

平成30年6月17日現在

機関番号：32706

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00699

研究課題名（和文）錯視の影響を考慮した中遠視距離における文字表示指標の構築

研究課題名（英文）Construction of character display indices in middle far-sight distance considering the influence of illusion

研究代表者

小谷 章夫（KOTANI, AKIO）

湘南工科大学・工学部・教授

研究者番号：20567763

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：学校教育においてプロジェクターの導入やスクリーンサイズの拡大が進んでいる。教育現場のスクリーンに投影された教材は、最前列に座った場合、ぼやけて読みづらく、後列に座ると文字が小さく潰れてしまい表示された内容を読み取れない状況が起きている。そこで、文字表示の可読性を視距離で評価する方法を検討した。錯視、視力、視距離、表示装置の解像度に焦点を当て実験を行った。その結果、視力、視距離、表示装置の解像度における関連性が示唆された。また、低解像度でも視力値の指標であるランドルト環の隙間を区別することが可能であり、文字読み取りにはランドルト環の隙間を越えるストローク間の画素数が必要であることも判明した。

研究成果の概要（英文）：Introduction of projectors and enlargement of screens in school education is progressing. When teaching material is projected on a screen at an education site, students sitting in the front row see blurred and difficult to read characters, and students sitting in the back row see collapsed characters that cannot be read. Therefore, we studied how to make it possible to evaluate the readability of the character display with viewing distance. We focused on illusion, visual acuity, visual distance, resolution of the display device and conducted an experiment. As a result, the relevance of visual acuity, visual distance, resolution of the display device was suggested. It was also revealed that it is possible to distinguish the gap of the Landolt ring, which is a visual target even at low resolution, and that the number of pixels beyond the Landolt ring is necessary for character reading.

研究分野：デザイン

キーワード：コミュニケーション メディア情報 コンテンツ インタラクション インターフェイス フォント
錯視 可読性

1. 研究開始当初の背景

大型化が進んでいる FPD (Flat Panel Display) は、電子表示板に搭載され、駅や道路、商業施設などに多く設置されるようになってきた。これによって、天気・交通・災害などの公共情報や、イベント・特売などの商業情報がリアルタイムで見られるようになり、利用者の利便性が増している。

しかしながら、視距離がある電子表示板のような表示デバイスの場合、視認性が悪く文字が読み取りにくいコンテンツが多く見受けられる。一方で、コンテンツ制作者の近くに置かれた PC モニターでは、実際に設置された電子表示板に表示される文字の視認性確認が困難である。

そこで、視距離のある電子表示板に誤認識のない見やすい文字表示を提供するための指標の明確化が強く望まれている。

2. 研究の目的

視距離がある文字表示の可読性を評価するために、文字の可読性に関係すると思われる要素の中で錯視、視力、視距離、モニターやスクリーンなどの表示デバイスの解像度に注目し、それぞれの関係を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

錯視、視力、視距離、表示デバイスの解像度の関係を明らかにするために、次の実験を行った。

(1) 実験 1: 錯視が知覚的大きさに与える影響

実験は室内照明の消灯時に照度 0lx の完全暗室になり、室内照明の点灯時には平均照度 485lx になる教室を使用した。視距離による知覚的大きさを計測するために、図 1 で示すように、90cm×90cm 枠の中央にシャープ (株) 製の 7inch 液晶パネル IGZO (1920×1200pixel) を配置し、視力検査で使用されるランドルト環と同じ比率で外径 100mm 内径 60mm のリング状の図形を表示した。表示にはプログラミング言語 Processing Ver. 3.3.4 を使用し、この実験を含むすべての実験において面積階調法を使ったアンチエイリアス処理によって図形ならびに文字を表示した。液晶パネルの大きさと図形の大きさの比率が見て分からないようにするために、枠の前面全体を覆うように透明スモーク色の塩ビ板を被せた (以下、表示板という)。図形の白色部の輝度は 11.72cd/m²、黒色部の輝度は 0.44cd/m² であった。表示板の中央と被験者の視点の水平位置が合わせられるよう上下 2 枚昇降タイプ黒板に設置した。表示板から視距離 5m、10m、15m のそれぞれの場所にあご寄せ台を設置した。一方で、表示板に表示した図形の知覚的大きさを計測するために、DELL 社製ノート PC 15.6inch 液晶パネル (3840×2160pixel) を搭載した Precision 5510 プラチナモデルを使用した。ノート PC は被験者が表示板に表示された図形の知覚的大きさ

を評価する際の視線に対して右方向に 40 度、下方向に 30 度、被験者の視点からの視距離 50 cm の位置に液晶パネルの中央が視線に対して垂直になるよう設置した。ノート PC には表示板に示された図形と同じ比率の図形を表示し、被験者が自由に大きさを調整できるプログラムを搭載した。図形の白色部の輝度は 20.67cd/m²、黒色部の輝度は 0.63cd/m² であった。図 2 に視距離 5m での実験の様子を示す。

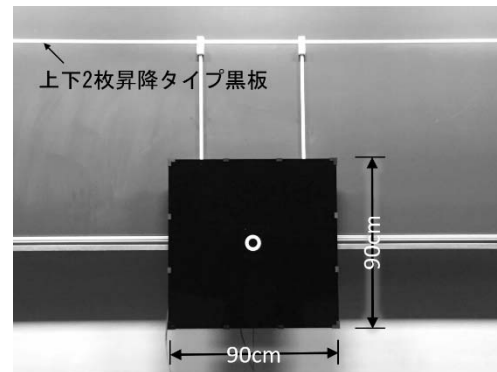


図1 表示板



図2 明室での実験の様子

被験者は実験の手順を験者から聞いた後、次の①から⑧の順番で実験に参加した。

- ① 被験者は遮光マスクを着用し、暗順応状態になるために 30 分間照度 0lx の別室で待機する。
- ② 験者は被験者を設置されたあご寄せ台まで誘導し教室を消灯する。
- ③ 被験者は遮光マスクをはずし、表示板に表示された図形の大きさと見かけの大きさが同じになるよう視距離 50 cm の位置に表示された図形の大きさを調整する。大きさ調整用のノート PC 画面での図形の初期値は、外径 10 mm からと外径 100 mm からの 2 種類とし、順序効果を考慮してランダムな初期値から 6 回調整し、その都度ノート PC に値を記録する。6 回の調整が終わった後に被験者は遮光マスクを着用する。
- ④ 験者は、別の位置に設置されたあご寄せ台に被験者を誘導し③から④を繰り返す。5m、10m、15m のあご寄せ台への誘導は順序効果を考慮しランダムとする。
- ⑤ 被験者は遮光マスクを外し、験者は教室

の照明を点灯する。

- ⑥ 験者は設置されたあご寄せ台まで被験者を誘導する。
 - ⑦ 表示板に表示された図形の大きさと見かけの大きさが同じになるよう視距離 50 cmの位置に表示された図形の大きさを調整する。大きさ調整用のノート PC 画面での図形の初期値は、外径 10 mmからと外径 100 mmからの 2 種類とし、順序効果を考慮してランダムな初期値から 6 回調整し、その都度ノート PC に値を記録する。
 - ⑧ 験者は、別の位置に設置されたあご寄せ台に被験者を誘導し⑦から⑧を繰り返す。5m, 10m, 15m のあご寄せ台への誘導は順序効果を考慮しランダムとする。
- 被験者は 20 歳～21 歳の男性 18 名と女性 2 名の合計 20 名で行った。

(2) 実験 2：視距離と視力の関係

実験は室内照明の消灯時に照度 0lx の完全暗室になり、室内照明の点灯時には平均照度 485lx になる教室を使用した。最初に、紙に印刷された (株) 半田屋商店製の視力表 (届出番号 13B2×00206000005) を用いて視距離 5m の位置から視力検査を行った (図 3)。次に、視距離による視力値を測定するために、実験 1 で使用した表示板に視力検査で使用されるランドルト環を 5m, 10m, 15m の視距離で視力検査が行えるようにプログラミングし表示した。黒地に白のランドルト環の白色部の輝度は 11.72cd/m^2 、黒色部の輝度は 0.44cd/m^2 であった。表示板の中央と被験者の視点の水平位置が合わせられるよう上下 2 枚昇降タイプ黒板に設置した。表示板から視距離 5m, 10m, 15m のそれぞれの場所にあご寄せ台を設置した。室内照度計測、輝度計測、視距離の計測ならびに被験者の視点とディスプレイの中心が水平であるかの確認は実験 1 で使用した計測機器を使用した。図 4 に視距離 15m での実験の様子を示す。

被験者は実験の手順を験者から聞いた後、次の①から⑨の順番で実験に参加した。

- ① 験者は紙に印刷された視力表から視距離 5m の位置に設置されたあご寄せ台に被験者を誘導し、視力検査を行う。
- ② 被験者は遮光マスクを着用し、暗順応状態になるために 30 分間照度 0lx の別室で待機する。
- ③ 験者は被検者を設置されたあご寄せ台まで誘導し教室を消灯する。
- ④ 被験者は遮光マスクをはずし、験者が被検者に対して視力検査を行う。視力検査終了後に遮光マスクを着用する。
- ⑤ 験者は、別の位置に設置されたあご寄せ台に被験者を誘導し④から⑤を繰り返す。5m, 10m, 15m のあご寄せ台への誘導は順序効果を考慮しランダムとする。
- ⑥ 験者は教室の照明を点灯し、被験者は遮光マスクを外す。

- ⑦ 験者は被検者を設置されたあご寄せ台まで誘導する。
 - ⑧ 験者が被検者に対して視力検査を行う。
 - ⑨ 験者は、別の位置に設置されたあご寄せ台に被験者を誘導し⑧から⑨を繰り返す。5m, 10m, 15m のあご寄せ台への誘導は順序効果を考慮しランダムとする。
- 被験者は 20 歳～21 歳の男性 18 名と女性 2 名の合計 20 名で行った。

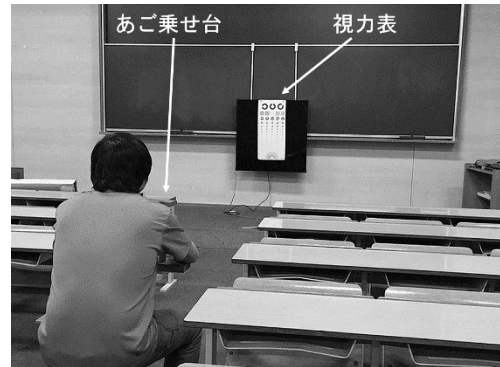


図3 視力表を用いた視力検査



図4 表示板による視力検査

(3) 実験 3: 表示解像度と視力ならびに可読性の関係

プロジェクターを使用した授業を想定し、照明を少し落とし平均照度 222lx になる教室を使用した。被験者の視力検査をするために実験 1 で使用した表示板に白地に黒のランドルト環を 5m, 10m, 15m の視距離で視力検査が行えるように表示した (図 5)。ランドルト環の白色部の輝度は 102cd/m^2 、黒色部の輝度は 1.74cd/m^2 であった。次に、スクリーンまでの視距離による視力値を測定するために、120 インチのスクリーンにパナソニック (株) 製プロジェクター EZ580J (標準レンズ) を使って 5m, 10m, 15m の視距離で視力検査が行えるようにランドルト環を表示した (図 6)。視距離 5m と 10m の位置では、被験者がスクリーンを見上げるようになるため、被験者の視点からスクリーンに表示されたランドルト環中央までの仰角を計測してランドルト環の形状が正円になり、隙間が正しく均一になるようプログラムによって補正した。白色部の輝度は 218cd/m^2 、黒色部の輝度は 53.29cd/m^2 であった。プロジェクターは解像

度 1920×1080pixel で使用した。スクリーンに表示された画面サイズを実測したところ 262.3cm×147.5cm であった。仰角とスクリーンサイズの計測には Leica 社製レーザー距離計 Leica DISTOTM S910 を使用した。さらに、文字の可読性を評価するために、誤認識されやすい字形として MS ゴシックの「輪」と「輪」を視標として用いた。輪と輪は並列して表示し並び順はランダムになるようにした。文字サイズ 1pt から 1pt 毎に拡大できるとともに、同じ文字サイズで文字の並びをランダムに表示できるようにプログラムした。図 7 に視距離 10m での実験の様子を示す。室内照度計測、輝度計測、視距離の計測ならびに被験者の視点とディスプレイの中心が水平であるかの確認は実験 1 で使用した計測機器を使用した。



図5 表示板を使った視力検査



図6 スクリーンを使った視力検査



図7 文字の可読性評価

被験者は実験の手順を験者から聞いた後、次の①から③順番で実験に参加した。

- ① 験者は被験者が表示板を正面に見るよう設置されたあご乗せ台まで誘導し、表示板を使用した視距離 5m, 10m, 15m での視力検査を行う。5m, 10m, 15m のあご乗せ台への誘導は順序効果を考慮しランダムとする。
 - ② 験者は被験者がスクリーンを正面に見るよう設置されたあご乗せ台まで被験者を誘導し、視距離 5m, 10m, 15m での視力検査を行う。5m, 10m, 15m のあご乗せ台への誘導は順序効果を考慮しランダムとする。
 - ③ 験者は被験者がスクリーンを正面に見るよう設置されたあご乗せ台まで被験者を誘導し、視距離 5m, 10m, 15m での文字の可読性評価を行う。験者は最初に 1pt で表示された文字を 1pt ずつ大きくする。被験者は輪と輪の区別がついたと判断した時点で験者に合図し並び順を回答する。験者は同じ文字サイズで輪と輪の並びをランダムに 6 回表示し、すべての回答が正しくなるまで、1pt ずつ文字を大きくする。験者は、すべての回答が正しくなった時点の pt を記録する。5m, 10m, 15m のあご乗せ台への誘導は順序効果を考慮しランダムとする。
- 被験者は 20 歳～22 歳の男性 17 名と女性 3 名の合計 20 名で行った。

4. 研究成果

(1) 錯視が知覚的大きさに与える影響

室内照明の有無ならびに視距離の違いによって知覚的大きさの平均値に違いが見られるかを検証するために、独立変数に室内照明の有無と視距離、従属変数を知覚的大きさとする対応のある 2 要因の分散分析を行った。分析ソフトはすべての分析において IBM SPSS Ver. 24 を使用した。室内照明の有無ならびに各視距離において 1 人の被験者につき 6 回ずつ測定した知覚的大きさの中で最小値と最大値を除く 4 回の平均値に相当するリングの面積を分析に使用した。分析の結果、室内照明の主効果は有意であった ($F(1, 19)=8.92, p<.01$)。視距離の主効果は有意であった ($F(2, 38)=28.16, p<.01$)。有意な交互作用は認められなかった ($F(2, 38)=0.96, n. s.$)。表 1 にリング外径の直径と標準偏差を示す。個人差によるばらつきは大きいものの明所では暗所と比較して図形が大きく知覚されている。ことから明所では奥行き手掛かりによる錯視 (大きさの恒常性) の発生が示唆された。

表1 知覚的大きさ

視距離	M(SD) 単位 : mm	
	暗所	明所
5m	40.2 (20.8)	42.5 (18.4)
10m	25.5 (16.3)	31.6 (19.0)
15m	18.3 (16.5)	23.2 (15.7)

(2) 視距離と視力の関係

実験1で示唆された錯視が、視距離と視力の関係に及ぼす影響を調べるために、暗所と明所で実験に使用する表示板が正しく視力を測定できるか検証した。紙に印刷された視力表を用いて視距離5mから視力検査を行い、暗所、明所で表示板を用いた視力検査を視距離5mの位置から行った。測定された視力値に対して対応のある1要因の分散分析を行った結果、有意な差は認められなかった ($F(2, 38)=2.83, n.s.$)。これによって、表示板が視力検査に使用できることが確認できた。測定した視力値の平均値と標準偏差を表2に示す。

次に、暗所と明所における視距離の違いによって視力検査の測定値に違いが見られるかを検証するために、独立変数に室内照明の有無と視距離、従属変数を視力値とする対応のある2要因の分散分析を行った。その結果、室内照明の主効果に有意な差はなかった ($F(1, 19)=0.46, n.s.$)。視距離の主効果に有意な差はなかった ($F(2, 38)=2.42, n.s.$)。これらの結果から、錯視は視距離による視力値に影響を及ぼさないことが確認された。測定した視力値の平均値と標準偏差を表3に示す。

表2 視距離5mでの視力値

M(SD) 単位: 小数視力			
	視力表	暗所	明所
視力値	1.41 (0.35)	1.42 (0.35)	1.42 (0.34)

表3 暗室と明室での視力値

M(SD) 単位: 小数視力		
視距離	暗所	明所
5m	1.42 (0.35)	1.42 (0.34)
10m	1.44 (0.35)	1.43 (0.35)
15m	1.42 (0.36)	1.42 (0.35)

(3) 表示解像度と視力ならびに可読性の関係

実験2によって正確に視力検査ができることを確認した表示板の解像度と解像度が違うスクリーンとでそれぞれに測定した視力値の平均の差を検定した。表示板の解像度は332.5pixel/inch、スクリーンは18.6pixel/inchであった。独立変数に表示板・スクリーンと視距離、従属変数を視力値とする対応のある2要因の分散分析を行った。分析の結果、表示板・スクリーンの主効果は有意であった ($F(1, 19)=6.04, p<.05$)。視距離の主効果は有意であった ($F(2, 38)=8.93, p<.01$)。有意な交互作用も認められた ($F(2, 38)=5.71, p<.01$)。単純主効果の検定の結果、表示板・スクリーンと視距離5m ($F(1, 19)=10.15, p<.01$)、スクリーンにおける5m, 10m, 15mの各視距離 ($F(2, 38)=8.44, p<.01$)の単純主効果が有意であった。スク

リーンにおける5m, 10m, 15mの各視距離に対してボンフェローニ法による多重比較を行ったところ、視距離5mの視力値は視距離10m, 15mよりも有意に視力値が下がっていることが明らかになった(表4)。視力値の低下は解像度によるものであり、視距離が短いほど解像度による影響が大きいことが分かる。一方で、低解像度なスクリーンに表示されたランドルト環は、少ない画素数で隙間が判別されていることも確認できた。

表4 表示板とスクリーンでの視力値

M(SD) 単位: 小数視力		
視距離	表示板	スクリーン
5m	1.35 (0.31)	1.18 (0.24)
10m	1.38 (0.29)	1.29 (0.34)
15m	1.36 (0.31)	1.34 (0.34)

スクリーンでの視力値と文字サイズの関係について検証するために、ピアソンの積率相関係数を算出したところ、視距離5m ($r=-0.66, p<.01$)、視距離10m ($r=-0.831, p<.01$)、視距離15m ($r=-0.815, p<.01$)で有意な負の相関が認められた。表5に視距離による視力値と文字サイズの平均と標準偏差を示す。さらに可読できた文字はランドルト環と比較して画素数が多く、文字を構成する線と線の間の隙間がランドルト環の隙間より大きいことも確認できた。

表5 視力値と文字サイズ

M(SD) 単位: 視力値は小数視力、文字サイズはpt		
視距離	視力値	文字サイズ
5m	1.18 (0.24)	40.3 (8.57)
10m	1.29 (0.34)	70.7 (17.88)
15m	1.34 (0.34)	99.4 (28.97)

スクリーンでの文字サイズとJIS S0032で提供されている最小可読文字サイズ推定方法によって算出した印刷用文字サイズとで比較を行った。独立変数にスクリーン・JIS S0032と視距離、従属変数を車偏の実寸値とする対応のある2要因の分散分析を行った。分析の結果、スクリーン・JIS S0032の主効果は有意であった ($F(1, 19)=99.09, p<.001$)。視距離の主効果は有意であった ($F(2, 38)=142.83, p<.001$)。有意な交互作用も認められた ($F(2, 38)=19.05, p<.01$)。単純主効果の検定の結果、スクリーン・JIS S0032と視距離5m ($F(1, 19)=77.35, p<.001$)、スクリーン・JIS S0032と視距離10m ($F(1, 19)=80.62, p<.001$)、スクリーン・JIS S0032と視距離15m ($F(1, 19)=66.06, p<.001$)、スクリーンにおける5m, 10m, 15mの各視距離 ($F(2, 38)=109.81, p<.001$)、JIS S0032における5m, 10m, 15mの各視距離 ($F(2, 38)=150.61, p<.001$)の単純主効果が

有意であった。スクリーンと JIS S0032 における 5m, 10m, 15m の各視距離に対してボンフェローニ法による多重比較を行ったところ、それぞれで視距離 5m, 10m, 15m の順に車偏の高さが有意に大きくなっていることが分かった。表 6 からスクリーンと JIS S0032 の車偏の高さに差があることが分かる。これにより、JIS S0032 ではスクリーンの文字サイズが推定できず、新たな推定式が必要であることが分かった。

表6 車偏の高さ

視距離	<i>M(SD)</i> 単位 : mm	
	スクリーン	JIS S0032
5m	19.90 (4.33)	13.38 (2.59)
10m	34.92 (9.07)	24.07 (6.45)
15m	49.12 (14.68)	34.10 (9.00)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 6 件)

- [1] 小谷章夫, 鈴木滉之, 山崎駿己, 岩井峻, 椎名翔, ” 視距離がある文字表示における可読性評価の基礎検討,” 第 13 回日本感性工学会春季大会予稿集, WF3-2 (2018 年 3 月)
- [2] 岩井峻, 椎名翔, 小谷章夫: “視距離による図形の知覚的大きさの評価,” 第 19 回日本感性工学会大会予稿集, pp. P47 (2017 年 9 月)
- [3] 椎名翔, 岩井峻, 小谷章夫: “視距離による図形の視認性評価,” 第 19 回日本感性工学会大会予稿集, pp. P49 (2017 年 9 月)
- [4] 鈴木滉之, 山崎駿己, 本間真菜美, 小谷章夫: “視距離による図形の視認性と知覚的大きさの評価,” 第 18 回日本感性工学会大会予稿集, pp. F31 (2016 年 9 月)
- [5] 山崎駿己, 鈴木滉之, 本間真菜美, 小谷章夫: “視距離による図形の視認性と知覚的大きさに対する照度の影響,” 第 18 回日本感性工学会大会予稿集, pp. F32 (2016 年 9 月)
- [6] 本間真菜美, 鈴木滉之, 山崎駿己, 小谷章夫: “文字の視認性における文字指標の一検討,” 第 18 回日本感性工学会大会予稿集, pp. F33 (2016 年 9 月)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小谷 章夫 (KOTANI AKIO)
湘南工科大学・工学部・教授
研究者番号 : 20567763

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

密山 幸男 (MITUYAMA YUKIO)
高知工科大学・システム工学群・准教授
研究者番号 : 80346189