

視覚短期記憶における曲率の 忘却要因の検討

酒 井 浩 二

要 約

視覚短期記憶における曲率（標準刺激は $1.91, 3.24\text{deg}^{-1}$ ）の主観的等価点（PSE）と丁度可知差異（JND）を恒常法により測定した。両標準刺激の条件で、保持時間の増大に対しPSEは入力刺激値とほぼ一致して一定であった。JNDは、保持時間のべき関数として増大し、両標準刺激のべき指数の平均は0.23となった。Weber比は、保持時間が増大しても両標準刺激の条件でほぼ等しかった。これらの結果より、視覚短期記憶における曲率の忘却要因は記憶表現値の分散増大であることが明白に実証された。輪郭図形が凸部、線分、端点などの構成要素に分節され、構成要素の記憶表現値の分散が時間経過により増大するため、視覚短期記憶で輪郭図形の忘却が生じると推測される。

キーワード：曲率，視覚短期記憶，忘却，主観的等価点，丁度可知差異

1. はじめに

物体は輪郭をもつが、その多くは閉じた輪郭である。閉じた輪郭の形状情報は、曲率が0である線分の方位を含めた曲率であるといえる。視覚システムは、全輪郭の曲率をある始点から追跡するという処理をとらず、まず輪郭のうち曲率の高い部分を並列処理し、その後その付近の正確な形状を処理する。短期記憶では輪郭図形の正確な形状が忘却されることから（酒井・乾，2001）、瞬間提示により処理された輪郭の曲率情報は短期記憶で忘却されると考えられる。

本研究では、短期記憶で曲率情報が忘却される要因を、曲率の閾測定により検討する。

視覚短期記憶の忘却要因

視覚短期記憶に関する多くの実験で、単一の正確な視覚情報の忘却が生じることが調べられてきた。Phillips (1974) は、格子を白と黒で塗りつぶしたマトリックスにより構成されるブロックパターンを刺激に用いて、9sのあいだ忘却が続くことを検証した。また酒井・乾 (2001) は、輪郭図形の忘却が16sのあいだ続くことを検証した。これらの研究では保持過程での挿入課題なしの条件であったが、視覚短期記憶で保持された情報は、忘却されないように保持過程でリハーサルなどを続けても、時間経過により正確さが低下しつづけることがわかる。

視覚短期記憶の忘却要因の1つとして、記憶表現値の分散増大が実証されてきた。Lee & Harris (1996) は、格子縞パターンのコントラストの閾測定により、視覚短期記憶の忘却特性を検討した。忘却要因として、視覚短期記憶での保持情報が減衰する (fade)、一定の値に収束する (converge to)、分散増大 (increasingly noisy)、の3つを仮説に取りあげた。実験の結果、1sから10sの保持時間の増大に対して、主観的等価点 (Point of Subjective Equality ; PSE) は入力刺激値とほとんど一致した値で常に一定で、丁度可知差異 (Just Noticeable Difference ; JND) が増大しつづけたことから、分散増大の仮説が明白に支持された。単色の色相の短期記憶でも、0.1sから24sの保持時間の増大に対して、Leeらと同様の結果が得られている (Nilsson & Nelson, 1981)。視覚短期記憶において、記憶表現の安定性は弱められつつも、入力刺激値が一定に保持されつづけることがわかる。また、線分の方位 (Vogels & Orban, 1986) や2線分間の距離 (Fahle & Harris, 1992) も、PSEは調べられていないが、視覚短期記憶で記憶表現値の分散が増大しつづけることが実証されている。

曲率の短期記憶特性

輪郭図形を構成するうえで、端点、交差点、間隙などの特徴点が重要な部分となるが、特徴点のなかで曲率の高い凹凸部が非常に重要であることが指摘さ

れてきた (Attneave, 1954)。また、輪郭図形の記憶表現モデルの1つとして、部分と部分の結合部には凹部が生成されることから、物体は凸形状の特徴の空間配列として記憶保持されることが提案されてきた (Hoffman & Richard, 1984)。同様に視覚短期記憶でも、チェスパターンはチャンクに分節して保持される (Chase & Simon, 1973)。これらの知見より酒井・乾 (2001) は、輪郭図形の短期記憶モデルとして、輪郭図形は凹部で分節され凸部が部分として保持され、各凸部の記憶表現値の分散が増大するため忘却が生じると仮定した。実験データは分散増大モデルによりうまく説明された。しかし酒井らのモデルでは、各凸部の記憶表現値の分散増大は仮定であり、凸形状の短期記憶特性は調べられていない。この仮定の妥当性を確かめるには、保持時間の増大に対する、凸形状の記憶表現値の PSE と JND の変動過程を調べる必要がある。

一般に凸形状の物理量は曲率 (curvature) で規定されるが、従来、曲率の検出・弁別実験は数多く行われてきた。Wilson & Richards (1989) によれば、輪郭の曲率の弁別閾は、 2deg^{-1} 以下ではプラトーで、それより高い曲率での上昇に対して高まった。この結果に対して Wilson らは、高い曲率の場合、曲率の極値を検出して曲率が弁別されるのに対して、低い曲率の場合は、一定の距離ごとに輪郭の接線方向を検出して曲率が弁別されるという、2タイプの曲率抽出モデルを提案し、実験データとの整合性を示した。また、1s までの刺激提示時間の増大に対して曲率の弁別閾は低下することも調べられている (Watt, 1987)。しかし、抽出された曲率が短期記憶でいかに保持・忘却されるかの、曲率の短期記憶に関する研究はほとんどない。曲率の高い部分は輪郭の主要な特徴部分である点でも、輪郭図形の短期記憶を検討するには、曲率の短期記憶特性を調べる必要性は高い。

そこで本研究では、短期記憶での曲率の忘却要因を検討するため、曲率の PSE と JND を遅延弁別実験で調べる。本研究では、短期記憶における曲率の忘却要因は、曲率の記憶表現値の分散増大であると仮定する。そのため実験結果の予想は、保持時間の増大に対して曲率の PSE は一定で JND が上昇する、というものである。

2. 目的

短期記憶における曲率の忘却要因を検討するため、2種の曲率に関して、2sから16sの保持時間の増大に対する曲率のPSEとJNDの変動を調べた。そして、輪郭図形の表現特性と忘却メカニズムを考察した。

3. 方法

装置：刺激は、17インチモニタ（SOTEC CP17K1）に提示され、パソコン（SOTEC PC STATION M380AV）で制御された。実験プログラムはMicrosoft Visual Basic 6.0で組まれた。被験者の頭部はあご台（T.K.K.930a）で固定された。被験者からディスプレイまでの視距離は215cmであり、ディスプレイの視角は8.69deg×6.48degであった。ディスプレイの解像度は1024×768ピクセルで、1ピクセルの視角が29.5arcsecであった。ディスプレイの背景の平均輝度は0.15cd/m²、曲線の平均輝度は51.3cd/m²であった。実験は暗室で行われ、光を遮断するためにディスプレイは暗箱で覆われた。

刺激：Figure 1は、本実験で用いられた標準刺激（S）とテスト刺激（T）の例を示す。刺激は、Wilson & Richards（1989）と同様、上に凸の2次曲線の曲線部分と、それが±45度の方位でなめらかに接する2直線により構成され、次式で数式化された。

$$y = -Ax^2 \quad |x| \leq \frac{1}{2A}$$

$$y = \frac{1}{4A} - |x| \quad |x| > \frac{1}{2A}$$

2次曲線 $y=Ax^2$ の曲率 κ は、

$$\kappa = \frac{2A}{\left(1 + 4A^2x^2\right)^{\frac{3}{2}}}$$

により算出され、 $x=0$ のとき曲率値 κ は極大値 $2A$ をとる。本実験において、 $x=0$ のときの曲率が刺激の曲率として用いられた。Wilson & Richards (1989)と同様、以下の2点に留意した。(1) 輪郭の曲率弁別が刺激の大きさでなく曲線部分の曲率のみに基づいて判断されるように、すべての刺激は幅2.94degの視角をもった。(2) 輪郭の曲率値でなく輪郭の絶対位置により課題が遂行されるのを避けるために、テスト刺激の高さをディスプレイの高さの±10%範囲でランダムに変動させた。

曲率は曲率半径 r (deg)の逆数 $1/r$ (deg^{-1})により規定された。標準刺激として、 1.91 , 3.24deg^{-1} の2種が用いられた。標準刺激の視角は曲率により異なり、標準刺激が 1.91deg^{-1} の条件で $2.94\text{deg} \times 1.21\text{deg}$ (曲線部分は $1.05\text{deg} \times 0.26\text{deg}$)、標準刺激が 3.24deg^{-1} の条件で $2.94\text{deg} \times 1.32\text{deg}$ (曲線部分は $0.618\text{deg} \times 0.154\text{deg}$)であった。輪郭の太さは1ピクセル分で、約 0.49arcmin であった。

手続き：1 試行は以下の手順で行われた。直径 5.04arcmin の白色円形の注視点がディスプレイの中心に 0.2s 提示され、 0.3s のブランクの後、標準刺激が 0.4s 提示された。標準刺激は、標準刺激の曲率の極値点と注視点が一致する位置に提示された。その直後にマスク刺激が 0.3s 提示された。マスク刺激は、

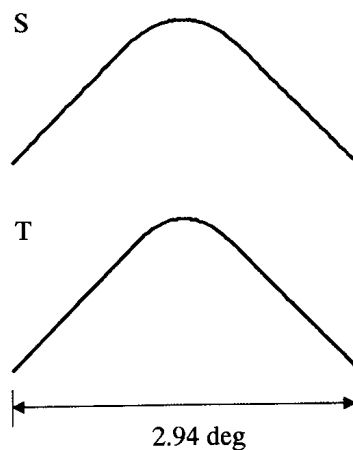


Figure 1

実験で使われた標準刺激 (S) とテスト刺激 (T) の例。刺激はWilson (1985)と同様、放物線による曲線部分と、それと±45度の方角でなめらかに接する2直線により構成された。すべての標準刺激とテスト刺激は、幅2.94degであった。上図は、テスト刺激の曲率が標準刺激の曲率より高い例を示す。

1.26deg × 1.26deg の正方形の白色ランダムドットで、標準刺激の曲線部分すべてを覆った。各種の保持時間の後、注視点が0.2s提示され、0.3sのブランクの後にテスト刺激が0.4s提示された。ブランク時は、標準刺激の曲率をできるだけ正確に保持するように被験者に教示された。被験者の課題は、標準刺激とテスト刺激のいずれの曲率が高いかを判断することであった。被験者は、標準刺激の曲率が高いと判断した場合は左マウス、テスト刺激の曲率が高いと判断した場合は右マウスを押すことを課された。反応時間に制限はなく、正誤のフィードバックはなかった。試行間隔は2sであった。

実験デザイン：保持時間は、標準刺激の提示後からテスト刺激の提示前までの時間間隔を示し、2, 4, 8, 16sの4種であった。ただし保持時間2, 4, 8sと16sは、別の日時に実験が行われた。保持時間2, 4, 8sの3種はブロック化され、順序は被験者間でカウンターバランスがとられた。各保持時間のブロックで、標準刺激の曲率2種（1.91, 3.24deg⁻¹；曲率半径はそれぞれ0.525, 0.309deg）×各標準刺激に対するテスト刺激5種×繰り返し40回の計400試行が行われ、各試行の順序はランダムであった。各ブロックでの本試行の前に練習試行が10試行行われ、本試行では50試行ごとに随時休憩をはさんだ。

PSEとJNDは恒常法により測定された。標準刺激Sに対するテスト刺激（S+ΔS）の増減分の曲率ΔSは、ある曲率の差異を設定し、Lee & Harris（1996）と同様、その差異の-2, -1, 0, 1, 2倍に設定した。その差異は、標準刺激が1.91, 3.24deg⁻¹の条件で、それぞれ0.286, 0.381deg⁻¹に設定された。この差異が標準刺激により異なるのは、高い曲率ほどほど弁別閾は高くなるWilson & Richards（1989）の知見に基づく。そのため、標準刺激が1.91deg⁻¹の条件で、テスト刺激は1.33, 1.62, 1.91, 2.19, 2.48deg⁻¹、標準刺激が3.24deg⁻¹の条件で、テスト刺激は2.48, 2.86, 3.24, 3.62, 4.00deg⁻¹に設定された。

一般に閾測定で、何試行か繰り返すと被験者はテスト刺激の上限・下限の範囲を認識し、テスト刺激の平均レベルを記憶する。そのため、標準刺激とテスト刺激の比較でなく、被験者が記憶したテスト刺激の平均値と実際のテスト刺激の比較により弁別する戦略が生じうる（Lee & Harris, 1996）。これを避ける

ため、上記のように、標準刺激 1.91 deg^{-1} に対するテスト刺激の上限 2.48 deg^{-1} と、標準刺激 3.24 deg^{-1} に対するテスト刺激の下限 2.48 deg^{-1} とは重複するように設定された。

分析：テスト刺激の曲率5種に対して、40試行において標準刺激よりテスト刺激の曲率が高いと判断した確率がデータとしてプロットされた (Figure 2)。データは、プロビット分析を使って累積正規関数によりフィッティングされた。その際、平均と分散のパラメータ値は、SPSS7.5.1 J. を使って最尤推定法により算出られた。テスト刺激のほうが高い曲率と判断した確率 P_T が50%の曲率値をPSE、(P_T が75%の曲率値 - P_T が25%の曲率値)/2をJNDとみなした。

被験者：正常な視力または矯正視力を持つ男性3名 (著者と2名の大学院生)。2名の大学院生には、実験の目的は知らされていなかった。

4. 結果

Figure 2は、標準刺激が 1.91 deg^{-1} (被験者KS), 3.24 deg^{-1} (被験者EN) の条件の心理測定関数を示す。横軸がテスト刺激の曲率、縦軸が標準刺激よりテスト刺激のほうが高い曲率と判断した確率を示す。両標準刺激の条件で、2sから16sまでの保持時間の増大に対して、心理測定関数の位置はほとんど変わらないが傾きが緩やかになることがわかる。テスト刺激の曲率が標準刺激の曲率と等しい条件での判断確率は、保持時間が2, 4, 8, 16sのとき、標準刺激が 1.91 deg^{-1} の条件で0.6, 0.6, 0.475, 0.475, 標準刺激が 3.24 deg^{-1} の条件で0.5, 0.55, 0.475, 0.575となり、どの保持時間の条件でも比較的0.5に近い値を示した。

Figure 3は、両標準刺激における、保持時間に対するPSEを示す。保持時間が2, 4, 8, 16sでのPSEは、標準刺激が 1.91 deg^{-1} の条件で1.97, 1.92, 1.95, 1.90 deg^{-1} , 標準刺激が 3.24 deg^{-1} の条件で3.20, 3.20, 3.25, 3.23 deg^{-1} であった。両標準刺激の条件で、保持時間が2sから16sまで増大しても、PSEは入力刺激の曲率値とほぼ一致した値でほとんど変動しないことがわかる。つまり、短期

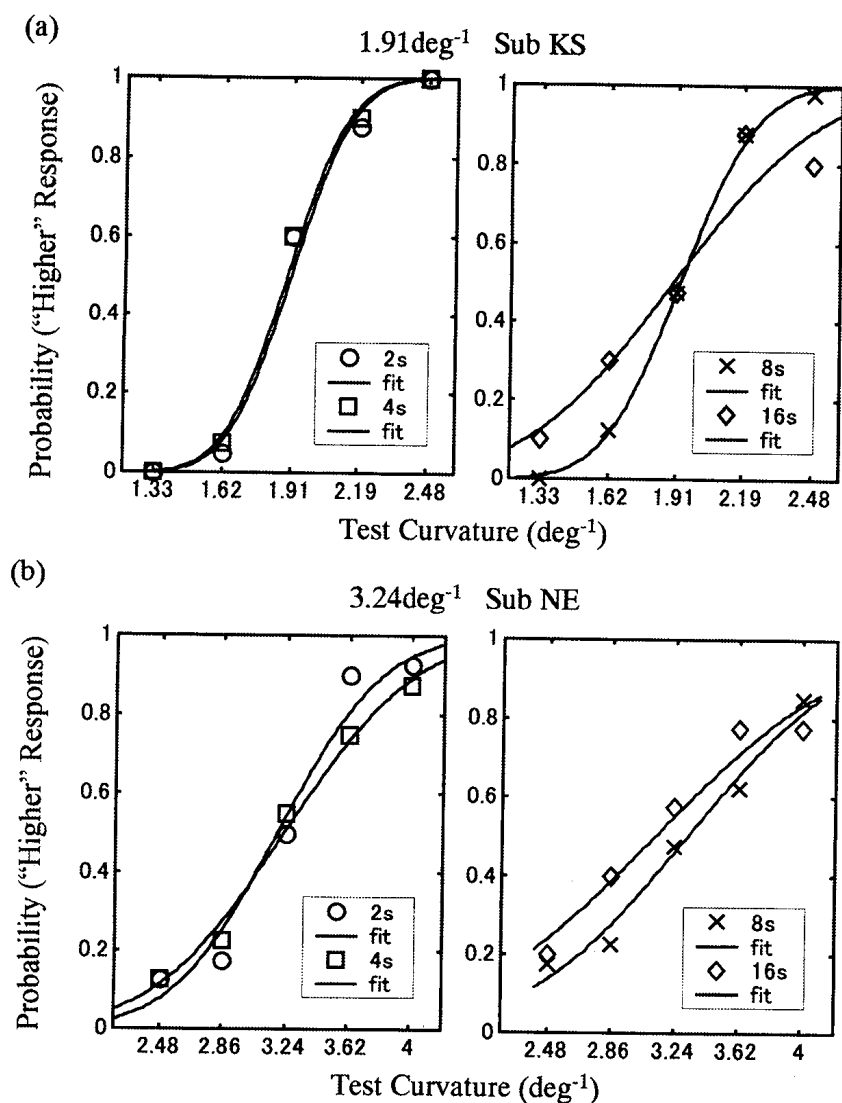


Figure 2

2つの標準刺激の条件における，被験者2名の心理測定関数の例を示す．横軸はテスト刺激の曲率，縦軸はテスト刺激のほうが標準刺激より高い曲率と判断された確率を表す．パラメータは保持時間を示す．(a) 標準刺激の曲率が 1.91deg^{-1} の結果（被験者KS），(b) 標準刺激の曲率が 3.24deg^{-1} の結果（被験者NE）．

記憶で表現される曲率値は，保持時間が16sまで増大しても，入力刺激値と一致する確率が最も高いことを示す．本実験の結果は，保持時間が1sから10sのあいだ，格子縞パターンコントラストのPSEは入力刺激値とほぼ同じ値で変動しないLee & Harris (1996) の結果と一致する．

Figure 4(a)は，保持時間に対するJNDを示す．横軸の保持時間と縦軸のJNDは対数変換されている．両標準刺激の条件で，2sから16sまでの保持時間の増

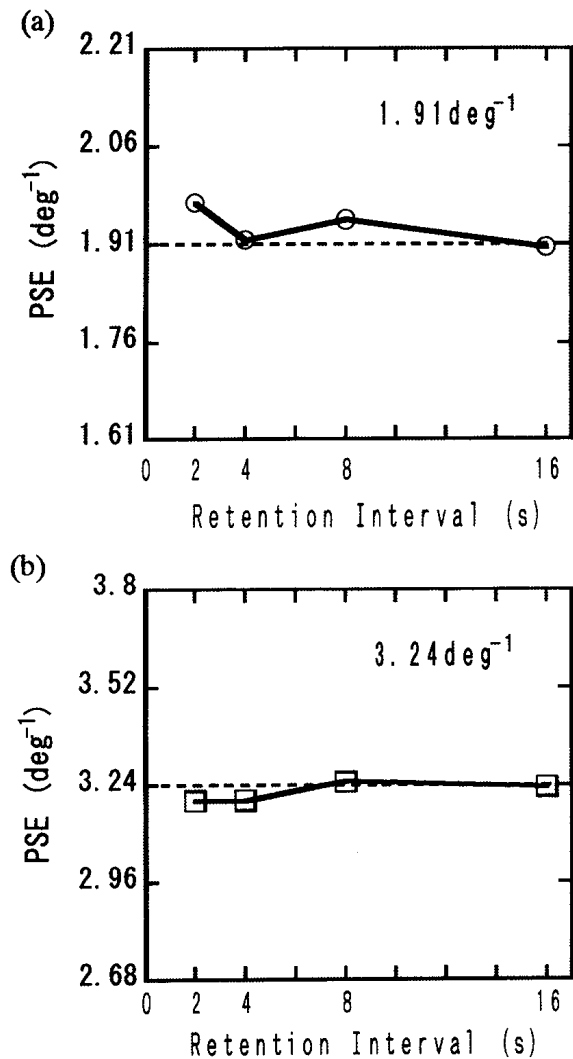


Figure 3

標準刺激が (a) 1.91deg⁻¹ の条件, (b) 3.24deg⁻¹ の条件, における, 保持時間に対する主観的等価点 (PSE) を示す. 両グラフにおける縦軸の上限と下限は, それぞれ (標準刺激の曲率値) ± 2 × (保持時間が2sの条件でのJND) を表す. 点線は, 標準刺激の曲率値を意味する. データは, 3名の被験者の平均を表す.

大に対して JND は増大しつづけた。この結果は, 単一の輪郭図形の忘却が 16s のあいだ続いた酒井・乾 (2001) の結果と対応する。格子縞パターンの空間周波数は保持時間が增大しても JND は一定であるが (Magnussen, Greenlee, & Thomas, 1996), 輪郭図形の構成要素とみなせる曲線の曲率や線分の方位 (Vogels & Orban, 1986) などは, 短期記憶で JND が増大することがわかる。また JND の増大は, 単色の色相では 24s (Nilsson & Nelson, 1981), ドット間距離

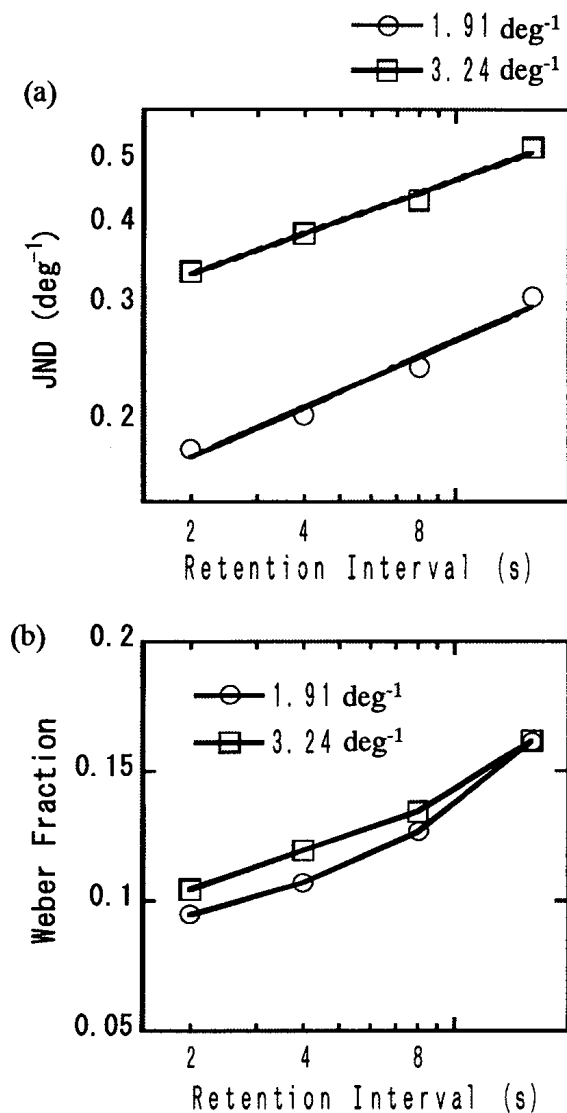


Figure 4

(a) 保持時間に対する丁度可知差異 (JND) を示し, パラメータは標準刺激の曲率を表す. データは, 3名の被験者の平均を表す. (b) Figure 4(a)の結果のWeber比を表す.

では30s (Hole, 1996) のあいだ続くことが検証されているが, 多くの視覚情報において記憶表現値の分散増大はかなり長いあいだ続くことがわかる。

保持時間の増大に対しPSEは一定でJNDが増大する結果 (Figure 3, 4(a)) は, Lee & Harris (1996) や Nilsson & Nelson (1981) の結果と一致する。短期記憶における曲率の忘却要因は, 曲率の記憶表現値の減衰やある曲率値への収束でなく, 分散増大であることが明白に示される。

Figure 4(a)にみられるように、保持時間 t と JND をべき関数 $JND = k \times t^m$ で回帰した。JND の分散説明率 R^2 は、標準刺激が $1.91, 3.24 \text{deg}^{-1}$ の条件で、それぞれ $.976, .989$ と非常に高かった。保持時間 $t=0\text{s}$ の JND に相当するパラメータ k は、標準刺激の曲率が高い条件のほうが高い値を示し、両標準刺激でそれぞれ $0.15, 0.29 \text{deg}^{-1}$ であった。それに対し、JND の傾きに相当するパラメータ m は両標準刺激で $0.25, 0.21$ と近い値を示し、平均して 0.23 であった。この結果は、標準刺激のコントラストが高い条件のほうが k の値は高くなったが、 m の値は標準刺激のコントラストに依存せずほぼ一定（平均 0.38 ）であった Lee & Harris (1996) の結果と対応する。短期記憶におけるコントラストと曲率の忘却特性の類似点であると解釈できる。

またどの保持時間でも、標準刺激の曲率の高い条件のほうが JND は高い値を示した。本実験での標準刺激の曲率は $1.91, 3.24 \text{deg}^{-1}$ であったが、この結果は、 2deg^{-1} 以上の範囲で標準刺激の曲率の上昇により弁別閾が高まる Wilson & Richards (1989) の結果と対応する。Figure 4(b)は、Figure 4(a)をリプロットしたもので、保持時間に対する Weber 比を示す。0s から 16s までの保持時間の増大に対して、Weber 比は両標準刺激の条件で 8% 前後から 16% 前後まで上昇した。Weber 比は、2 ドット間の距離 (Hole, 1996) で 0-30s の保持時間の増大に対して 8.5% 程度、格子縞パターン of コントラスト (Magnussen et al., 1996) で 1-10s の保持時間の増大に対して 10% 前後から 20% 前後まで上昇したが、曲率の場合も他の視覚属性と同程度であることが示される。Wilson らによる曲率の Weber 比は、 1deg^{-1} 前後から 10deg^{-1} 前後までの曲率では 5% 程度の値ではほぼプラトーとなり、それ以上・以下の曲率では上昇する U 字型の結果となった。本実験での標準刺激は $1.91, 3.24 \text{deg}^{-1}$ で、Wilson らでプラトーとなった曲率の範囲であったが、Weber 比は、すべての保持時間で標準刺激の曲率が高い条件のほうが高かったものの、両標準刺激間でほとんど差はなかった。この結果は、保持時間が増大した短期記憶においても Wilson らの結果のプラトーが成立することを示唆する。

5. 考 察

PSE 一定と JND 増大

本実験では、16s まで保持時間が増大しても PSE は入力刺激値とほぼ一致した値で一定であった。この結果は、視覚短期記憶において入力刺激値を一定に保持するメカニズムが存在することを示すが、その1つに視覚的リハーサルがあげられる。Tallon-Baudry, Bertrand, Peronnet, & Pernier (1998) は、単一の無意味図形の短期記憶実験で人間の脳波を測定し、保持過程において後側頭葉と前頭葉で γ 波の活動が同期してみられることを実証した。Tallon-Baudry らは、これらの活動は短期記憶における物体表現のリハーサル機構に相当すると推測した。短期記憶において、曲率の入力刺激値を一定に保持するための、リハーサルに相当する機構が脳内に存在することが推察される。

PSE に対して、単一の放物線の曲率という非常に単純な視覚情報でも、16s の保持時間まで JND は上昇しつづけた。また、曲率の高い条件のほうが JND は高かったが、保持時間と JND のべき関数におけるべき指数は両標準刺激でほぼ一定であった。PSE 一定で JND 増大の結果より、短期記憶での曲率の忘却要因は記憶表現値の分散増大であることが明白に実証された。格子縞パターンのコントラスト (Lee & Harris, 1996) や単色の色相 (Nilsson & Nelson, 1981) の短期記憶実験でも、本実験と同様の結果が実証されている。短期記憶表現は保持過程で常に推移しており、保持時間の増大により入力刺激値に関する記憶痕跡の不確定性は上昇することがうかがえる。

輪郭図形の短期記憶

Watt (1986) は、視覚イメージは形状分析以前に部分に分節されることを示し、分節された特徴として線分の端点、交差点、角をあげた。また短期記憶において、線分の方位 (Vogels & Orban, 1986)、ドット間距離 (Hole, 1996) などの JND が時間経過により上昇することが検証されている。これらの知見と本実験の結果より、短期記憶で輪郭図形が凸部、線分、間隙などの構成要素に分節

され、構成要素の記憶表現値の分散が時間経過により上昇するため、短期記憶で輪郭図形の忘却が生じることが推測される。酒井・乾（2001）は、短期記憶において各凸部の記憶表現値の分散が増大するため忘却が生じると仮定して、輪郭図形の短期記憶モデルを構築し、データとの整合性を実証した。本実験の結果は、酒井らのモデルの仮定が妥当であることを示す。

しかし、あらゆる輪郭図形が短期記憶で分散増大により忘却されるとは考えにくい。輪郭図形における各特徴の表現特性は、特徴の配列関係に大きく依存すると思われる。Bartram（1978）は、視覚短期記憶での部分の配列関係として、(1)個々の部分が1対1の配列で線状に表現、(2)個々の部分が1対多の配列で回路網状に表現、(3)個々の部分が独立に表現、の可能性を指摘した。そして、どの表現かは刺激図形の特性や課題に依存し、対称図形の場合は(2)により、ランダム図形の場合は(3)により保持されると考えた。(3)の場合、本実験の結果のように、短期記憶における凸形状の曲率のPSEは、保持時間が増大しても入力刺激値とほぼ一致してほとんど変動しないと思われる。しかし(1)、(2)の場合、凸形状の曲率の記憶表現値は、他の構成要素との相互作用により高低いずれかの方向に偏って忘却される可能性もある。Lee & Harris（1996）は短期記憶の忘却要因として、保持情報が減衰する、一定の値に収束する、分散増大の3つを仮説にあげ、本実験の結果と同様に分散増大仮説の妥当性を実証した。しかし、刺激や課題により第2の忘却要因（変容）の妥当性も検討される余地があると思われる。

平均一定と分散増大のメカニズム

本実験より、短期記憶における曲率の忘却要因は記憶表現値の分散増大であることが実証されたが、では分散増大の要因は何であろうか。その要因の1つとして、記憶表現値のランダムウォークがあげられる。Kinchla & Smyzer（1967）のドットの位置の短期記憶モデルでは、記憶されたドットの位置が左右に等確率でランダムウォークするため、表現値の期待値は入力刺激値と一致するが分散が保持時間の線形関数で増大すると仮定し、実験データとの整合性を示した。また Nilsson & Nelson（1981）は、単色の色相のPSEが一定でJND

が増大しつづけた結果に対し、表現値の安定性の忘却は記憶表現値がランダムに推移したためと考察している。本研究において曲率の高低の確率が等確率のランダムウォークを仮定した場合、この仮定は、PSEが16sのあいだ入力刺激値とほぼ一致した値で一定であった点では適合するが、JNDが保持時間のべき関数で上昇した点で適合しない。しかし本実験では、線形関数でも両標準刺激1.91, 3.24deg⁻¹の条件でそれぞれ99.7, 98.0%の分散説明率が得られた。先行研究での保持時間とJNDの関数関係は、ドット間距離で線形 (Hole, 1996), 線分の方位はべきが最適であったが線形でも回帰式の説明率は高かった (Vogels & Orban, 1986)。多くの視覚刺激の属性に関して、短期記憶における記憶表現値の分散増大の要因はランダムウォークである可能性が示唆される。

しかし、Kinchla & Smyzer (1967) のモデルおよび本研究において、ランダムウォークは記憶表現値の分散増大の要因としての仮定であって、これが事実であるかどうかは実証されていない。実際に脳内で、輪郭の曲率が短期記憶表現値として保持されているのであれば、視覚短期記憶における表現値の変動過程を心理学的・生理学的に調べ、分散増大の要因を検討するのは非常に重要である。

長期記憶への固定化

視覚短期記憶は視覚長期記憶と異なる記憶システムであることが調べられてきたが (Inui, 1988), 短期記憶に入力された輪郭の形状情報は、いずれ長期記憶へ推移する。酒井・乾 (2001) では、16sのあいだ輪郭図形の正確な形状の忘却が続いたが、本実験でも輪郭の曲率の記憶表現値は16sのあいだ分散が増大しつづけた。視覚短期記憶の忘却は長いあいだ続くことがわかるが、視覚短期記憶での表現値の分散増大はいずれ停止すると思われる。この分散増大の停止した記憶表現が長期記憶に固定化される記憶表現に相当するのか、それとも長期記憶に固定化される際に短期記憶表現が何らかのかたちで変動するのかを調べるのは興味深い。また、短期記憶に保持された情報は常に長期記憶に固定化されるわけではなく、短期記憶の情報が完全に忘却されることもあると思われる。多くの対象物に関して、長期記憶では物体形状の正確な曲率は保持されて

いないと推測される。その理由の1つに、物体認識などの日常生活での視覚情報処理において、正確な曲率を保持する必要がある場面は非常に少ないことがあげられる。長期記憶でどの程度正確に曲率が保持されているかの問題は、物体認識やカテゴリについて検討する際に重要となる。

その他の忘却要因

本研究では、視覚短期記憶の忘却要因として記憶表現値の分散増大を検討したが、他の要因として、保持時における記憶情報以外の処理による干渉効果がある。保持過程で妨害課題がある条件では、ない条件よりドットの位置の正確さは大きく低下する (Dale, 1973)。また、視覚短期記憶の容量制限も忘却要因となる。Palmer (1990) は、線分の方位の短期記憶実験で、線分1本の記憶条件より線分2, 4本の記憶条件のほうが、1線分の方位の弁別閾は高いことを検証した。この結果より Palmer (1990) は、4つの要素程度が視覚短期記憶で正確に保持されうるが、非常に正確に記憶保持可能なのは1つの要素のみと考察した。本実験の結果のように、保持過程での時間経過によっても忘却が生じる一方、視覚短期記憶の容量制限により、保持過程で複数の要素を記憶することで各要素の忘却が強まる。視覚短期記憶における保持情報の正確さには、時空間的な制限があると解釈できる。

引用文献

- Attneave, F. 1954 Some informational aspects of visual perception. *Psychological Review*, **61**, 183-193.
- Bartram, D.J. 1978 Post-iconic visual storage: chunking in the reproduction of briefly displayed visual patterns. *Cognitive Psychology*, **10**, 324-355.

- Chase, W.G., & Simon, H.A. 1973 Perception in chess. *Cognitive Psychology*, **4**, 55-81.
- Dale, H.C.A. 1973 Short-term memory for visual information. *British Journal of Psychology*, **64**, 1-8.
- Fahle, M., & Harris, J.P. 1992 Visual memory for vernier offsets. *Vision Research*, **32**, 1033-1042.
- Hoffman, D.D., & Richards, W.A. 1984 Parts of recognition. *Cognition*, **18**, 65-96.
- Hole, G. J. 1996 Decay and interference effects in visuospatial short-term memory. *Perception*, **25**, 53-64.
- Inui, T. 1988 Properties of human visual memory for block patterns. *Biological Cybernetics*, **59**, 179-187.
- Kinchla, R.A., & Smyzer, F. 1967 A diffusion model of perceptual memory. *Perception & Psychophysics*, **2**, 219-229.
- Lee, B., & Harris, J. 1996 Contrast transfer characteristics of visual short-term memory. *Vision Research*, **36**, 2159-2166.
- Magnussen, S., Greenlee, M.W., & Thomas, J.P. 1996 Parallel processing in visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **22**, 202-212.
- Nilsson, T.H., & Nelson, T.M. 1981 Delayed monochromatic hue matches indicate characteristics of visual memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **7**, 141-150.
- Palmer, J. 1990 Attentional limits on the perception and memory of visual information. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **16**, 332-350.
- Phillips, W.A. 1974 On the distinction between sensory storage and short-term visual memory. *Perception & Psychophysics*, **16**, 283-290.
- 酒井 浩二・乾 敏郎 2001 視覚短期記憶の忘却特性と拡散モデル 心理学研究, **72**, 404-412.

- Tallon-Baudry, C., Bertrand, O., Peronnet, F., & Pernier, J. 1998 Induced γ -band activity during the delay of a visual short-term memory task in humans. *The Journal of Neuroscience*, **18**, 4244-4254.
- Vogels, R., & Orban, G.A. 1986 Decision processes in visual discrimination of line orientation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **12**, 115-132.
- Watt, R.J. 1987 Scanning from coarse to fine spatial scales in the human visual system after the onset of a stimulus. *Journal of Optical Society of America*, **A4**, 2006-2021.
- Wilson, H.R. 1985 Discrimination of contour curvature: data and theory. *Journal of the Optical Society of America*, **A2**, 1191-1199.
- Wilson, H.R., & Richards, W.A. 1989 Mechanisms of contour curvature discrimination. *Journal of the Optical Society of America*, **A6**, 106-115.