 min of arc、呈示時間 D は50 msec、呈示開始時間遅れSOAは1500 msecである。図より「上向き」という応答は、 $h = -4.2, -3.1$ min of arc では0%であり、 h の値が大きくなるにつれて増加し、 $h = 3.1, 4.2$ min of arc では100%になっていることがわかる。閾値としては、応答の分布に最適に合う正規累積曲線を求め、その曲線の標準偏差をとった。実験結果を正規累積曲線に近似する方法は、プロビット法(Probit Analysis)¹⁰⁾を採用し、Fig. 3の実線はこのようにして求めた曲線である。

まず、SOAと呈示時間 D との関係をみるために、 $L=50$ min of arc 一定、 $D = 10, 50, 150, 500$ msec, SOA = 0, 100, 400, 1500 msecとして実験を行った。結果をFig. 4(a)に示す。実験は D , SOAのすべての組み合わせを1セッションずつランダムに行い、次に実行順序を逆にして繰り返した。図の点は2セッションの実験結果の平均を表わす。図より、SOAの増加に伴ない、いかなる D の条件でも閾値は増大していくことがわかる。しかし増大の仕方は一様ではなく、 $D = 10, 50$ msecで

は閾値ははじめから次第に大きく増大していくのに対し, $D = 150, 500, 1500$ msec では閾値ははじめ比較的ゆるやかに増大し、その後SOAが増加するとかなり大きく増大していく。さらに、この場合は閾値が大きく増大を始めるSOAの値も D の増加とともに増加していく傾向を示している。

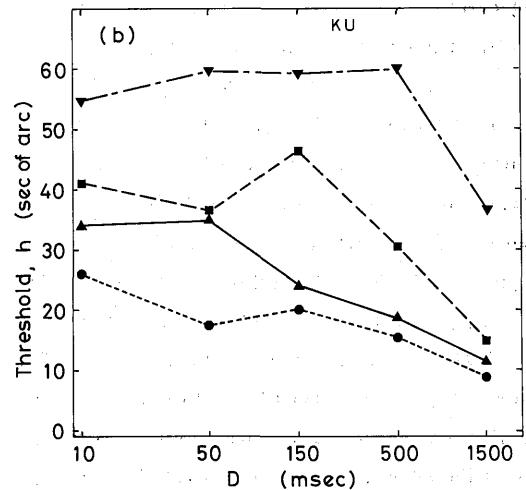
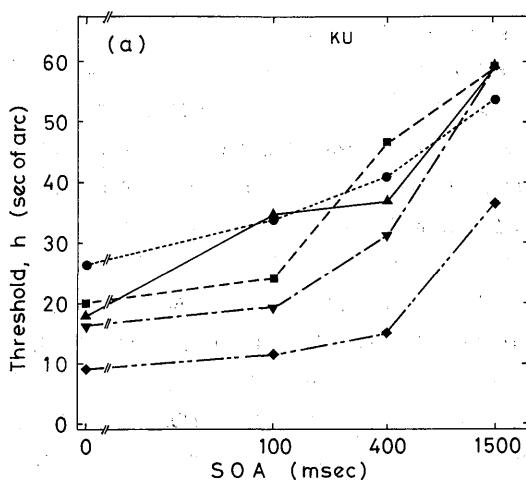


Fig. 4 (a) Thresholds as a function of stimulus onset asynchrony. Line length: 50 min. of arc, duration; ●: 10 msec., ▲: 50 msec., ■: 150 msec., ▽: 500 msec., ◆: 1500 msec.
 (b) Thresholds as a function of duration, replotted from the same results as in (a). Line length: 50 min. of arc, stimulus onset asynchrony; ●: 0 msec., ▲: 100 msec., ■: 400 msec., ▽: 1500 msec.

Fig. 4(b) は、閾値と D の関係をよりわかりやすくするために、 D を横軸に、SOAをパラメータとして、Fig.

4(a) の結果を再プロットした図である。閾値は D の増加に伴ない SOA = 0 msec では次第に減少、SOA = 100, 400, 1500 msec ではそれぞれ、 $D = 50, 150, 500$ msec までほぼ一定でその後減少していくことが示されている。

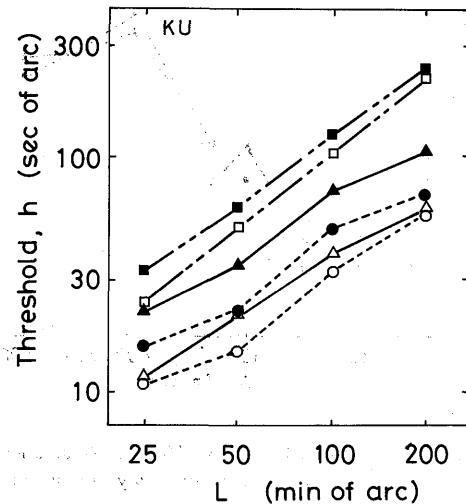


Fig. 5 Thresholds as a function of line length on log-log coordinates. Duration; ●, ▲, ■: 50 msec., ○, △, □: 500 msec., stimulus onset asynchrony; ●, ○: 0 msec., ▲, △: 150 msec., □: 1500 msec.

Fig. 5 はさらにパターンの長さ L を変化させた場合の結果である。横軸は L で縦軸はパターンの曲りの閾値を h で示してあり、横軸、縦軸共に対数軸上にプロットしてある。パラメータとして、 $D = 50, 500$ msec, SOA = 0, 150, 1500 msec をとった。実験は、Fig. 4の場合と同様に、 L, D, SOA のすべての組み合わせをランダムにして実行し、繰り返した。図中の点は2セッションの実験の平均を表わす。図よりしが増加すると、どの条件でも閾値は増大していくことが示されている。さらに SOA = 1500 msec ではグラフの傾きが、SOA = 0, 150 msec のものよりも多少大きく、ほぼ傾き 1 の直線になっている。

4. 考 察

Fig. 4(a) より $D \geq 150$ msec では閾値は SOA のある値までほとんど変化なく、その後急に増大を始めるといった傾向を示していた。ところが $D \leq 50$ msec では閾値は SOA = 100 msec すでに増大を始めており、閾

値が一定となる SOA の範囲は明らかとなっていた。そこで $D \leq 50$ msec に関しては、 $D = 10, 50$ msec で SOA をより細かくとて行ってあった予備実験の結果を、Fig. 6 に示す。ただし、 $L = 46$ min of arc であり、

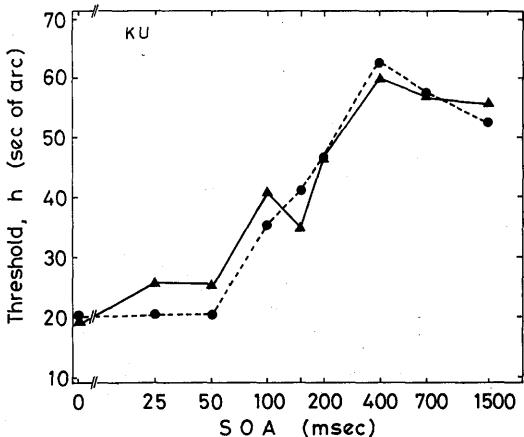


Fig. 6 Thresholds for 10 msec. (●), 50 msec. (▲) durations as a function of stimulus onset asynchrony. Line length: 46 min. of arc.

多少実験条件が異なっている。Fig. 4 (a) の $D = 10, 50$ msec の結果と比較すると、SOA = 400 msec で傾向が異なっているが、その他はほぼ同様な傾向であると言えよう。Fig. 6 より $D \leq 50$ msec では閾値は SOA = 50 msec までほとんど変化なく、その後 SOA = 50 から 100 msec の範囲で急に増大を始めていることが認められる。

Fig. 4, 6 の結果をまとめると、シェブロン图形の 2 線分のたし合わせの時間特性は次のようになると考えられる。まず、SOA = 50 ないし 100 msec までは、いかなる D の条件でも、閾値が SOA = 0 msec の場合とほぼ等しい値をもっている。これはパターンの 2 線分のうちはじめに呈示された線分が 50 ないし 100 msec 間は視覚系にはほぼ完全な形で保たれており、次の線分と SOA = 0 msec の場合と同様にたし合わされるといったことを示している。ここで求めた 50 ないし 100 msec というたし合わせ時間幅は、Hogben¹¹⁾ が求めたパターンの位置情報に対する保持時間の 50 ないし 90 msec という値とかなりよく一致している。SOA = 50 ないし 100 msec までのたし合わせ、いわば、同時たし合わせは Fig. 4 (b) より D が増加すると閾値がさらに減少するといった特性をもっている。次に SOA > 50 ないし 100 msec では $D < 50$ ないし 100 msec の場合は閾値は SOA の増加とと

もに急に増大していく。ここではもはや同時たし合わせは行われず、継時たし合わせと呼ぶべきパターンの異なるたし合わせに移行していくと考えられる。 $D > 50$ ないし 100 msec の場合は、SOA がたし合わせ時間幅以上でも同時たし合わせは行われ、継時たし合わせに移行する SOA の値も D の増加とともに増加する。これは明らかに D が増加すれば SOA の大きな値までパターンの 2 線分の呈示に時間的な重なりがあるということが一因であろう。しかし Fig. 4 (a) の $D = 500, 1500$ msec の結果をみると SOA が D よりも小さい点ですでに閾値は増大しており、単純に時間的重なりの有無で閾値の上昇は説明できない。さらに Fig. 4 (b) より継時たし合わせは D の増減に関して閾値はほとんど変化しないという特性をもっている。

一方、Fig. 5 の結果では SOA = 1500 msec の場合は結果で述べたように閾値はほぼ L に比例し直線で変化している。シェブロン图形では h (Fig. 1) は L と線分の傾きから計算され、傾きが一定ならば L に比例する。したがって、SOA = 1500 msec では閾値は L の増加分だけ増加しているということであり、パターンの 2 線分の開き角は一定になっている。また SOA = 0, 150 msec の場合は閾値は SOA = 1500 msec の場合に比較すると、ゆるやかに増加している。これは L が大きいことがパターンの曲りの判断に有効に働き、パターンの 2 線分の開き角は L の増加とともに増大していることになる。ここでは $D = 50, 500$ msec であるため SOA = 1,500 msec では継時たし合わせ、SOA = 0 msec では同時たし合わせと考えられ、上で述べた二つの傾向はやはり継時たし合わせ、同時たし合わせの特性の違いによると言えるだろう。ただ、 $D = 50$ msec で、SOA = 150 msec の場合は、Fig. 6 から継時たし合わせの範囲だが、Fig. 5 では同時たし合わせの場合と同様な傾向を示している。これは L に対する閾値の変化は上述した簡単な説明だけでは不十分であるということであり、さらに検討が必要であろう。

Ikeda ら⁶⁾ はパターン全体を同時に観測する場合とパターンの部分部分を継時的に観測する場合で、視覚系に形成されるパターンの像がそれぞれ異なることを示している。本実験で示した同時たし合わせと継時たし合わせという二つのたし合わせの特性の違いもこういった視覚系のパターンを同時に処理する機能と継時的に処理する機能の表われであると考えれば理解できるであろう。

5. 結　　び

本研究では視覚系のパターンに対するたし合わせの時間変化を定量的に調べるために、シェブロン図形の曲りの閾値を、パターンの2線分の呈示にSOAを入れ、呈示時間D、線分の長さLをパラメータとして測定した。結果として、閾値はDとSOAの組み合わせでシステムティックな変化を示すことが示されたが、その特性的一般性をさらに強めるためには、D、SOAおよびLの範囲を広げ、かつ精密な測定が必要であろう。他種のパターンに対しても同様な結果が得られるかどうかを含めてこれらは今後の課題である。

終わりに著者の一人が留学する際、多大な御助力を頂き、さらに本研究を進める上で適切なアドバイスをして下さった、東京工業大学の池田光男教授、Keele大学のD. M. MacKay教授に心から感謝致します。

文　　献

- 1) M. Ikeda, K. Uchikawa and S. Saida: *Optica Acta*, **26** (1979) 412.
- 2) G. Sperling: *Hum. Factors*, **5** (1963) 19.
- 3) C. W. Eriksen and J. F. Collins: *J. exp. Psychol.*, **74** (1967) 476.
- 4) R. N. Haber and L. G. Standing: *Q. J. exp. Psychol.*, **21** (1969) 43.
- 5) J. H. Hogben and V. Di Lollo: *Vision Res.*, **14** (1974) 1059.
- 6) M. Ikeda and K. Uchikawa: *Vision Res.*, **18** (1978) 1565.
- 7) G. Westheimer and G. Hauske: *Vision Res.*, **15** (1975) 1137.
- 8) J. M. Foley: *Vision Res.*, **16** (1976) 1269.
- 9) D. P. Andrews, A. K. Butcher and B. R. Buckley: *Vision Res.*, **13** (1973) 599.
- 10) D. J. Finney: *Probit Analysis* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1971) 3rd ed.
- 11) J. H. Hogben, B. Julesz and J. Ross: *Vision Res.*, **16** (1976) 861.