研究論文：論文

主観的輪郭を利用した文字における陰影づけの 知覚的影響

沈銀美*、桐谷佳恵*、日比野治雄*、野口薫**

* 千葉大学工学部、** 日本大学文理学部

PERCEPTUAL EFFECTS OF SHADING LETTERS WITH ILLUSORY CONTOURS

Eunmi SHIM*, Yoshie KIRITANI*, Haruo HIBINO* and Kaoru NOGUCHI**

*Chiba University, 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi 263-8522, Japan

**Nihon University, 3-25-40 Sakurajosui, Setagaya-ku, Tokyo 156-8550, Japan

Abstract: Shading is one of the typical depth cues generally used in letter illustrations and designs. Among the various kinds of shading directions, we humans are most familiar with shading in the right-bottom direction. In the present study, we investigated the perceptual effects of the shading directions using letters of alphabets as stimuli. In Experiment 1, we used 26 capital letters and 4 geometric figures in the six shading directions, which means that there were 180 conditions (i.e., (26 letters + 4 figures) × 6 shading directions). For each condition, we measured the reaction times for perceiving the stimulus. The results indicated that it takes longer for subjects to recognize simple letters and figures. In Experiment 2, we focused on preferences and readabilities of the stimuli, using eight capital letters in four shading conditions. As the results, we found that the right bottom shading was evaluated as the highest (i.e., the most beautiful, positive, and readable). It is plausible that the results are related to our familiarities with the right bottom shading.

Key Words: Depth cues, Shading direction, Illusory contour, Visual perception

1. はじめに

近年、科学技術は急速に発展し、コンピュータグラフィックスを駆使した映像表現の新展開を迎え、私たちの視覚環境は大きく変化した。「より目立ち」、「よりリアルに」をうたい文句に視覚情報の多様化は進み、私たちの視覚環境は目覚ましい広がりを見せている。もはや文字情報を絵画的視覚情報と区別した時代はすぎ、文字情報自体に絵画的視覚情報の表現手法が取り入れられている。なかでも、特に目立つのは文字の立体表現である。文字を立体的に表現することは人の目を引く視覚的效果と共に文字が実物として存在しているような心理的效果をもたらす、新たな感性情報 [注1] を生む。

文字の立体的表現を奥行き手がかりの観点から分類し、イメージ効果をみた先行研究 [注2] は、特に、主観的輪郭 [注3] の文字に対しては好感度が高く、他の奥行き表現より新しい表現として知覚されている結果をみせた。主観的輪郭は、客観的に存在しない輪郭が知覚できることから多くの視知覚研究者たちの関心を引き、研究された知覚現象である。しかし、多くの研究対象である幾何学的図形とは違って、主観的輪郭文字は陰影 [注4] という手がかりによって知覚される。図1のような不完全な刺激が陰影として知覚されることで、文字を浮き彫りにし、立体的にみせる。しかし、今まで使われたほとんどの主観的輪郭文字の陰影の方向は決まって右下にある。また主観的輪郭を含み、陰影づけで表現した文字のほとんどは陰影の位置が右下にある [注5]。

人は陰影の知覚において、光源は空間座標系の上方向にあると仮定していることは一連の実験で証明されており [注6]、陰影の位置が下にある方が陰影から形態を知覚しやすいことが考えられる。しかし、実際に左右、また上下の陰影の位置が文字の知覚に影響を与えるかどうかはまだ明らかにされていない。私たちは今までの主観的輪郭の文字の作品を見る限り、陰影が右下にある文字の知覚に慣れているはずだが、本当に陰影の方向付けは主観的輪郭の文字知覚に影響を与えているのか。本研究は、文字の3次元的表现として広く使われている主観的輪郭という陰影づけの表現手法の知覚的效果を実験を通して検討する。一連の実験を通し、陰影の方向による文字の知覚的效果を明らかにすることによって陰影づけ文字という感性情報の理解に役立つことを目的とする。

図1：主観的輪郭文字の例

2. 実験 I

2.1. 目的

主観的輪郭文字の知覚は、刺激を陰影として知覚することによって文字の半分当たる、物理的には存在しない輪郭が知覚される。陰影からの主観的輪郭文字の知覚は、文字の全体輪郭の半分は陰影として呈示されるのが一般的で、刺激（陰影）が少ないと形態（文字）を知覚しにくいことが考えられる。

ところが、今まで表現された主観的輪郭文字は陰影となる刺激のほとんどが決して右下に位置する。しかし、陰影の位置とは関係なく、表される陰影の量が重要なら、例えば、文字輪郭の半分が提示されれば、主観的輪郭文字は知覚されると推測できる。はたして陰影の位置を変えることは主観的輪郭文字の知覚に影響を与えるのか。本実験では光源の位置、つまり陰影の位置の変化が主観的輪郭文字の知覚に影響を与えているか調べることを目的とする。

2.2. 方法

①刺激

アルファベット大文字を対象にした主観的輪郭文字を製作する。書体はゴシックのみにし、陰影づけの位置は上、下、右上、右下、左上、左下の6つの方向にする。また統制サンプルとして三角形、四角形、円形、星印を用い、同じく6つの方向に陰影づけをする。サンプルは180個になる（（アルファベット26+幾何学図形4）×陰影の方向6）。

180個のサンプルのなかでアルファベットは形態の要素を考慮し、刺激を複数のグループに分けた。ある形を知覚するとき、曲がりの具合や曲がり数によって簡潔、複雑、対称の分類ができ、イメージは異なる [注7]。従って、アルファベットの分類に際して形態が「直線で構成されている文字（以下Sグループ）」、「曲線で構成されている文字（以下Cグループ）」、「直線と曲線で構成されている文字（以下CSグループ）」の3つのグループに分けた。また統制群としての幾何学的図形を1つのグループにし、サンプルは4つのグループになる。

陰影づけの方向による主観的輪郭の刺激の例が図2に示される。

②手続き

刺激はパーソナルコンピュータ（Power Macintosh 7300/180）制御のモニター（17"、Apple Visoin 1710 AV Display 1024×768, 75 Hz）上にランダムに呈示される。被験者は刺激をみてその形態が何かを弁別するようにする。その際、被験者には呈示される刺激が文字であることは通知しない。単に「陰影で表現されている立体的形態が呈示されるので、その形態が何か分かったらマウスをクリックし、それが何かを口頭で報告する」ように指示する。試行は5分の休憩を入れて2回反復される。従属変数は形態が分かるまでの反応時間 [注8] とする。1人の被験者は2回試行を行い、1回ごとの刺激数は180個である。

被験者は大学生8名である。

2.3. 結果

アルファベットと統制グループの計4つのグループそれぞれに対して、分散分析を行った。各グループの条件は刺激形態

陰影の方向 \ 刺激	CSgroup の例 B	S group の例 H	C group の例 O	幾何学図形 の例 ☆
下				
左下				
右下				
上				
左上				
右上				

CS group 直線と曲線で構成されているアルファベット

S group 直線で構成されているアルファベット

C group 曲線で構成されているアルファベット

図2：陰影の方向による主観的輪郭の例

（文字または幾何学的図形）×陰影の位置で、2要因分散分析を行う。

分散分析の結果C、S、CSグループにおいてそれぞれ、刺激形態条件と陰影の位置の主効果とそれらの交互作用が有意となった。表1～表3は各グループの分散分析の結果である。幾何学図形のグループでは刺激形態条件でのみ主効果がみられた ($F_{3,21}=3.917, p<.05$)。

また、被験者はアルファベット条件の場合、上、下の陰影を除く斜めの陰影条件（右上、右下、左上、左下）では、ほ

表1：Cグループの分散分析の結果

SOURCE	df	F-Value	P-Value
被験者 S	7		
刺激形態 F	4	6.249	.0010
F × S	28		
陰影の位置 L	5	4.943	.0016
L × S	35		
F × L	20	5.284	.0001
F × L × S	140		

表2：Sグループの分散分析の結果

SOURCE	df	F-Value	P-Value
被験者 S	7		
刺激形態 F	14	4.909	.0001
F × S	98		
陰影の位置 L	5	10.088	.0001
L × S	35		
F × L	70	2.170	.0001
F × L × S	490		

表3：C、Sグループの分散分析の結果

SOURCE	df	F-Value	P-Value
被験者 S	7		
刺激形態 F	5	9.346	.0001
F × S	35		
陰影の位置 L	5	8.763	.0001
L × S	35		
F × L	25	5.644	.0001
F × L × S	175		

とんど刺激がアルファベットであると回答した。

次に反応時間の分散分析に関する結果を詳しく見る。

① 刺激形態の主効果

C、S、CSグループと幾何学図形のグループの刺激形態による反応時間をみると、曲がりの具合や曲がり数が少ない単純な形態ほど、弁別が遅い結果をみせた。図3、図4はC、CSグループの例である。グラフをみると、C、U、Jなどの知覚が遅いことが分かる。

下位検定でC、Uは他の条件と有意な差をみせた ($p < .05$)。

図3：Cグループの形態弁別

下位検定でJは他の条件と有意な差をみせた ($p < .05$)。

図4：CSグループの形態弁別

② 陰影の位置の主効果

幾何学図形のグループを除き、C、S、CSグループでは陰影が上、下の条件で最も弁別が遅い結果を見せた。図5、図6は

S、CSグループの例である。上、下の陰影は文字のごく一部の輪郭のみみえることになり、その刺激から文字を知覚することは難しいと思われる。

上下の両条件は他の条件と有意な差をみせた ($p < .05$)。

図5：陰影条件によるSグループの形態弁別

下の条件は他の条件と有意な差をみせた ($p < .05$)。

図6：陰影条件によるCSグループの形態弁別

3. 実験II

3.1. 目的

実験Iの結果、陰影が文字の上と下のみに提示された場合、文字形態の弁別が遅く、分かりにくいことが明らかになった。本実験では主観的輪郭文字の知覚には相応しくないとと思われる上、下の陰影は除き、右下、右上、左下、左上の4つの陰影方向を対象とする。それによって主観的輪郭文字の場合、文字全体の輪郭の半分が提示される斜めの光源で、右と左、または上と下の陰影方向の知覚的影響を調べる。またアルファベットの形態的特性を考慮し刺激数を絞ることによって、被験者の負担を減らし、信頼度の高い実験を目指す。また、本実験では陰影づけの位置による読みやすさ、美的判断、興味度などを測定する。それによって、文字の立体的表現として広く使われている陰影位置の知覚的效果を明らかにするとともに、立体文字のデザインへの応用に寄与することを目的とする。

3.2. 方法

① アルファベットの選定

実験Ⅰでは、提示される刺激がアルファベットであることを知らせなかったにも関わらず、多くの刺激はすぐアルファベットとして知覚された。実験Ⅱでは、文字の分かりやすさや読みやすさを測定するので、実験Ⅰの結果で、比較的早く知覚されたアルファベットは除くことにした。従って、実験Ⅱの刺激は、実験Ⅰの結果から反応時間が比較的長かったアルファベットの中から8個を選定した（C、E、H、I、L、B、G、R）〔注9〕。

陰影づけの位置は、右上、右下、左上、左下の4つの方向で、アルファベットの刺激は32個になる（アルファベット8×陰影位置4）。刺激となるアルファベットの例は図7に示される。

陰影の方向 刺激	左下	右下	左上	右上
C
L
R

図7：実験Ⅱの刺激の例

② 手続き

刺激は実験Ⅰと同じパーソナルコンピューターのモニター上にランダムに呈示される。まず、被験者（大学生27人）に、刺激が陰影のみで表現されている文字であることを知らせ、文字を知覚するまでの時間を測定する。5分の休憩の後、またランダムに呈示される同じアルファベットに対し、被験者は文字の読みやすさ、分かりやすさ、表現の新しさ、美しさ、面白さをそれぞれ5点尺度で評定する。点数は5に近いほど分かりやすい、美しいなどの肯定的印象を示す。

3.3. 結果

以下は、2要因分散分析（アルファベット×陰影の位置）の結果である。

① 反応時間

文字が知覚されるまでの時間を測定した結果、アルファベットの主効果が有意であり（ $F_{7,182} = 6.380, p < .0001$ ）、Iの反応時間が最も長かった。反面、最も早く知覚されたのはR、E、Bで、曲線と直線が混合されたり、曲がり数が多かったりした文字が早く知覚される結果を見せている。

② 分かりやすさ

文字表現が分かりやすいかどうか判断してもらった結果、

アルファベット（ $F_{7,182} = 18.778, p < .0001$ ）と陰影位置（ $F_{3,78} = 29.241, p < .0001$ ）の主効果がみられた。Iが最も分かりにくく、Bは最も分かりやすい（図8）。また陰影位置が右下の場合、刺激は最も分かりやすく、左上の場合、分かりにくいと知覚されている（図9）。

図8：分かりやすさのアルファベット条件

図9：分かりやすさの陰影条件

③ 読みやすさ

文字が読みやすいかどうかに関しては、アルファベット（ $F_{7,182} = 15.131, p < .0001$ ）と陰影位置（ $F_{3,78} = 29.66, p < .0001$ ）の主効果がみられ、Bは最も読みやすく、Iは最も読みにくい結果をみせた。グラフの結果は分かりやすさの結果とほとんど同じ傾向を見せている。

④ 新しさ

「文字表現が新しいと思うか」に関しては、陰影の位置条件が主効果をみせ（ $F_{3,78} = 16.899, p < .0001$ ）、左上の陰影が最も新しい表現であるという結果となった。反面、最も新しい表現は右下の陰影条件となった。

⑤ 面白さ

表現の面白さではアルファベット条件が主効果の有意な差をみせた（ $F_{7,182} = 7.89, p < .0001$ ）。表現が最も面白いアルファ

ベットはBとRであり、最も面白くない表現はIである(図10)。

BとRはIと有意な差をみせる($p < .05$)。

図10: 面白さのアルファベット条件

⑥ 美しさ

文字表現の美しさを評定した結果、アルファベット条件 ($F_{7,182} = 10.096, p < .0001$)と陰影の位置条件 ($F_{3,78} = 13.78, p < .0001$)で主効果がみられた。美しい表現のアルファベットはB、G、Rであり、曲線と直線のバランスのとれた文字を美しく評価された(図11)。被験者は陰影条件では、最も美しい条件として右下を、美しくない条件として左上をあげている(図12)。

文字の読みやすさや美しさなどの知覚的要因において陰影の位置条件は全体的に右下とその反対の位置である左上条件が相克の結果をみせている。最も分かりにくく、読みにくいと知覚している陰影の位置は左上であり、逆に最も分かりやすく読みやすい陰影の位置は右下である。また新しい表現であると思われる陰影の位置は左上であるが、美しいと思う陰影の位置は右下の傾向をみせた。

本実験の結果は、全般的に各項目に対してBやRは肯定的に知覚される反面、Iはそうではない傾向を見せた。また右下の陰影位置は肯定的に、左上の陰影位置はその反対の傾向として知覚される結果を見せた。

図11: 美しさのアルファベット条件

図12: 美しさの陰影条件

4. まとめ

本研究では、近年増えつつけている文字の3次元的表現のなかで最も広く使われている陰影づけの手法を取り上げていく。陰影づけの表現手法のなかでも、陰影だけで表現される主観的輪郭の手法に制限して、知覚的影響を実験的に検討した。

まず、実験Ⅰでは、陰影の方向による形態弁別を調べてみた。大文字のアルファベット26個と幾何学的図形4個で陰影づけを6つの方向に変化させ、形態知覚までの時間を測定した。その結果、陰影となる刺激の形態が曲がり数が少ないなど、単純になるほど、知覚に時間がかかる結果が出た。文字別にみると、C、U、I、L、J、Hが、幾何学的図形では△形が知覚されにくい。陰影づけの方向別にみると、真上と真下の陰影は知覚しにくい結果をみせた。ある3次元的図形の真上と真下に光源があると、極一部の陰影のみ提示されるので、形態の知覚が遅くなることは考えられる。

実験Ⅱでは、主観的輪郭の表現としては相応しいと思われる上と下の陰影を除き、右上、右下、左上、左下の4つの方向でアルファベットの知覚をみた。アルファベットは実験Ⅰの結果から形態的要素を考慮し、8個を選別した(C、E、H、I、L、B、G、R)。アルファベットの弁別ではIの反応時間が最も長く、実験Ⅰと同じく単純な形態が知覚が遅い結果をみせた。また、実験Ⅱでは、分かりやすさや美しさなどの知覚的効果を被験者に評定させた。その結果、アルファベット条件では、BとRが分かりやすく、読みやすいアルファベットとして知覚されている。またBとRは主観的輪郭の表現が美しく、面白いと思われるアルファベットとしても知覚されている。陰影づけの条件では右下の陰影は、分かりやすく、読みやすく、美しい表現として知覚され、見なれている陰影の方向を肯定的に評価している結果をみせた。反面、最も新しい表現は右下の反対の方向である左上という結果をみせた。

実験Ⅰでは全般的に上と下の陰影条件[注10]で、実験ⅡではIのアルファベット条件で、形態弁別の知覚が遅い結果が出た。その共通点は陰影となる刺激が単純なことである。3次元的形態の陰影が真上か真下のみに提示される場合、刺激(陰影)は1つか2つのストロークのみのごく単純な形態になり、そこから形態を弁別することは難しいことは考えられる。平

面図形から立体図形を知覚するとき、より複雑で、不規則的な図形が立体として知覚できることを考えると[注11]、単純な図形（陰影）は文字の陰影としてよりは意味のない2次元上の図形として知覚されやすいと思われる。

文字の陰影づけ表現は陰影の位置が右下にある表現がもっとも広く使われている。その右下の陰影を被験者は分かりやすく、読みやすく、美しい表現であると知覚し、見なれている陰影の位置を肯定的に評価している。陰影位置が右下と反対の方向である左上の陰影を新しい表現として知覚したことも同じことを意味している。全般的に右下の陰影を肯定的に評価しているなか、右下の条件でアルファベットの各水準による美しさを下位検定した。その結果、B、G、Rは美しい表現であると知覚されている。B、G、Rはともに実験ⅠでCSグループ（曲線と直線で構成されている）に属するアルファベットで、形態弁別においても、最も早く知覚されている。この結果は、主観的輪郭の文字において、早く知覚ができ、知覚しやすい形態が美しいと評価されることを意味する。また直線と曲線で構成され、バランスのとれた陰影文字が美しいと評価されていることを意味する。

本研究の実験では1つ1つのアルファベットを刺激として提示し、陰影位置の知覚を調べた。しかし、実際に広告やエディトリアルデザインなどの現場で使われているのは単語や文章であり、視覚的形態が複雑になる単語や文章の場合、主観的輪郭文字の陰影位置の変化が同じ知覚的影響を与えるか探る必要がある。

文字の右下に陰影をつける方法は古くから使われた手法である。本章の実験からも右下の陰影は肯定的に効果された結果が出たが、なぜ右下なのか。目に慣れているので、安定した表現として知覚したのか、それともともと人は右下の陰影を好んでいるので、そのような表現が広く使われるようになったのか。本章の実験の陰影条件を上（右上、左上）と下（右下、左下）に大きく分けてみると、陰影が下の条件が分かりやすく、読みやすく、美しい表現であると知覚され（ $p < .05$ ）、陰影が上の条件は新しい表現であると知覚された（ $p < .05$ ）。はじめの部分でも述べたように、目に慣れていることから陰影が下にある方が知覚しやすいことは予測できた結果である。しかし、左右の陰影位置の知覚的差は本研究の結果からはまだはっきりしていない。今後の研究は、左右の陰影の知覚的影響を調べる必要があると思われる。

注

- 1) 伝達される情報は受け手にとって分かりにくい、分かりやすいといった感性的な側面がある。伝達情報の持つ性質と、受け手の認知特性との関係を明らかにすることで、こうした感性的な面を捉えることができる（辻三郎：感性の科学－感性情報処理へのアプローチ、サイエンス社、1997）。
- 2) 沈銀美、宮崎紀郎、野口薫：印刷媒体における文字の奥行表現、デザイン学研究、46、1、47-54、1999
- 3) 通常、輪郭は隣接した領域の間に明るさや色の刺激差異

があるときに知覚されるが、物理的に完全に等質な領域に輪郭が知覚される場合がある。これを一般に主観的輪郭という（Kanizsa, G.: Subjective Contours, Scientific American, 234, 48-52, 1976）。

- 4) 陰影は光が遮られて生じるものであり、これには視対象そのものの側面部位に知覚される陰 attached shadow と他の面上に投影されて知覚される視対象の影 cast shadow で区別することができる。ここではそのような区別はしないが、主観的輪郭の文字は文字を立体的にみて文字そのものの部位として知覚されることから陰に当てはまる。
- 5) Solo, D. X.: 3-D and Shaded Alphabets, Dover Publications, Inc., 1982
- 6) Kleffner, D. A. & Ramachandran, V. S.: On the perception of shape from shading, Perception & Psychophysics, 52, 1, 18-36, 1992
- 7) Kikuch, Tadashi: A comparison of similarity space and semantic space of random shapes, Japanese Psychological Research, 13, 4, 183-191, 1971
- 8) 本実験に入る前に、各被験者の単純反応時間を測定した。つまり、モニター上に※印の刺激を呈示し、刺激が知覚されたらすぐマウスをクリックさせ、各被験者ごとの単純反応時間（RTa）を測った。そして、本実験で被験者が刺激を弁別した反応時間（RTc）を測定し、弁別反応時間と単純反応時間との差を出し、その値（感覚弁別時間*）を従属変数とした。
*RTc - RTa = 感覚弁別時間（感覚・知覚ハンドブック、1994）
- 9) 実験Ⅰの陰影位置が上、下の条件は主観的輪郭文字の表現として相応しくないので、右上、右下、左上、左下の4条件で、全てのアルファベットの反応時間を算出した。そのなか反応時間の遅いアルファベットを実験Ⅱの刺激として選定した。CSグループのアルファベットは他のグループのアルファベットより反応時間が速いが、グループごとのバランスを考慮し、CSグループのなかで遅い方のB、G、Rを選んだ。
- 10) 実験Ⅰの上か下の陰影条件では、U、H、L、F、J、△形、□形など、刺激が単に点、または1つの線しか見えないアルファベットと幾何学図形の条件で、刺激の形態を弁別ににくい結果をみせた。
- 11) 平面図形として「よい形」とは見えない不規則的な図形は、平面図形としてより立体図形として知覚される傾向がある。