

## 視覚的注意による増分閾値の時間的变化

豊岡隆史・内川恵二

東京工業大学大学院 総合理工学研究科 物理情報システム創造専攻

〒226-8503 横浜市緑区長津田町 4259

(受付：2002年3月7日；改訂稿受付：2003年3月16日；受理：2003年5月18日)

### Temporal Change of Increment Threshold by Visual Attention

Takashi TOYOOKA and Keiji UCHIKAWA

Department of Information Processing, Tokyo Institute of Technology

4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama, Kanagawa 226-8503, Japan

(Received 7 March 2002; Received in revised form 16 March 2003; Accepted 18 May 2003)

When two targets are presented in a rapid succession, correct identification of the first target results in detection deficit for the second target because of effects of visual attention. In the present study we measured temporal effects of visual attention with increment luminance thresholds of a second target. We also obtained that temporal effects of visual attention were influenced by difficulty of a first attention task. The results showed that detection sensitivity of the second target in the double-task condition decreased up to about 500 ms when the first target was accurately detected. It was also shown that when the first task was easier detection sensitivity of the second target was recovered more rapidly.

#### 1. はじめに

視覚的注意とは、時間的空間的に分布している視覚情報の中から、必要な視覚情報を選択的に収集し、処理するシステムであると考えられている。たとえば、日常生活でも私たちは視野全体を漠然と見るのではなく、特定の対象に注意を集中し、必要な視覚情報を詳細に取り入れている。このような注意による視覚情報の選択は、視覚情報の一部分を照らすスポットライトのようにたとえられる<sup>1)</sup>。さらにズームレンズのように注意を向ける領域の大きさが変化すると考えられている<sup>2)</sup>。注意を向ける領域が小さいほど注意による処理が促進される。

注意のスポットライトは空間的な視覚情報の選択を示しているが、一方で、同一の空間領域を注視し続けた場合にも、私たちの検出能力が時間

変化することも知られている<sup>3-7)</sup>。Raymondら<sup>3)</sup>は、継時的に呈示される2つのターゲット検出課題を被験者に課した際に、第1ターゲットの検出を優先すると、第2ターゲットの検出が一定時間内で妨害される現象を報告した。この現象は、第2ターゲットの検出のみに専念した場合には、その時間的な呈示位置に依らず常に高い正答率を示すことから、第1ターゲットに注意を払った結果生じたものといえる。この現象は視覚的注意の時間効果として attentional blink<sup>3,4)</sup> (以後 AB 効果と略す)と呼ばれている。

このAB効果を説明するためにいくつかのモデルが提案されている。それらの多くは、細部に違いはあるものの、注意の処理容量の限界に基づく現象としてAB効果を説明した<sup>5-7)</sup>。第1ターゲットの検出のために限りある注意資源の大半が費されてしまうので、後続ターゲットの検出

のために処理資源を割けない時間が一定期間内で生じ、その検出率が低下してしまうというものである。AB効果が現れるためには、被験者の注意が第1ターゲットにいかにか集中するかどうかことがキーポイントとなるといえる。

過去の研究では多くの場合、背景に対して高コントラストの文字刺激を用いて、その認識能力を正答率として評価してきた<sup>3-7)</sup>。このような認識能力は、視覚系の比較的高次レベルの機能と考えられる。最近のAB効果を調べる研究では、これまで知られていたパターン情報の検出課題の他に、色情報の検出<sup>8)</sup> や方位弁別課題<sup>9)</sup> に対してもAB効果が現れることが報告されている。このような報告から、AB効果はあらゆる視覚情報の検出に対して生じうる現象であると考えられてきた。しかし、視覚系の比較的低次レベルの機能と考えられる刺激の検出閾値に対して注意の時間効果があるかどうかについてはこれまでに報告がない。検出閾値が必ずしも低次の処理過程のみで決定されるものではないにせよ、視覚一大脳系の機能的側面として最も基本的な位置付けがなされる検出閾値に対して注意が影響をおよぼすかどうかを調べることは、視覚的注意のメカニズムを探るうえで重要な問題であろう。そこで、本研究では、注意課題後の感度変化の時間特性を、輝度増分検出閾値の時間的変化として測定することを目的とした。さらに、本研究では、注意課題の難易度が視覚的注意による感度変化の時間特性に与える影響についても調べた。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験原理

文字刺激を用いたこれまでのAB効果の研究では、主に二重課題 RSVP (rapid serial visual presentation) 手法が採用されてきた。これは、高速に切り替えて呈示される刺激群の中から、2つのターゲット検出課題を被験者に課すものである。この RSVP 課題においては、ターゲット以外のアイテム(ディストラクタ)も重要な役割を果たす。本実験では、実験条件を統制するためにも、より単純化した実験手続きを採用した。被

験者に、中心視野に呈示される2重リングの領域を注視させ、まず、各リングに呈示される切れ目の個数を数えさせることで、被験者の視覚的注意を操作する。そして、その後2重リングの中央に増分刺激を呈示して、その検出閾値によって感度変化を測定する。本実験では特にディストラクタは用いない。リングの切れ目は、リングが再び完全なリングとなることでマスクされる。中心部分の輝度増分刺激は、後続刺激によってマスクされない。

本実験ではさらに、注意課題の難易度による効果を調べるため、リング刺激の輝度値を2条件に設定した。リング刺激の輝度が小さくなり背景輝度に近づくことで、リングの切れ目の検出はより困難となる。予備実験によって注意課題の正答率が70%および85%となるリング刺激の輝度をそれぞれ選び、難易度が異なる注意課題を行った後の増分閾値の時間的変化を比較する。

### 2.2 装置と刺激

刺激は Power Macintosh G3 / 350 によって制御され、CRT モニタ (SONY GDM2000) 上に呈示される。被験者は顎台によって頭部を固定され、単眼視にて刺激を観察した。視距離は52 cm で、実験は暗室内で行った。また本実験では、特に眼球運動の測定は行っていない。

本実験で使用した刺激を図1に示す。すべての視覚刺激は中心視野視角 2.1 deg の範囲に呈示される。被験者の視覚的注意を操作する注意課題刺激として2重リング刺激を採用した。各リングには、図に示す位置に1つもしくは2つの幅 0.21 deg の切れ目が 40 ms 呈示される。リング刺激の輝度は、予備実験により注意課題の正答率が70%および85%となる2つの輝度値に設定した。中心視野 0.7 deg の範囲には、輝度増分検出刺激として円形のテスト光が 13.3 ms 呈示される。これは、本研究で使用した CRT モニタの1フレームに相当する。背景光強度は 20 cd/m<sup>2</sup> であり、すべての刺激の色度は、等エネルギー白色点 ((x, y) = (0.333, 0.333)) に設定した。

### 2.3 手続き

実験手続きを図2に示す。各試行は、試行開始

の合図とともに切れ目のない2重リングが呈示されることで開始される。被験者はリング中心部分を固視し、2重リングの範囲内に注意を集中する。リングの呈示から1.2～2.0 sの間のランダムなタイミングで、各リングにつき1つもしくは2つの切れ目(注意課題刺激)が40 msにわたって呈示される。注意課題は、このリングの切れ目の数を内リング、外リングの順に数えること

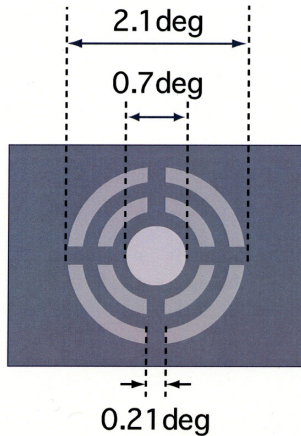


図1 実験刺激。注意課題刺激として各リングにつき1つもしくは2つの切れ目が呈示される。2重リングの中心部分にテスト光(輝度増分検出刺激)が呈示される。被験者はこの2重リングの範囲を注視し続ける。

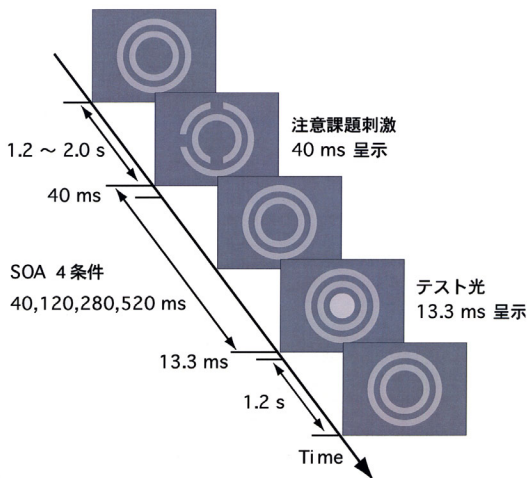


図2 実験手続き。被験者は、二重課題条件ではまず注意課題刺激に注意し、その後輝度の増分に注意する。一方で単一課題条件では、同じ刺激を観察するものの、輝度増分のみ注意到その有無を応答する。

とした。リングは再び切れ目のない状態となり、注意課題刺激の呈示開始時刻から、40, 120, 280, 520 msの4条件のいずれかの時間遅れ(SOA)で、リング中心部分にテスト光が50%の確率で13.3 msだけ呈示される。その後さらに1.2 s間2重リング刺激が呈示されることで、一連の刺激呈示は終了する。すべての刺激が呈示された後で、被験者は手元の応答用テンキーによって注意課題の応答とテスト光の応答を行う。

注意課題条件は二重課題条件と単一課題条件があり、2条件は交互に繰り返される。二重課題条件では、被験者はまず注意課題を行い、その後増分検出を行う。一方単一課題条件では、被験者にはまったく同じ刺激が呈示されるが、被験者は注意課題は行わず増分検出のみを行う。

一連の刺激呈示の後で、被験者はそれぞれの課題条件に応じて応答する。注意課題ではリングの切れ目の個数を内リング、外リングの順に回答する。増分検出課題では輝度増分の有無をYES, NOで回答する。二重課題条件で注意課題の回答に不正答であった試行は棄却され、その後の解析からは除外される。被験者は注意課題に正答するまで、再度二重課題条件を行う。

リング刺激の輝度は、予備実験によって決定された。予備実験では、階段法によりリングの輝度値がセッション内で変化する。これにより、注意課題の正答率が70%および85%となるリング刺激の輝度を決定する。70%と85%の正答率を持つリング刺激の輝度条件を、それぞれ高難易度条件と低難易度条件と呼ぶ。注意課題の2つの難易度条件は別セッションで行われた。

閾値測定には恒常法を用い、1セッションは128試行からなる。テスト光の輝度値として、知覚確率曲線の0～100%までを均等に分布するように、予備実験の結果から輝度8点を選んだ。セッション内では、SOA 4条件、テスト光の輝度8条件、およびテスト光の有無を試行毎にランダムに選択した。

被験者は各テスト光に対して14～16セッションを繰り返した。最後にテスト光が呈示されたときの応答を合計して知覚確率を求め、プロ

ビット法により近似して知覚確率曲線を求めた。検出確率が50%のときの増分輝度値を輝度増分検出閾値とした。

### 2.4 被験者

被験者は2名、TT(男性, 23才), HA(男性, 24才)で2名とも視力正常である。

### 3. 結果

本実験で使用したリング刺激の輝度値と、実験によって得られた注意課題の正答率を表1に示す。これより、被験者TTとHAともに、それぞれの難易度の注意課題に対して予備実験とほぼ等しい正答率を示したことが分かる。

図3に、注意課題の難易度が異なる二重課題条件および単一課題条件での輝度増分検出閾値の時間的変化を被験者別に示す。グラフの横軸はSOA (ms)であり、縦軸は輝度増分閾値を表す。図中の各シンボルは、●と○はともに二重課題条件の結果であり、それぞれ高難易度条件と低難易度条件の結果を示す。△は単一課題条件の結果であるが、2つの注意課題実験の結果の平均値を示す。誤差棒はプロビット解析の結果から得られる標準誤差を示す。

まず図3の二重課題条件と単一課題条件の結果を比較する。両被験者とも単一課題条件では、増分閾値はSOAに依らずほぼ一定となった。これに対して二重課題条件では、注意課題直後の短いSOAにおいて閾値が大きく上昇した。SOA 40 msでは、二重課題条件の閾値は単一課題条件と比べて両被験者ともに約0.15 logだけ上昇した。二重課題条件の閾値はSOAが増加するにつれて徐々に減少し、SOA 520 msまでには単一課題条件と同等のレベルとなった。

次に注意課題の難易度が異なる二重課題条件の結果を比較する。注意課題の難易度が低くなることで、両被験者ともに増分閾値が上昇しているSOAの幅がより短時間となった。このとき、SOA 40 msにおいて注意課題の難易度の違いによる差はほとんど見られないが、SOAが増加するに従ってその差は顕著となった。

本実験結果の各SOAにおける両課題条件の閾

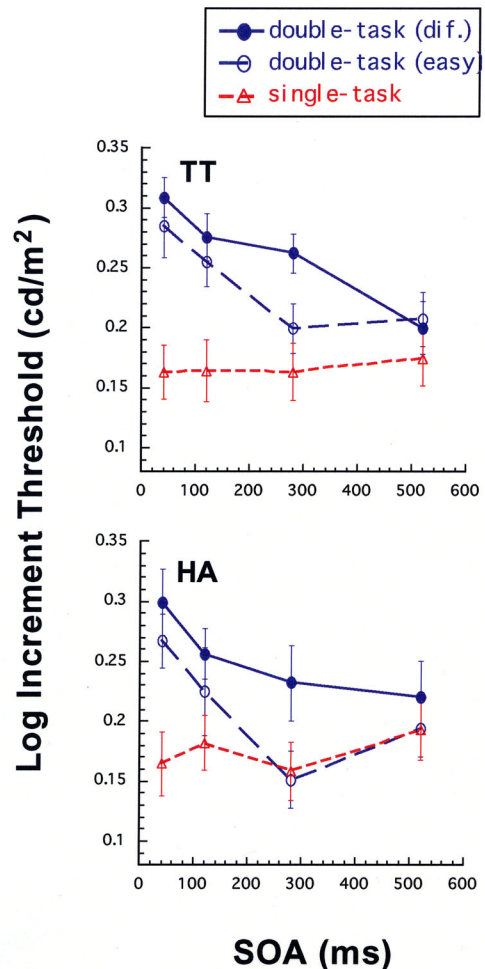


図3 視覚的注意による輝度増分検出閾値の時間的変化。●は高難易度注意課題条件の増分閾値であり、○は低難易度注意課題条件の増分閾値を示す。△は輝度増分検出のみに専念した条件での閾値を示す。上段は被験者TT、下段はHAの結果を示す。

表1 リング刺激の輝度と注意課題の正答率。

被験者	注意課題難易度	リング輝度	注意課題正答率
TT	低	23.6	0.84
TT	高	23.2	0.67
HA	低	23.0	0.88
HA	高	22.5	0.70

リング刺激の輝度は予備実験によって決定された。注意課題の正答率が70%と85%となるリング刺激の輝度条件を、それぞれ高難易度条件と低難易度条件と呼ぶ。表は本実験におけるそれぞれの難易度条件の注意課題の正答率を示す。



値の差についてt検定 ( $\alpha < 0.05$ )を行った。被験者 TT の高難易度条件では SOA 40 ~ 280 ms で有意な閾値の上昇が得られたのに対して、低難易度課題条件では SOA 40 ~ 120 ms までの閾値でその差が有意であった。また被験者 HA の高難易度課題条件では SOA 40 ~ 120 ms の間で統計的な有意差が得られたのに対して、低難易度課題条件で有意な閾値の上昇が得られた SOA は、SOA 40 ms のみとなった。

#### 4. 考察

本実験に参加した2名の被験者ともに、注意課題直後の輝度増分閾値が単一課題条件に比べて増加した(図3)。これは注意課題直後の検出感度が低下したことを示している。被験者は、二重課題条件および単一課題条件ともに物理的には同じ刺激を観察していることから、視覚マスキングなどの刺激に依存した要因では本実験の結果を説明できない。視覚的注意によって検出感度が時間変化するといえよう。これは注意課題の難易度に応じて感度変化の時間特性が変化したことによっても裏付けられる。

注意課題による検出感度への影響は、SOA 40 ms という比較的早い時間帯から現れた。一方で、Raymond ら<sup>3)</sup> が示した AB 効果処理欠損の曲線は、SOA 200 ~ 300 ms をピークにした U 字型の曲線であった。このような注意の影響が後続刺激に対して及ぶまでの時間の相違は、注意スイッチによるものとして説明できる<sup>9,10)</sup>。Visser らは、注意課題と後続課題で刺激の空間的位置やカテゴリーおよび課題の応答条件が異なるときに注意の切り替えが生じると考えた。そしてこのことが注意課題直後の時間帯における検出能力の低下を引き起こすと提案した。例えば Raymond らの実験では、第1と第2課題はともに文字を検出させたのに対して、本実験ではリングの切れ目の数と輝度増分刺激の有無といったように、第1と第2課題は大きく異なっている。このような課題の変化に対する注意の切り替えが、後続刺激に対して注意を向けられない状態を瞬時にして作り出したものと考えられる。

注意課題後の検出感度は、SOA が約 500 ms までに単一課題条件と同等のレベルにまで回復した。検出感度に注意による影響が現れる時間は、注意課題の難易度に応じて変化した(図3)。本実験では、注意課題の難易度が低くなることで、その後の検出感度の低下はより短時間にとどまった。Chun & Potter<sup>7)</sup> は、文字刺激を用いた RSVP 実験において、本実験と同様の第1タスクの難易度による効果を報告している。彼らは、一連の高速連続呈示される数字の中から2つのアルファベットを被験者に検出させた。このとき、ターゲットのすぐ次のアイテムは、数字もしくはキーボードシンボル (<, >, =, #, %, ?, /, および\*)が呈示された。その結果、第1ターゲットが数字によってマスクされた条件よりも、シンボルによってマスクされた条件で、AB 効果がより短時間になった。また第1タスクの正答率は、マスク刺激が数字のときよりもシンボルのときでより高いものとなった。彼らは、ターゲットに対するマスク効果の違いによって、第1タスクの難易度の効果を測定した。これに対して本研究では、リング刺激の輝度に依存した注意課題の正答率という指標を用いて、直接的に注意課題の難易度による効果を示したことになる。

課題の正答率は、その課題に対する被験者の戦略や熟練度、およびその日の集中度といった複雑な要因が絡むため、必ずしも安定したパラメータとはなり得ないと考えられている。本実験では刺激の輝度によって注意課題の正答率および難易度を操作した。難易度の低い注意課題刺激は、背景からの増分輝度がより大きな刺激であった。また一方、本実験の二重課題条件で注意課題によってテスト光への注意の集中が妨害された状況においても、テスト光の増分輝度が大きくなればその検出確率は向上した。これは刺激の増分輝度が大きくなれば、それほど注意がかかっても刺激の検出ができることを意味している。このことから、刺激そのものの特性として本実験の難易度の低い注意課題刺激は、難易度の高いものよりも、注意をそれほど集中しなくとも検出可能な刺激であったものと考え

えられる。

本研究では、空間的に同一の範囲を注意し続けた状態においても、注意の効果によって検出感度が時間変化することが示された。このとき SOA 40 ms という比較的早い時間帯から生じる感度低下と SOA 約 500 ms まで持続する感度低下は、それぞれ注意スイッチと AB 効果の複合的作用によるものであると考えられる。本実験で得られた AB 効果に注意の限界容量モデル (limited capacity theory) を適用する。注意課題に注意した際に限られた処理容量の大半が費やされることで、後続の検出刺激に対して十分に注意を向けられない時間帯が一定期間続く。そのため、注意資源が回復する約 500 ms までの間で検出感度が低下したと考えられる。さらに、注意課題が容易な条件では注意資源をそれほど消費しないために、注意資源及び検出感度の回復までの時間はより短時間となった。

本研究で得られた増分検出課題に対する AB 効果は、従来の文字認識課題でのものと類似したものであった。これまで提案された AB 効果を説明するためのモデルでは、ターゲットとなりうるオブジェクトを選別および検出した後に、応答のためのさらなる処理過程や記憶過程で処理が滞ることが AB 効果の原因であるとした。視覚系の比較的低位レベルの検出感度と考えられる増分検出閾値が注意によって影響された本実験結果は、従来からのモデルを否定するものではない。興味深いことは、比較的高次過程の処理であると考えられる注意の作用によって、文字認識より低位の処理過程の感度が変化したという点である。この結果は、注意が検出過程そのものに作用した可能性も示唆することができる。例えば、獲得した視覚情報を一定時間にわたって積分することで、情報の SN 比を向上させるシステムを想定した場合には、注意課題の難易度がこの積分時間を変化させるというメカニズムを考えることもできる。つまり注意課題の難易度が高い条件では、より精度の高い情報を得るために、より長時間にわたって入力情報を積分する。そしてこの間に現れる後続刺激がノイズと

して視覚系の出力から除外される。このように、AB 効果を処理容量の限界によるものとしてではなく、出力情報の精度を高めるために入力情報の積分時間を長時間化した結果として捉えることも可能である。ここでの議論をより確かなものにしていくためには、検出課題に対する注意の影響をさらに検討していく必要があるだろう。

## 5. 結論

視覚的注意による感度変化の時間特性を調べるため、注意課題後の輝度増分検出閾値の時間変化を測定した。その結果、注意課題後の増分閾値が SOA 約 500 ms までの間で上昇した。SOA 40 ms での注意課題後の増分閾値は、増分検出に専念した条件と比べて約  $0.15 \log$  の閾値の上昇を示した。これは、視覚的注意によって検出感度が時間変化することを示す。また、注意課題後の感度変化の時間特性は、注意課題の難易度に応じて変化した。注意課題が容易な条件では、後続の増分検出刺激への注意の影響がより短時間となった。これらの結果は、視覚的注意の限りある処理容量の特性を反映したものと考えられる。

## 文 献

- 1) M. I. Posner: Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **32**, 3-25, 1980.
- 2) C. W. Eriksen and J. D. St. James: Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception and Psychophysics*, **40**, 225-240, 1986.
- 3) J. E. Raymond, K. L. Shapiro and K. M. Arnell: Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: an attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **18**, 849-860, 1992.
- 4) K. L. Shapiro and S. J. Luck: The attentional blink: A front-end mechanism for fleeting memories. V. Coltheart (Eds.): *Fleeting Memories (Chapter 5)*. The MIT Press, 1999.
- 5) J. Duncan, R. Ward and K. L. Shapiro: Direct

- measurement of attentional dwell time in human vision. *Nature*, **369**, 313-315, 1994.
- 6) K. L. Shapiro, J. E. Raymond and K. M. Arnell: Attention to visual pattern information produces the attentional blink in RSVP. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **20**, 357-371, 1994.
  - 7) M. M. Chun and M. C. Potter: A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **21**, 109-127, 1995.
  - 8) N. E. Ross and P. Jolicoeur: Attentional blink for color. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **25**, 1483-1494, 1999.
  - 9) J. S. Joseph, M. M. Chun and K. Nakayama: Attentional requirements in a preattentive feature search task. *Nature*, **387**, 805-808, 1997.
  - 10) T. A. W. Visser, W. F. Bischof and V. Di Lollo: Attentional switching in spatial and non-spatial domains: Evidence from the attentional blink. *Psychological Bulletin*, **125**, 458-469, 1999.
  - 11) S. Shih: Recall of two visual targets embedded in RSVP streams of distractors depends on their temporal and spatial relationship. *Perception and Psychophysics*, **62**, 1348-1355, 2000.