

[論文]

主観的輪郭を持つ立体文字の認知に及ぼす 陰影の位置の効果

渡辺 功¹・萩村 徹

The effect of location of a shading on recognition of 3-D letters with a subjective outline.

Isao WATANABE and Toru HAGIMURA

要旨

Seventeen students were required to perform visual search task to examine how shading affected letter recognition. The stimulus display consisted of eight letters with a subjective outline arranged equidistantly in an imaginary circle. The letters were M, O, or R with shading in the positions of BOTTOM, LLEFT (lower left), LEFT, ULEFT (upper left), TOP, URIGHT (upper right), RIGHT, and LRIGHT (lower right). The RT was measured for determining whether or not a stimulus display contained a target letter with shading in a different position from the distractor letters. The RT for M and O was shortest when distractors were shaded in LRIGHT or ULEFT position for the target condition and when all the letters were shaded in LRIGHT or ULEFT position. The RT for R was shortest when all the letters were shaded in LRIGHT, BOTTOM, or LLEFT positions. The results indicated that a shading in LRIGHT position help the letter to be recognized.

キーワード psychology, visual perception, letter recognition, shading, direction

注1

本研究を行うに当たり刺激作成に対して貴重な示唆を頂いた東京工業大学大学院澤田忠正氏及び、実験プログラミングを作成して頂いた熊本大学文学部榎部雄介氏に感謝する。

対象を見るとき、それは輪郭線を持って現れる。そして輪郭線が見えるためには、対象と背景の間に何らかの違いがあることが必要となる。そのような視覚的な違いを作り出すものに色相、彩度、明度という色の3属性があるが、この内、明度の効果が著しい。すなわち、輪郭線が見えるためには背景

と対象との間に明度の段差のあることが最も効果的である。しかし、明るさの段差が存在しない場合であっても、部分的な輪郭線を与えるだけで連続した輪郭線を見ることができ、これを主観的輪郭線と呼ぶ（カニツツア, 1985）。均質な視野上に文字の部分的な陰影を提示ことによって主観的輪郭線を持ち奥行きを持った文字が見える時、本研究では主観的立体文字と呼ぶこととする。

さて印刷物やコンピュータ・ディスプレイ上に刺激を見せる時、これらを見やすくするためにしばしば陰影を付け加える。そしてその陰影は右下に付け加えることが多い。視覚対象に陰影を付け加えるとき、その対象の上下や左右ではなく斜め下に付けられるのは何故だろう。

円形刺激に上を明るく下方方向に向かって次第に暗く変化する陰影を付けたときこの刺激は凸に見え、逆に下を明るく上方方向に向かって暗く変化する陰影を付けたときこの刺激は凹に見える。上方光源仮説によると、陰影の付いた対象が提示される時その陰影から対象の凹凸を知覚する際、我々は陰影を作り出す光源はただ一つであり、しかも上方にあるものと想定するという（Ramachandran, 1988, 1990）。

Sun and Perona (1998) は 30° 刻みで12の方向の異なる光源から投影される陰影を円形刺激に付けて仮想円周上に等間隔で12個配置した刺激を提示した。その際、同じ陰影を持つ11個のディストラクターと、このディストラクターと 180° 異なる位置に陰影を持つ1個の円形刺激すなわち標的 (target) を配置した標的有り条件と、すべての円形刺激が同じ陰影を持つ標的無し条件を準備した。標的有り条件と標的無し条件をランダムに提示し、標的すなわち、一つだけ異なる刺激を含むかどうかを判断する視覚的探索課題を被験者に求めた。その結果、ディストラクターに対する光源が真上でではなく左上にある時、すなわちディストラクターの陰影が必ずしも真下ではなく右下に陰影がある場合に反応時間が短かった。井上と渡辺 (2005) は、円形刺激に楕円形の明暗の陰影グラデーションを付けたときのハイライトの位置を変化させ、見えの奥行きを直接測定し、陰影が必ずしも真下ではなく右下に陰影がある場合に奥行きの印象が大きくなることを明らかにした。以上のように、円形刺激を用いた陰影と奥行き知覚に関するこれまでの研究によると、

下あるいは右下方向に陰影を付けることにより刺激は凸に見えることになる。

さて、陰影を付けた文字を用いて直接的にその認知について検討した研究がある。すなわち、沈・桐村・野口（2000）は、アルファベット大文字の主観的立体文字と幾何学図形の主観的立体図形を刺激とし、これらに上、下、右上、右下、左上、左下の6方向の内いずれかに陰影を付けて被験者に視覚的に提示し、刺激ごとにその形態の認知を口頭で求め、その反応時間を求めた。その結果、刺激に付けられる陰影の位置が文字の認知の難易度に効果を持つことが分かった。特に上下に陰影の付けられた場合に文字の認知が困難となり、文字の形態的特性とも関係があるものの、概して右下に陰影を持つ場合に認知が容易となることが分かった。しかし、沈らの研究では刺激の種類が多かったため各条件当たりの試行数が非常に少ないこと、左と右に陰影を付ける条件を導入しなかったこと、また、被験者に刺激を口頭報告するまでの反応時間を直接的に測定していないこと、等の実験手続き上の問題点がある。

そこで本研究では、沈らとよく似た主観的立体文字を使ってSun and Perona（1998）と類似した視覚探索課題を用いて、文字に付ける陰影の位置が我々の認知の仕方にどのような効果を持つのかを検討する。反応時間を指標とする視覚探索課題においては試行数が多くなり易い。そのため、本研究では試行数を極度に増やすことのないように、使用する文字の種類を、直線のみから成る文字としてM、曲線のみから成る文字としてO、そして直線と曲線を含む文字としてRの3種類に限定した。これらの3種類の主観的輪郭文字を仮想円周上に8個配置し、他と異なる標的文字が含まれるかどうかの判断を被験者に求め、その判断の反応時間を指標として、主観的輪郭文字に付けた陰影の位置がその文字の認知に及ぼす効果を検討する。

方 法

実験計画 文字の種類を実験変数1として、M、O、Rの3条件を用意した。ディストラクターの陰影の位置を実験変数2として、下、左下、左、左上、上、右上、右、右下の8条件を用意した。これらの実験変数の組み合わせによってできるFigure 1に示す24条件の下で標的の有無の判断に要する反応時

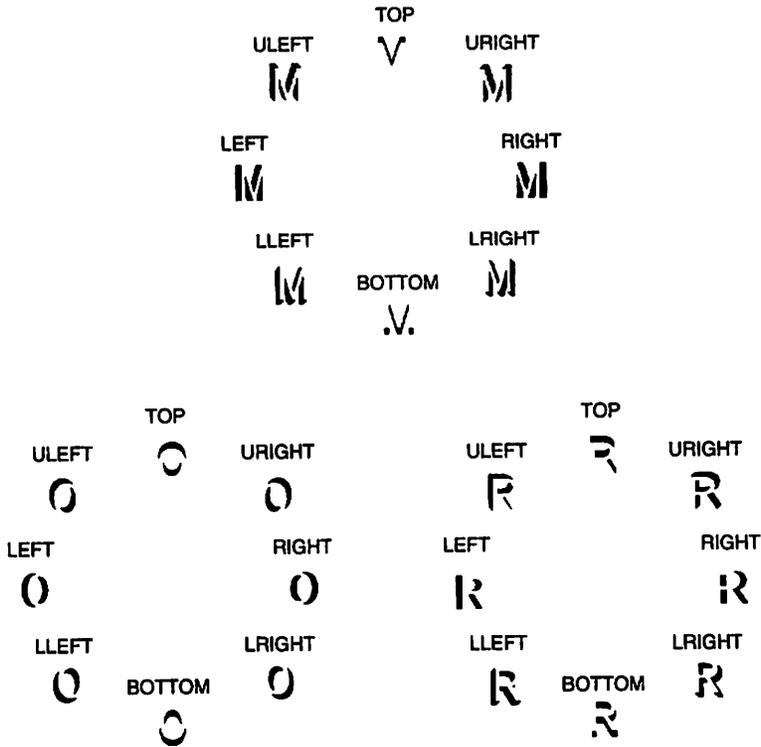


Figure 1 Illustration of subjective 3-D letters (M, O, and R) with shading in either of BOTTOM, LLEFT (lower left), LEFT, ULEFT (upper left), TOP, URIGHT (upper right), RIGHT, and LRIGHT (lower right).

間を測定した。

装置 コンピュータ (Sotec社製PC Station G4170 AV-B)で制御した19インチのカラーCRTディスプレイ (ナナオ社製EIZO Flex Scan T765) 上に刺激を提示した。反応にはキーボード (Sotec社製MKB01) に配置されたテンキーを使用した。

刺激 まず、文字の種類を実験変数1として次の3つの文字条件を用意した。直線のみで構成される文字M、曲線のみで構成される文字O、直線と曲線で構成される文字R、の3つのアルファベット大文字である。高さが視角で1.8°のこれらの文字には明度差のある物理的な輪郭線を付けず、視角で

高さ 0.4° の黒色の部分的な陰影を付けることによって初めて立体的な文字として浮き上がって見える主観的立体文字としてカラーディスプレイ上に提示した。文字フォントはMS明朝体であった。次に陰影の位置を実験変数2として、文字に付ける陰影の位置を変化させることにより下、左下、左、左上、上、右上、右、右下の8条件を用意した。

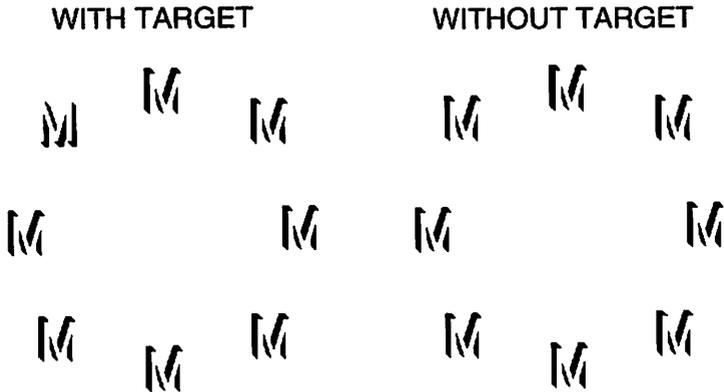


Figure 2 Example of the stimuli used in Experiment: those of WITH TARGET (a) and WITHOUT TARGET (b). (a) A target letter (in upper left) has shading in LRIGHT (lower right) position while each of other letters has shading in ULEFT (upper left) position. (b) Each letter has shading in ULEFT position.

Figure 2に示すように、M、O、Rの内のいずれか1種類の同じ文字を8個、陰影を付けて視角で直径 11.5° の仮想円周上に配置したものを検査刺激とした。検査刺激として、陰影の方向が8文字ともすべて同じである標的無しの検査刺激と、8文字の内1文字だけが陰影の方向の異なる標的有りの検査刺激の2種類を用意した。

手続き 約3分間の暗順応の後、暗室でCRTディスプレイ上に提示した刺激図形を約57cmの距離から被験者に観察させた。まず、ディスプレイの中心に凝視点として高さが視角で 1.8° の「*」を提示した後、自分でスペースキーを押してその試行を開始するよう被験者に求めた。試行開始に続いて提示される検査刺激中の8つの文字のすべてが同じ位置に陰影の付けられた文字で

あればテンキーの内「7」のキーを、もし1つだけ他と異なる位置に陰影が付けられていれば「9」のキーをできるだけ速く、しかも間違えることがないように押して反応するように被験者に求めた。

標的有りの検査刺激においては、文字と陰影の位置の2つの実験変数の組み合わせによってできる24の条件において標的が仮想円周上の8つの位置に試行ごとにランダムに現れるように提示した。標的無し、標的有りの検査刺激とも24の条件を8試行ずつで計192試行ずつ、合計384試行を10回の練習試行に続いてランダムな順で被験者に求めた。

被験者 裸眼視力あるいは矯正視力が正常で本実験に関して未経験な男6名、女11名、計17名の大学生であった。

結 果

384試行を標的有りと標的無しの各192試行ずつに分けて、それぞれ192試

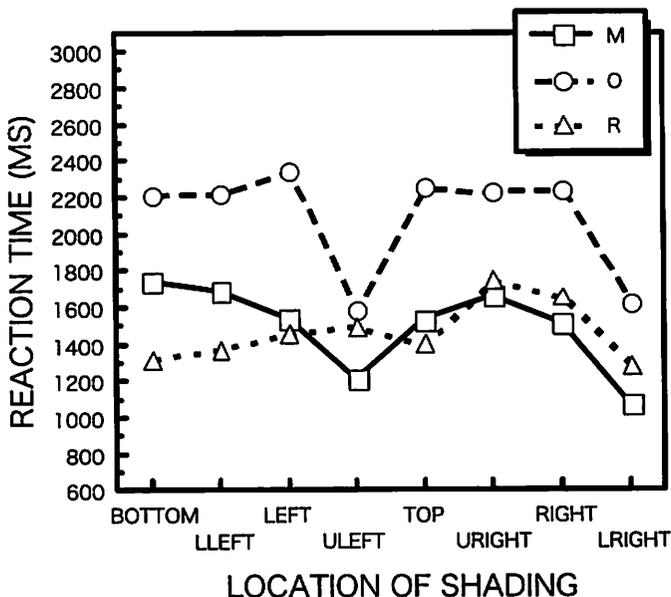


Figure 3 Reaction time for each condition of letter: M, O, and R as a function of location of shading: BOTTOM, LLEFT, LEFT, ULEFT, TOP, URIGHT, RIGHT, and LRIGHT. (WITH TARGET)

行の内の正反応時間をデータとして用いた。

標的有り条件の反応時間の結果は以下の通りであった。文字の種類ごとの陰影の位置の各条件における17名の被験者の反応時間の平均値をFigure 3に示す。まず、陰影の位置による違いを各文字ごとに見ると、MとOの2文字については同じようなパターンを示すことが分かる。すなわち、左上と右下の2つの位置条件において共に反応時間が最短となり、他の位置条件の間に大きな違いが見られない。文字Rについては右上と右の条件において反応時間が最長となり、他の位置条件の間で大きな違いが見られない。

次に文字による違いを各位置の条件ごとに見ると、下と左下の2つの位置条件においては、R、M、Oの順で反応時間が短いことが分かる。左上条件においてはMの反応時間がOとRより短く、これら2文字の間で違いが見られない。左、上、右上、右の4条件においては、Oの反応時間がMとRより長く、これら2文字の間で違いが見られない。右下の位置条件においてはM、R、Oの順で反応時間が短い。

反応時間に関して、3（文字）×8（陰影の位置）の2要因の分散分析を行ったところ、文字 ($F(2, 32) = 39.72, p < .01$)、陰影の位置 ($F(7, 112) = 18.29, p < .01$) の主効果及び、これらの交互作用 ($F(14, 224) = 4.78, p < .01$) に関して有意な差が見られた。

交互作用が見られたので、文字の各条件ごとに陰影の位置に関して1要因の分散分析とLSD法による下位検定を行った。

文字Mにおいては、陰影の位置に関して有意な差が見られた ($F(7, 112) = 14.65, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、左上と下、左上と左下、左上と左、左上と上、左上と右上、左上と右の各条件対間及び、右下と下、右下と左下、右下と左、右下と上、右下と右上、右下と右の各条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 228.32, p < .01$)。

文字Oにおいては、陰影の位置に関して有意な差が見られた ($F(7, 112) = 8.68, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、左上と下、左上と左下、左上と左、左上と上、左上と右上、左上と右の各条件対間、及び右下と下、右下と左下、右下と左、右下と上、右下と右上、右下と右の各条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 378.97, p < .01$)。

文字Rにおいては、陰影の位置に関して有意な差が見られた ($F(7, 112) = 6.25, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、右と下、右と左下、右と上、右と右下の各条件対間及び、右上と下、右上と左下、右上と左、右上と左上、右上と上、右上と右下の各条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 241.38, p < .01$)。

次に、交互作用が見られたので、位置の各条件ごとに文字に関して1要因の分散分析とLSD法による下位検定を行った。

下条件においては、文字に関して有意な差が見られた ($F(2, 32) = 29.52, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、すべての文字の条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 318.73, p < .01$)。

左下条件においては、文字に関して有意な差が見られた ($F(2, 32) = 24.77, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、すべての文字の条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 462.78, p < .01$)。

左条件においては、文字に関して有意な差が見られた ($F(2, 32) = 10.46, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、MとOの条件対間及び、OとRの条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 590.52, p < .01$)。

左上条件においては、文字に関して有意な差が見られた ($F(2, 32) = 13.29, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、MとOの条件対間及び、MとRの条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 209.81, p < .01$)。

上条件においては、文字に関して有意な差が見られた ($F(2, 32) = 27.31, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、MとOの条件対間及び、OとRの条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 253.94, p < .01$)。

右上条件においては、文字に関して有意な差が見られた ($F(2, 32) = 12.55, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、MとOの条件対間及び、OとRの条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 250.95, p < .01$)。

右条件においては、文字に関して有意な差が見られた ($F(2, 32) = 14.40, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、MとOの条件対間及び、OとRの条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 392.63, p < .01$)。

右下条件においては、文字に関して有意な差が見られた ($F(2, 32) = 41.08, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、すべての文字の条件対間に

において有意な差が見られた ($LSD = 169.59, p < .01$)。

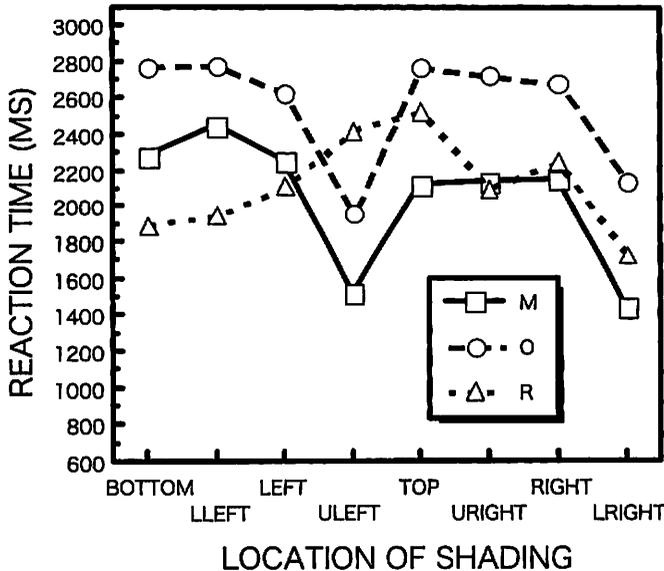


Figure 4 Reaction time for each condition of letter: M, O, and R as a function of location of shading: BOTTOM, LLEFT, LEFT, ULEFT, UP, URIGHT, RIGHT, and LRIGHT. (WITHOUT TARGET)

標的無しの条件の反応時間は標的有り条件に比べて反応時間が大きいことに加えて、少し異なる結果が得られた。文字の種類ごとの陰影の位置の各条件における17名の被験者の反応時間の平均値をFigure 4に示す。まず、陰影の位置による違いを各文字ごとに見ると、文字Oについては標的有り条件と同様に、左上と右下の2つの位置条件においてともに反応時間が最短となり、他の位置条件の間に大きな違いが見られない。文字Mについては、左上と右下の2つの位置条件において共に反応時間が最小となるという点で標的有り条件とほぼ同じようなパターンを示すが、左下条件の反応時間が特に長い。文字Rについては下、左下及び右下の3つの位置条件において反応時間が短く、左上と上の2条件において長い。

次に文字による違いを各位置の条件ごとに見ると、下と左下の2つの位置

条件においては、R、M、Oの順で反応時間が短いことが分かる。左、右上、右の3条件においてはOの反応時間がMとRより短く、これら2文字の間で違いが見られない。左上条件においてR、O、Mの順で反応時間が短い。上条件においては、M条件の反応時間がOとRより短く、これら2文字の間で大きな違いが見られない。右下の位置条件においてはM、R、Oの順で反応時間が短い。

反応時間に関して、3（文字）×8（陰影の位置）の2要因の分散分析を行ったところ、文字 ($F(2, 32) = 43.84, p < .01$)、陰影の位置 ($F(7, 112) = 20.76, p < .01$) の主効果及びこれらの交互作用 ($F(14, 224) = 9.20, p < .01$) に関して有意な差が見られた

交互作用が見られたので、文字の各条件ごとに陰影の位置に関して1要因の分散分析とLSD法による下位検定を行った。

文字Mにおいては、陰影の位置に関して有意な差が見られた ($F(7, 112) = 25.38, p < .01$) 続いて行ったLSD検定の結果、左上と下、左上と左下、左上と左、左上と上、左上と右上、左上と右の各条件対間、右下と下、右下と左下、右下と左、右下と上、右下と右上、右下と右の各条件対間及び、左下と上、左下と右上、左下と右の条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 268.84, p < .01$)。

文字Oにおいては、陰影の位置に関して有意な差が見られた ($F(7, 112) = 10.26, p < .01$) 続いて行ったLSD検定の結果、左上と下、左上と左下、左上と左、左上と上、左上と右上、左上と右の各条件対間及び、右下と下、右下と左下、右下と左、右下と上、右下と右上、右下と右の各条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 370.53, p < .01$)。

文字Rにおいては、陰影の位置に関して有意な差が見られた ($F(7, 112) = 9.48, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、下と左上、下と上、下と右の条件対間、左下と左上、左下と上の条件対間、上と左、上と右上、上と右下の条件対間及び、右下と左、右下と左上、右下と右上、右下と右の条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 324.03, p < .01$)。

交互作用が見られたので、位置の各条件ごとに文字に関して1要因の分散分析とLSD法による下位検定を行った。

下条件においては、文字に関して有意な差が見られた ($F(2, 32) = 39.55, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、すべての文字の条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 271.34, p < .01$)。

左下条件においては、文字に関して有意な差が見られた ($F(2, 32) = 17.12, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、すべての文字の条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 290.98, p < .05$)。

左条件においては、文字に関して有意な差が見られた ($F(2, 32) = 14.73, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、MとOの条件対間及び、OとRの条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 266.24, p < .01$)。

左上条件においては、文字に関して有意な差が見られた ($F(2, 32) = 22.23, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、すべての文字の条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 371.87, p < .01$)。

上条件においては、文字に関して有意な差が見られた ($F(2, 32) = 14.26, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、MとOの条件対間及び、MとRの条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 335.94, p < .01$)。

右上条件においては、文字に関して有意な差が見られた ($F(2, 32) = 13.27, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、MとOの条件対間及び、OとRの条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 372.33, p < .01$)。

右条件においては、文字に関して有意な差が見られた ($F(2, 32) = 6.76, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、MとOの条件対間及び、OとRの条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 519.66, p < .01$)。

右下条件においては、文字に関して有意な差が見られた ($F(2, 32) = 17.95, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、すべての文字の条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 240.13, p < .05$)。

考 察

本研究では、1つだけ他と異なる刺激すなわち標的を含むかどうかを求める視覚的探索課題を用いて主観的立体文字に付けた陰影の位置を変化させ、その反応時間を測定した。

視覚探索課題における反応時間について次のように考えられている。被験

者は標的有り条件において、提示された刺激を1つずつ順に照合し、異なる刺激を発見次第、「標的有り」の反応をすることができるのに対し、標的無し条件では、すべての刺激を照合し終わるまで「標的無し」の反応をすることができない。このため、標的有り条件の反応時間は標的無し条件より短くなるとされる。本研究の結果もその違いを再現した。その外、両条件の反応時間は以下のように少し異なっていた。

標的有り条件において陰影の位置の効果は文字の種類によって異なっていた。MとOの2文字については同じようなパターンを示した。すなわち、左上と右下の2つの位置条件において共に反応時間が最短となり、他の位置条件の間に大きい違いが見られない。文字Rについては右上と右の条件において反応時間が最長となり、他の位置条件の間に大きい違いが見られなかった。

標的無し条件においても陰影の位置の効果は文字の種類によって異なっていた。まず、陰影の位置による違いを各文字ごとに見ると、文字Oについては標的有り条件と同様に、左上と右下の2つの位置条件において共に反応時間が最短となり、他の位置条件の間に大きい違いが見られない。文字Mについては、左上と右下の2つの位置条件において共に反応時間が最小となるという点で標的有り条件と同様の変化パターンを示すが、左下条件の反応時間が特に長い。文字Rについては下、左下及び右下の3つの位置条件において反応時間が短く、左上と上の2条件において長かった。

以上のように、MとOの2文字については、標的の有り無しに関わらず左上と右下の位置条件において反応時間が短いこと、文字Rについては、標的無しの条件においては違いが明らかではないが標的有りの条件においては左下、下及び、右下の位置条件においてのみ反応時間が短いことが分かった。ここで、標的有り条件は提示された全部の文字を照合する必要があるために、提示された文字の処理過程の効果をより鮮明に示すものと考えることができる。したがって、本研究の結果は、陰影を右下に配置する場合に3文字共通して文字の検出が最も容易であったことを示す。

上方光源仮説によると、陰影の付いた対象が提示されるときその陰影から対象の凹凸を知覚する際、我々は陰影を作り出す光源はただ一つであり、し

かも上方向にあるものと想定するため、下部に陰影の付いた対象が凸に見えると考えられる (Ramachandran, 1988, 1990)。Sun and Perona (1998) は視覚的探索課題を用いて、陰影が真下ではなく右下に陰影がある場合に凸に見える結果を得、上方光源仮説を修正した。井上と渡辺 (2005) は、これまでの線形グラデーションではなく円形グラデーションの陰影を付けた円形刺激を用いて直接見かけの奥行きを被験者に求め、陰影が真下ではなく右下に陰影がある場合に奥行きの印象が大きくなることを明らかにした。主観的輪郭文字に陰影を付けた本研究でも、右下に陰影を付けた場合に文字の検出が容易である結果を得た。これらの結果は上方光源仮説を若干修正する必要があることを示す。

文字の種類によって陰影の位置の効果が異なっていた。すなわち、反応時間の最も短くなる左上と右下の2つの位置条件においては、Mの反応時間だけがOとRより短くなるのに対し、他の位置条件においてはMの反応時間だけが他文字より短くなるということにはなかった。また、左上の条件を除くすべての位置条件においてOの反応時間は他の2文字に比べて常に長かった。

本研究では、使用する文字の種類を、直線のみから成る文字の代表としてMを、曲線のみから成る文字の代表としてOを、そして直線と曲線を含む文字の代表としてRの種類に限定した。Rの文字においては陰影の位置の効果に関して、他の2文字とかなり異なる結果が得られたが、これはMとOは左右対称文字であるのに対し、Rだけが非対称であることによることも考えられる。沈ら (2000) は、文字の不均衡性あるいは不規則性等の文字の構造が文字の読み易さに関係すると示唆した。本研究の結果も、文字の構造の違いが文字の認知に陰影の位置の効果の相違をもたらした可能性を示唆する。したがって、今後刺激に使用する文字の種類を増やした実験を行うことにより文字の構造と陰影の位置の効果の関係性について更に検討する必要がある。

引用文献

- 沈 銀美・桐谷佳恵・野口 薫 2000 陰影の方向による主観的輪郭文字の知覚 日本心理学会第64回大会発表論文集 P. 512.
井上浩義・渡辺 功 2005 奥行き知覚に及ぼす陰影のハイライトの位置の効果 心理学研究, 76,

51-56.

- カニッツァ G. 野口薫(監訳) 1985 視覚の文法 ゲシュタルト知覚論 サイエンス社 (Kanisza, G. 1979 Organization in vision: Essays on Gestalt Perception. New York: Praeger.)
- Ramachandran, V. S. 1988 Perceiving shape from shading. Nature, 331, 163-166.
- Ramachandran, V. S. 1990 Perceiving shape from shading. In I. Rock (Ed.), The perceptual world. New York: W.H. Freeman and Company. Pp.127-138.
- Sun, J., & Perona, P. 1998 Where is the sun? Nature Neuroscience, 1, 183-184.