投稿論文

文字呈示面の回転が読字に及ぼす効果

本居 快¹⁾・高橋 啓介²⁾・杉浦 巧知³⁾・服部 玲奈³⁾

¹⁾ 愛知淑徳大学大学院心理医療科学研究科博士後期課程視覚科学専修

²⁾ 愛知淑徳大学健康医療科学部視覚科学専攻

³⁾ 愛知淑徳大学大学院心理医療科学研究科博士前期課程視覚科学専修

Effects of Character Presentation Surface Rotation on Reading

Motoori Kai¹⁾, Takahashi Keisuke²⁾, Sugiura Takuto³⁾, Hattori Rena³⁾

¹⁾ Aichi Shukutoku University Graduate School of Psychology & Medical Sciences Doctoral Course
Department of Visual Sciences

²⁾ Aichi Shukutoku University Faculty of Health & Medical Sciences Department of Visual Sciences

³⁾ Aichi Shukutoku University Graduate School of Psychology & Medical Sciences Master's Course
Department of Visual Sciences

要 約

【緒言】本研究では、文字呈示面を下方視に対応するx軸方向、あるいは側方視に対応するy軸方向に回転させ、文字列の行間隔および文字間隔の有無が文字読み取りに及ぼす効果について検討した。

【対象および方法】視力1.0以上の視覚健常な3名を被験者とした。各被験者について測定した文字読み取り可能最大回転角度に及ぼす文字呈示面の回転軸（x軸あるいはy軸）、行間隔の有無、文字間隔の有無について3元配置分散分析モデル実験計画によって検討した。文字はすべてひらがな無意味綴りで、文字サイズは8.8 point、文字コントラストはMichelson contrast 98.8%であった。文字の配列はMNREAD-Jに準拠した。

【結果】結果の分析は被験者ごとに行った。3名中2名の被験者においてy軸回転で文字間隔がないと、文字の読み取りが有意に不利になることが示された。残りの1名の被験者は、文字間隔、行間隔に関わらずx軸回転に比べてy軸回転で文字読み取りが不利になった。

【考按】上記の結果は、1種のcrowding effectと捉えることもできるが、奥行き知覚などのより高次の処理が関与した視空間の異方性の現象であると考えられる。

別冊請求先（〒480-1197）愛知県長久手市片平2-9

愛知淑徳大学健康医療科学部視覚科学専攻

高橋 啓介

E-mail: keitak@asu.aasa.ac.jp

Key words: 文字呈示面のx軸回転、文字呈示面のy軸回転、読み取り可能最大角度、crowding effect、視空間の異方性

x-axis rotation of character presentation surface, y-axis rotation of character presentation surface, maximum readable angle, crowding effect, visual space anisotropy

Abstract

【Purpose】 This study examined the effects of line spacing and character spacing on reading performance by rotating the character presentation surface in the x-axis direction corresponding to the downward view angle and the y-axis direction corresponding to the side view.

【Subjects and Methods】 Subjects were three healthy individuals with visual acuity of 1.0 or better. The effects of the rotation axis (x- or y-axis) of the character presentation surface and the presence of line spacing and character spacing on the maximum rotation angle of readable characters were assessed for each subject and analyzed using a three-way ANOVA model for experimental design. All characters were spelled in meaningless HIRAGANA with a character size of 8.8 points and a 98.8% Michelson contrast level, and arranged to conform to the MNREAD-J.

【Results】 The results were analyzed for each subject. In two of the three subjects, a significant disadvantage in reading was observed when the presentation surface was rotated in the y-axis direction without character spacing. The remaining subject showed a disadvantage in reading with a y-axis rotation regardless of the presence of character spacing and line spacing.

【Conclusion】 Although the present result could be regarded as a kind of crowding effect, it could also be considered as a phenomenon of visual space anisotropy that involves higher-order processing such as depth perception.

I. 緒言

国土交通省¹⁾は高齢者や視覚障がい者を想定した場合の掲示等の文字サイズや掲示物の位置などに関するガイドラインを提示している。ここでは高齢者、視覚障がい者の基準となる視力を小数視力0.5程度と想定することを適当とし、小数視力0.5の人が読み取り可能な文字サイズ、提示位置を設定すべきとしている。それによると、屋外掲示物に用いるのが適当とされる最小の文字サイズ55 pointの場合、仰角あるいは俯角が約60°までの範囲であれば、情報保証上許容されることになる。しかし、これらのガイドラインは根拠となるデータが不十分であり、健常者や高齢者、視覚障がい者を対象とした十分な基礎データに基づいているとは、必ずしも言えない。

屋外での活動を想定すると、視対象を眼前真正面から視認する場合よりも上方、下方、側方に位置する視対象を視認する場合の方が一般的である。これらの場合、文字サイズだけではなく、文字間隔、行間隔が狭くなること、文字呈示面の傾斜に伴う奥行によって生じる文字形態の変化などが文字読み取り上の問題となることが考えられる。特にロービジョンを持つ患者や

視機能の低下した高齢者では、これらの要因が文字情報の取得において致命的な影響を及ぼす可能性があり得る。したがって、これらの問題が無視し得るか否かを含めた基礎的検討が必要である。

図1 刺激の回転軸

上記の問題意識に基づいて本居ら²⁾は図1に示した回転軸での文字呈示面の回転が文字読み取りにどのように影響するかについて、視覚健常者を対象として、各軸の読み取り可能最大回転角度のlogMAR値に対応させた文字サイズに伴う変化を検討している。その結果、読み取り時間の制限を設けなければz軸回転は文字読み

取りに全く影響はなかったものの、y、x軸回転では文字サイズが小さくなると読み取り可能最大回転角度が有意に小さくなることを報告している。さらに、x軸回転では logMAR0.0相当の文字サイズから読み取り可能最大回転角度の有意な低下が生じ、y軸回転では logMAR0.1相当の文字サイズから読み取り可能最大回転角度に有意な低下が生じた。このことから、x軸回転に比べてy軸回転の方が文字の読み取りに不利である可能性が示唆された。

z軸回転は心的回転事態^{3),4)}であり、その効果については、文字の場合も3次元物体と同様の現象を生じることが確認されており、また、文字の読み取り自体を阻害することはない²⁾。しかし、文字呈示面のx軸、y軸回転の効果については、そもそも基礎的なデータが存在しない。そのため、本居ら²⁾の報告にあるように、文字読み取りへの影響の回転軸間の差異について、その有無も含めて、基礎的な検討が必要である。

そこで本研究では、文字サイズ、文字数、行数を制御し、文字間隔、行間隔を組織的に操作して、文字呈示面のx軸およびy軸における回転が文字の読み取りにいかなる影響を及ぼすかについて、探索的な基礎研究を行った。

なお本研究は、愛知淑徳大学利益相反マネジメント委員会の審査において本研究の報告者全員について「利益相反なし」の判定を受けている。

II. 対象および方法

被験者：視覚機能に異常のない、矯正視力1.0以上の大学院生3名（平均年齢23.0歳 (sd=1.0)）いずれも本研究における実験者を兼ねた。本研究は、愛知淑徳大学大学院心理医療科学研究科研究倫理審査委員会の審査を受け、承認されたものの一部であり（承認番号：2019-09）、実験は、十分なインフォームド・コンセントを得て行われた。

刺激：MNREAD-J^{5),6)}の行数、列数（3行10列）でひらがな無意味綴りをIllustrator2018によって作成した。図2に実験に使用した刺激

例を示した。文字サイズは本居ら²⁾において回転軸の影響が大きくなる直前の log MAR0.5に相当する文字高3.1mm（8.8 point）に設定し、文字フォントはMS明朝体を用いた。また、使用したひらがな刺激は、1試行ごとにランダムに入れ替えた。刺激の文字間隔と行間隔を設定する実験条件の場合、1文字分を3.1mm（8.8 point）に統制した。刺激はSurface Pro 6（Microsoft）のPowerPoint2016によって呈示した。画面サイズは17.33×25.99 cm、解像度は1824×2736 pixel。文字呈示面は平均輝度165.30 cd/m²の白色背景で、文字は平均輝度0.94 cd/m²の黒色とし、文字コントラストはMichelson contrastで平均98.8%であった。

実験条件：回転軸条件（図1）としてx軸回転、y軸回転の2水準、文字間隔条件（図2）として文字間隔あり、文字間隔なしの2水準、行間隔条件（図2）として行間隔あり、行間隔なしの2水準をそれぞれ設定した。回転軸（2水準）×文字間隔（2水準）×行間隔（2水準）の3要因分散分析モデル実験計画であった。

手続き：実験は暗室で被験者のsighting dominanceの片眼視下のfree viewing状態で実施した。顎台を用いて、被験者の頭部を固定し、観察距離は30 cmに設定した。被験者の観察眼の瞳孔中心が、刺激呈示面の前額平行面と平行の場合である回転角度0°の時の刺激中心に位置するように顎台を調整した。刺激の呈示は台座に固定したSurface Pro 6を各回転軸方向に回転させることで行った。刺激は1試行ごとにひらがなをランダムに抽出、配列した刺激を用い、いずれの実験条件でも回転角度0°から呈示し0.5°ステップで回転角度を増加させた。呈示した刺激の中央行のみ音読させ、中央行に呈示されたすべてのひらがなを完全に読み取りできた限界の呈示角度を測定した。回転軸条件の順序は被験者間でカウンターバランスを取り、文字間隔条件と行間隔条件はランダムな順序で測定を行った。いずれの被験者に対しても各実験条件につき3回の繰り返し測定を行った。

図2 各実験条件における呈示刺激例

図3 各実験条件における被験者ごとの平均読み取り可能最大回転角度（ヒゲは1sdを示す）

Ⅲ. 結果

図3に各実験条件における平均読み取り可能最大回転角度を被験者ごとに示した。また、被験者ごとに平均読み取り可能最大回転角度に対する回転軸、行間隔の有無、文字間隔の有無の

3要因の効果について、3元配置分散分析を実行した。図3および分散分析の結果に基づいて、被験者ごとに結果を記述する。

被験者Kでは、y軸回転において文字間隔のない場合で文字間隔のある場合に比べて読み取り可能最大回転角度が小さくなる傾向が認めら

れた ($F_{1,16}=3.818$, $p<0.07$)。また、x軸回転において行間隔のない場合で行間隔のある場合に比べて読み取り可能最大回転角度が小さかったのに対し、y軸では行間隔の有無が逆の効果を示すことが認められた ($F_{1,16}=4.543$, $p<0.05$)。被験者Kの場合、y軸は文字間隔のない方が文字読み取りに不利で、x軸では行間隔がない方が文字読み取りに不利である傾向が認められた。

被験者Tでは、y軸回転において文字間隔がない場合で、文字間隔のある場合に比べて読み取り可能最大回転角度が有意に小さかった ($F_{1,16}=6.091$, $p<0.05$)。x軸回転においては文字間隔、行間隔ともに読み取り可能最大回転角度に顕著な効果を持たなかった。被験者Tも被験者K同様、y軸回転においては文字間隔がない方がある場合よりも文字読み取りに不利であることが示されたが、x軸回転においては、被験者Kで認められた行間隔のないことが文字読み取りに不利である傾向は認められなかった。

被験者Rでは、文字間隔の有無、行間隔の有無に関わらず、y軸回転の場合x軸回転に比べて読み取り可能最大回転角度が有意に小さいことが認められた ($F_{1,16}=31.731$, $p<0.001$)。被験者Rの場合、x軸回転に比べてy軸回転が文字読み取りについては脆弱であることが示された。

IV. 考按

臨界文字サイズより大きい文字の呈示面をx軸あるいはy軸方向に回転させた場合に、行間隔、文字間隔の有無が文字読み取りにいかなる影響を与えるかについて検討した。その結果について回転軸ごとにまとめる。

回転によって文字の縦方向および行間の知覚的圧縮が生じるx軸回転では、いずれの被験者も文字間隔の有無の効果は認められなかった。しかし、被験者Kで行間隔がある場合に比べて、ない場合で文字読み取りの劣化が相対的に小さい回転角度で生じ、被験者T、被験者Rでは、行間隔の有無の効果は認められなかった。

回転によって文字の横方向および文字間隔の知覚的圧縮が生じるy軸回転では、いずれの被験者も行間隔の有無の効果は認められず、被験

者K、Tでは、文字間隔がある場合に比べてない場合で、文字読み取りの劣化が相対的に小さい回転角度で生じた。被験者Rでは、上記のような行間隔、文字間隔の効果は認められなかったが、一貫してx軸に比べy軸で回転による文字読み取りの劣化が相対的に小さい角度で生じた。

上記の所見は、個人差はあるものの、文字や文字面の回転が文字の読み取りに影響することを示している。文字呈示面が前額平行面から回転する場合に、回転軸によってその影響が異なることは従来、報告されていない。この現象を文字間隔あるいは行間隔の圧縮による、crowding effect^{7)~9)}の一種と捉えるならば、高齢者やロービジョンを持つ患者を想定した視覚表示においては、字詰まりの効果のみならず文字呈示面それ自体の回転の影響も考慮すべきであることを示唆するが、この点を明らかにするためには、読書速度や文字視認速度におよぼすx軸、y軸回転の効果について検討する必要があるだろう。また、本研究では被験者間平均で、x軸で73.5°まで、y軸で71.9°まで文字呈示面を回転しても文字の読み取りは可能であり、x軸y軸のいずれにおいても、視覚健常者においては、回転に対して視機能は頑健に保たれると言える。しかし、crowding effectsを考慮すると、臨界文字サイズ以下では文字呈示面のx軸、y軸回転が、特に文字呈示面を側方から視認する場合に対応するy軸回転で、文字の読み取りを大きく劣化させる可能性は現時点で否定できず、その点についてはさらに検討する必要があるだろう。また、本実験はすべて液晶ディスプレイを使用した。液晶ディスプレイの特徴として、固有の視野角が存在しており、本実験で使用したSurface Pro 6 (Microsoft) にも視野角が存在し、文字や文字面の回転時の読字に影響した可能性がある。しかし、被験者Rを除いて被験者Kと被験者Tの結果を見ると、log MAR0.5相当の文字サイズでは、軸条件間の有意差は生じていない。このことから、本実験に対する液晶ディスプレイの視野角の影響は小さいと考えられる。一方、本研究において認められた文字や文字呈示面の回転の効果が、文字や

文字面の縦方向の知覚的圧縮に比べて横方向の知覚的圧縮の方が文字の読み取りに関して不利であることを示唆するものと捉えれば、この現象は視空間の圧縮効果が垂直－水平方向で異なる、一種の視空間の異方性を示す現象である可能性がある。また、本現象が視空間の異方性の問題であるとするならば、本研究では実際に文字呈示面を回転させていたことによって、文字呈示面の奥行きも変化しており、そのため、眼球調節や眼球運動性手掛かりの要因の混入が無視できない。その点についても奥行きに変化が生じない空間圧縮のシミュレーションによる検討が必要であろう。さらに、文字呈示面の枠組みの奥行きに伴って、文字サイズ、絵画的奥行き手掛かりが変化しており、その効果についても本現象の知覚メカニズムを考察する上で、検討が必要であろう。いわゆる crowding effect は視覚の高次処理系においてではなく低次処理系で生じる効果であると考えられており¹⁰⁾、本研究における回転の効果に奥行き情報が関与していることが確認された場合は、従来の crowding effect とは異なる高次の処理系が関与した現象である可能性が示唆される。こうした点について、さらに本格的な実験的検討が必要である。

利益相反：利益相反公表基準に該当なし

引用文献

- 1) 国土交通省: 公共交通機関の旅客施設に関する移動等円滑化整備ガイドライン：バリアフリー整備ガイドライン(旅客施設編). 1-151, 国土交通省, 東京, 2007.
- 2) 本居快, 服部玲奈, 杉浦巧知, 高橋啓介, 川嶋英嗣: OTON GLASS®性能評価研究. 健康医療科学研究10: 1-28, 2020.
- 3) Shepard R, Metzler J: Mental rotation of three dimensional objects. Science 171: 701-703, 1971.
- 4) 長谷川要, 久野雅樹: フォントの心的回転に及ぼす影響. 言語処理学会第24回年次発表論文集: 256-259, 2018.
- 5) 小田浩一: MNREAD-J, Jkチャートマニュアル. 東京女子大学, 東京, 2002.
- 6) 小田浩一, 今橋真理子: 文字認知の閾値と読みの閾値. VISION 7: 1-4, 1995.
- 7) Mansfield JS, Legge GE, Bane MC: Psychophysics of reading. XV. Font effects in normal and low vision. Invest Ophthalmol Vis Sci 37: 1492-1501, 1996.
- 8) Arditi A, Knoblauch K, Grnwald I: Reading with fixed and variable character pitch. J Opt Soc Am A 7: 2011-2015, 1990.
- 9) 川嶋英嗣, 小田浩一, 藤田京子, 中村仁美, 香川邦生: 中心視野欠損のあるロービジョンの読書困難とこみあい現象. 総合リハ 27, 957-962, 1999.
- 10) Yu D, Akan MMU, Chung, STL: The mechanism of word crowding. Vision Res 52: 61-69, 2012.

1) 国土交通省: 公共交通機関の旅客施設に関する