

小画面ディスプレイに適した日本語フォントの可読性と判別性に関する研究

楊, 寧
九州大学大学院芸術工学府

須長, 正治
九州大学大学院芸術工学研究院

藤, 紀里子
九州大学大学院芸術工学研究院

伊原, 久裕
九州大学大学院芸術工学研究院

<https://hdl.handle.net/2324/7420554>

出版情報 : Bulletin of Japanese Society for the Science of Design. 66 (2), pp.19-28, 2019-09-30. Japanese Society for the Science of Design

バージョン :

権利関係 : Copyright © 2017 日本デザイン学会 All Rights Reserved.



小画面ディスプレイに適した日本語フォントの可読性と判別性に関する研究

Readability and Legibility Evaluations of Japanese Fonts for Small Screen Displays

● 楊寧

九州大学芸術工学研究院

YANG, Ning

Kyushu University Faculty of
Design

● 須長正治

九州大学芸術工学研究院

SUNAGA, Shoji

Kyushu University Faculty of
Design

● 藤紀里子

九州大学芸術工学研究院

TOH, Kiriko

Kyushu University Faculty of
Design

● 伊原久裕

九州大学芸術工学研究院

IHARA, Hisayasu

Kyushu University Faculty of
Design

● Key words : Readability Evaluation, Visual Attributes, Legibility Evaluation, Similar Character Pairs, Overlap

要旨

本研究では、小画面ディスプレイ、特に Apple Watch を想定し、その画面表示環境下にて、日本語フォントの可読性と判別性を測定した。さらに、フォントの形態属性および差分についても調査を行い、小画面表示に適した読みやすく見やすいフォントの属性を探った。可読性に関しては、短文、連続文（大）、連続文（小）の3つの提示条件ともに、濃度と字面面積の大きさから影響を受けていることがわかった。ただし、白背景か黒背景かによって、字面面積と濃度の直接影響の有無はまちまちであった。判別性に関しては、混同しやすい文字対を選定し、文字対を特定できる実験方法を用いて実験を行った。その結果、各フォントの特定の文字対の判別性を確認できた。また、差分分析を行った結果、ひらがなより、カタカナや英数字のような単純な文字対については、差分からの影響が明確であり、特定の文字対の字形の特徴も確認できた。

Summary

This study was designed to evaluate the readability and legibility of Japanese fonts used in small screen environments. An analysis of the correlation between the readability test results and visual attributes showed that stroke density and character area were significant factors that affected the readability test for all three display conditions: short sentences and consecutive sentences where the font size alternated between larger and smaller. However, whether these factors directly influenced the readability or not depended on the background color of the display. We conducted a legibility test using similar character pairs that could be specified. The results confirmed that discriminating between specific character pairs in each font was straightforward. The difference analysis clarified the effect of the difference between simple character pairs such as katakana and alphanumeric characters than on hiragana, and also confirmed the characteristics of the design of a specific character pair.

1. はじめに

現代では、スマートフォンやスマートウォッチなどの普及により、小画面ディスプレイに表示される画像や文字によって情報を得る機会が急増してきた。文字表示の観点からは、小画面表示の条件に適したフォントの読みやすさ、判別しやすさが極めて重要な要件となる。そのため、実際に、デバイスの表示特性に合わせたフォントが開発されている。しかし、小画面におけるフォントの機能性についての検証評価の基礎データはほとんどないのが現状である。

このようなことを踏まえ、本論文は、小画面表示に適した読みやすく見やすいフォントの属性を探ることを目的とし、特にスマートウォッチなどの小画面ディスプレイに焦点を当て、ゴシック系のフォントを対象に、文字表示の観点からフォントの可読性と判別性に関する実験と考察を行った。

具体的には、主にユニバーサルデザインフォント（以下「UDフォント」と表記）を対象とし、Apple Watch の画面表示の環境を想定した。実験1では、可読性の主観評価実験を行い、合わせてフォントの形態属性についても調査を行った。これらの相関性を考察することで、可読性に影響を与えているフォントの形態属性を検討した。実験2では、判別性を4者強制選択法により測定し、その結果と文字のデザインの差との間の相関を比較検討した。

2. 研究手法

本研究では、まず機能性を重視したUDフォントを扱う研究で用いられている可読性と判別性の実験を参考に、研究手法を検討した。

可読性については、筆者らは以前にUDフォントの可読性評価についての報告を行い、可読性を文字列としての単語・文章の読みやすさと定義し、一対比較法により主観評価実験を行った。さらに、実験結果とフォントの形態属性との間の相関性を探り、提案した可読性の測定および分析手法が有効であることを確認した [注1]。そこで、本研究においても、この手法を用いて、Apple Watch の表示環境でフォントの可読性評価実験を行い、フォントの形態属性を計測し、評価結果に与える形態属性を明らかにすることとした。

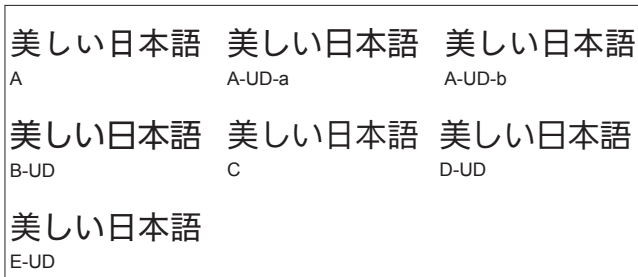


図1 実験用フォント

判別性については、従来のUDフォントを扱う先行研究では、個々の文字の判別しやすさ、見分けやすさなどと定義されている。その測定方法に関しては、中野らの研究では、正しく読める割合と反応時間によって評価されている [注2, 3]。また、袴田らの研究では、中野らの研究と同様に正しく読める正答率を求めた [注4]。筆者らは、以前に報告したUDフォントの研究では、判別性を他の文字と誤読しにくく、判別しやすいことと定義した [注5]。本研究においても、この定義を用いて、類似する2つの文字を並べて、4者強制選択法により測定し、その結果と文字のデザインの差との相関関係を探った。

可読性と判別性実験に共通して使用したサンプルフォントに関しては、5つのフォントメーカーの角ゴシック体の中からUDフォントと通常フォントを調査対象として選定した (図1)。A～Eまでの記号はそれぞれのメーカーを、末尾のUD表記はUDフォントを表している。以前に実施したUDフォントの可読性調査で、可読性に影響を与えているフォントの形態属性は、濃度 (黒み)、字面面積であることが分かっているため、今回の実験では、見た目の濃度を揃えることを方針として、実験フォントを選定した。その中、A社のフォントに関しては、非UDフォントAとUDフォントA-UD-a、そして字面面積を小さくしたフォントA-UD-bを刺激フォントとして選定した。また、小画面ディスプレイの表示特性に合わせて開発されたフォントCも今回の調査対象とした。

3. 実験I フォントの可読性の評価実験

3.1. 実験装置および実験条件

実験装置及び実験条件については、以下の通りであった。

- ・実験装置：Mac Proの制御によるiPad mini4 [注6]
- ・文字および背景色：黒 ($<0.35\text{cd/m}^2$)、白 (185cd/m^2)
- ・観察距離：0.3m
- ・観察条件：暗室

・実験参加者：九州大学芸術工学部の学部生および芸術工学府の大学院生、21名の男性と19名の女性から構成され、合計40名で、平均年齢は21.6 (最小=19, 最大=25, SD=1.58)であった。実験は九州大学芸術工学研究院の実験倫理委員会の承認を得て実施された。

3.2. 実験方法

実験刺激に関しては、Apple Watchの使用について検討したところ、メッセージなどの短文とメールなどの連続文が通常の使用場面であると考えられるため、今回の実験では、短文と

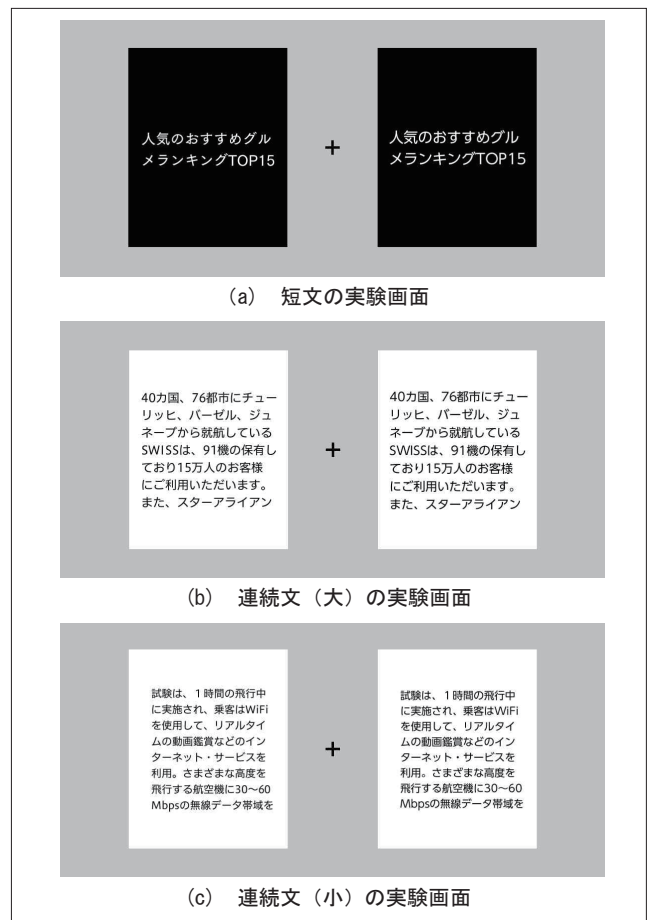


図2 可読性実験画面

連続文の表示画面を刺激とした。1フォントにつき、2行短文、7行連続文 (以下連続文 (大) と表記)、8行連続文 (以下連続文 (小) と表記) の3種類にした (図2)。

文字サイズの設定に関しては、Apple社のHuman Interface Guidelinesを参考にし、実際のApple Watchの6段階の表示サイズの中から、短文を大サイズに、連続文を中サイズと小サイズの3つの表示サイズに設定した。プログラム上では、それぞれ22pt, 18pt, 16ptとした。表示画面に関しては、Apple Watchの画面 (312x390pixel) を四角の枠で再現され、プログラム上では、320x400pixelのサイズに設定した。

背景色をそれぞれ黒と白の2色にして、実験画面に影響与えないように、白背景または黒背景の外側の色をグレーにした。短文と連続文それぞれの刺激文字の内容は漢字、仮名、英数字の文字種混合の文章内容で計10種類であった [注7]。

可読性の評価方法としては、サーストンの一対比較法を用いた。実験画面の表示位置については、事前に実施した予備実験から、縦配置より横配置のほうが比較しやすいといった内観報告が得られ、その報告を参考に横配置にした。

図2に示すように、2つの実験刺激が凝視点の左右に提示され、実験参加者は提示された刺激から、「どちらが読みやすいか」を相対評価した。フォントの組み合わせはランダムに表示された。全ての参加者には実験操作の練習が行われた。刺激は、実験参加者が応答するまで提示された。

表1 フォントの形態属性の計測結果

	字面面積 (仮名・漢字の平均)	濃度 (仮名・漢字の平均)	プロポーシ ョン (漢字)	フトコロ率 (漢字)	面積比 (ひらが な / 漢字)	面積比 (カタ カナ / 漢字)	面積比 (仮名 平均 / 漢字)	面積比 (英数 字 / 漢字)	プロポーシ ョン (英数字)	字面面積 (英数字)	フトコロ率 (ひらがな)
A	618484	199286	0.982	0.464	0.699	0.657	0.678	0.510	1.360	401531	0.050
A-UD-a	708195	221952	1.005	0.577	0.779	0.766	0.772	0.556	1.403	464502	0.074
A-UD-b	642780	209369	1.004	0.573	0.750	0.738	0.744	0.556	1.402	431027	0.070
B-UD	732327	245763	0.990	0.578	0.796	0.781	0.788	0.553	1.352	471462	0.078
C	691990	203182	1.018	0.528	0.807	0.774	0.790	0.494	1.316	397414	0.081
D-UD	718001	224699	0.995	0.597	0.797	0.768	0.783	0.539	1.481	452238	0.069
E-UD	712800	223539	0.995	0.514	0.824	0.808	0.816	0.479	1.485	389452	0.073

(表の中に示している字面面積、濃度は、UPM(Units Per EM)に基づく面積の値であり、最大は1000,000である。プロポーシ
ョン、フトコロ率、字面面積比は、それぞれの比率の値である。)

各文字サイズごとに、1背景色で、7フォントと10種類の文字刺激の組み合わせで、計210試行で実験を行った。全試行をランダムにしたことで、空間配置効果については、ないものとみなした。

背景色の提示順については、その影響を確かめるため、実験参加者を20名ずつ2つのグループに分け、1つのグループでは、黒背景から白背景の順番で、もう片方では、白背景から黒背景の順番で実験を行った。

3.3. 形態属性の計測

主観評価実験と平行して、字面面積、プロポーシ
ョン、フトコロ率など計量可能なフォントの形態属性を計測した。計測方法に関しては、以前に報告したUDフォントの評価に関する研究で述べている [注5]。

本実験では、選定したフォントの形態属性要素は以下の通りであった。ここでは、ひらがなとカタカナを総合して「仮名」と表記する。今回の可読性実験では、文字種混合の刺激を用いたことから、字面面積と濃度の計測において、ひらがな、カタカナと漢字の計測値の平均を採用した。

- ・仮名と漢字の平均字面面積、英数字の字面面積
- ・仮名と漢字の平均濃度 (黒み)
- ・プロポーシ
ョン (漢字)、プロポーシ
ョン (英数字)
- ・フトコロ率 (漢字)、フトコロ率 (ひらがな)
- ・面積比 (ひらがな / 漢字)、面積比 (カタカナ / 漢字)、面積比 (仮名平均 / 漢字)、面積比 (英数字 / 漢字)

漢字およびひらがなのフトコロ率を計測するにあたって、前述したUDフォントの美感性実験と同様な文字群を用いた。それ以外の属性を計測する際、実験刺激として用いた文字を計測対象とした。計測結果を表にまとめた (表1)。

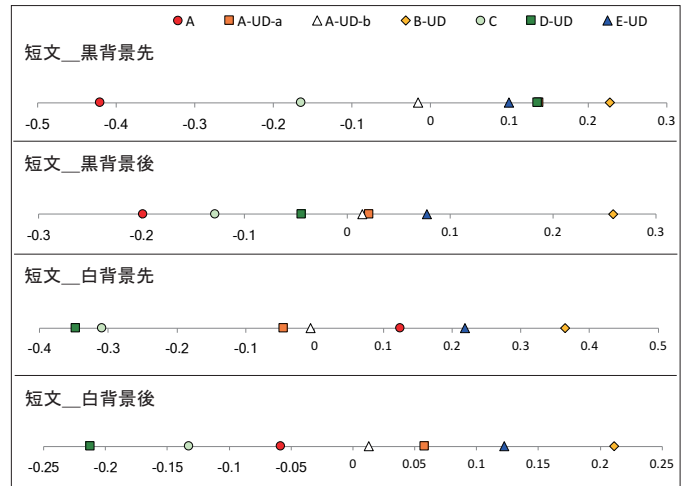
3.4. 分析の手続き

実験結果の集計および分析の手続きは、次の通りであった。

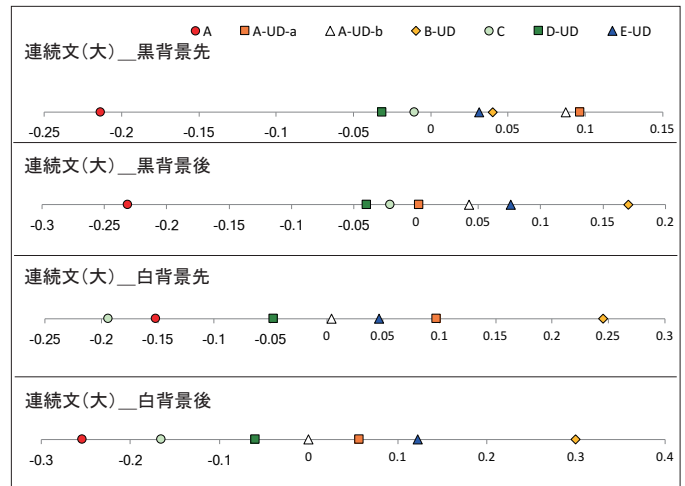
まず、可読性の評価実験から得られた実験結果を用いて、サーストン対比較法による選択数から比較フォント毎に勝率を算出し、それに基づいて心理尺度値を求めた。次いで、形態属性との相関関係の分析に用いる実験結果を絞るために、背景色の提示順番の間の相関関係、背景色間の相関関係について考察した。最後に、フォント形態属性の計測結果との間の相関検定を行い、主観評価実験の結果に影響を与える形態属性を抽出した。

3.5. 実験結果

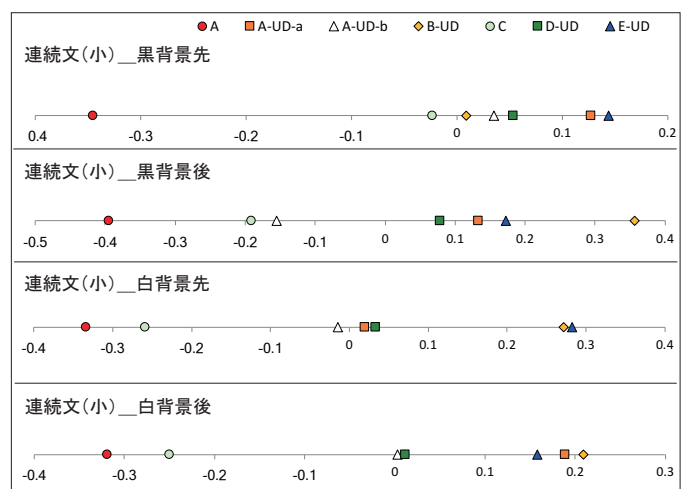
短文、連続文 (大)、連続文 (小) の可読性評価実験結果のサーストン尺度値を図3に示す。それぞれ上から黒背景先、黒背景後、白背景先、白背景後の順であり、横軸の右側に行くほ



(a) 短文の可読性評価結果



(b) 連続文 (大) の可読性評価結果



(c) 連続文 (小) の可読性評価結果

図3 可読性評価結果のサーストン尺度値

表2 背景色提示順番の相関分析結果

	黒背景先-黒背景後	白背景先-白背景後	黒背景合計-白背景合計
短文	0.841 *	0.901 **	0.445 n.s.
連続文(大)	0.820 *	0.956 **	0.804 *
連続文(小)	0.730 +	0.924 **	0.935 **

(** : p < 0.01, * : p < 0.05, + : p < 0.1, n.s. : p > 0.1)

ど可読性の評価が高かった。これらの評価結果を用いて、黒背景と白背景における背景色の提示順番の間の相関関係、背景色間の相関関係を分析した。分析の結果を表2にまとめた。相関係数行列を段階的に色分けし、白色のセルは相関係数が低く、濃い色のセルは相関係数が高かった。結果を見ると、背景色の提示順番については、短文、連続文(大)、連続文(小)の3表示サイズともに、黒背景と白背景のいずれの条件においても、先に提示した結果と後に提示した結果の間に明確な相関がみられ、背景色の提示順番に差はなかった。

背景色間の相関関係を分析したところ、短文に対する評価結果に、黒背景と白背景の条件に異なる評価傾向を示すことが認められた。連続文(大)と連続文(小)については、黒背景と白背景との間に明確な相関がみられ、背景色の差はなかった。

本研究では、フォントの可読性評価として、黒背景と白背景それぞれに背景色の提示順番別の合計結果を採用することとした。それらの実験結果のサーストン尺度値を図4に示す。上から短文、連続文(大)、連続文(小)の順である。

3.6. 可読性と高い相関を示すフォントの形態属性

フォントのどのような形態属性要素が可読性に影響を与えているかを明らかにするため、主観評価実験の結果およびフォント形態属性の計測結果を用いて、相関分析を行った。相関分析の結果を表3に示す。以下、考察を行う。

短文・連続文(大)・連続文(小)の黒背景と白背景の提示条件での可読性評価と高い相関性を示す形態属性を検討し、高い相関性を示す属性を用いて、それぞれのグラフを作成した(図5~7)。グレーの棒グラフが可読性評価の心理尺度値であり、値の大きさで並べ替え、左側ほど可読性の評価が高いことを示している。第2軸の線グラフが各フォントの属性の計測値を標準化した値であり、属性ごとに色違いで表示している。このグラフより、可読性実験結果の相関性を観察すると、以下の4つの全体的な特徴が見られた。

(1) 濃度の影響が全体的に強い。

概ね短文、連続文(大)、連続文(小)のいずれの提示条件においても、可読性の評価結果と濃度の度合いとの相関関係が認められた。各フォントの相関分析の結果から、視覚的に濃い(白背景では黒い、黒背景では白い)ほうが可読性の評価が高い傾向が認められた。この傾向は、特に黒背景の提示条件に顕著であった。

(2) 字面面積の影響が連続文(小)に強い。

連続文(小)の場合、黒背景と白背景いずれの条件においても、仮名と漢字の平均字面面積が大きいほうが読みやすいと評価されていた。また、仮名の平均面積が大きいほうが評価は高い。この点については、黒背景の提示条件における短文サイズの黒背景の場合でも確認された。

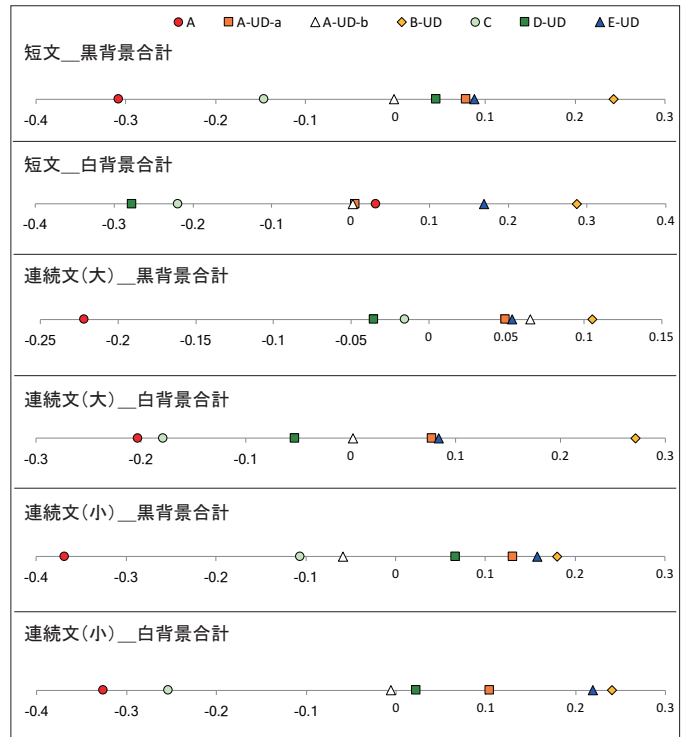


図4 可読性評価結果のサーストン尺度値(合計)

以前に実施した可読性の評価実験では、字面面積からの影響が見られず、漢字、英数字のプロポーショナルといった細部の特徴からの影響が認められた。その一方で、今回は、文字サイズが小さい場合の可読性評価は、フォントの形態属性のうち、微細なフォントの形状の差よりも、濃度と文字の大きさに最も影響を受けていた。

(3) 黒背景で表示する場合、フトコロの大きさの影響が強い。

短文、連続文(大)、連続文(小)3文字サイズとともに、黒背景の提示条件の場合、フトコロ率の影響が認められ、フトコロが大きいほうが読みやすいと評価されていた。特に、漢字のフトコロの大きさからの影響が顕著であった。

(4) 白背景の可読性評価

黒背景と比べ、白背景の提示条件には、字面面積や濃度といった属性から見られた影響が明確ではなかった。この傾向が、特に短文サイズの場合に顕著であった。連続文(大)のサイズにも、濃度からの影響のみ認められた。こういったことから、実験参加者は他の提示条件と異なる基準で白背景の読みやすさを評価していることを示唆している。

短文や、連続文(大)の提示条件では、文字サイズがより大きいこと、個々のフォントの違いが見分けやすく、全体的な字面面積や、濃度より文字の細部を評価した傾向があると推測される。

4. 実験 II フォントの判別性

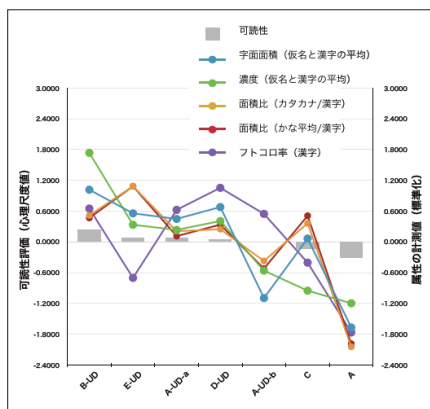
4.1. 実験装置および実験条件

実験装置および実験条件については、前述した可読性の実験と共通であった。ただし、実験対象となるフォントについては、

表3 可読性評価とフォントの形態属性との相関分析結果

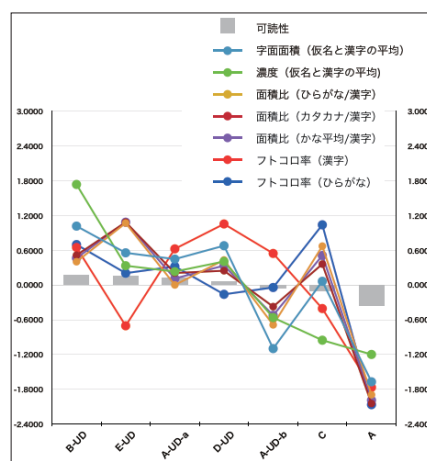
		字面積 (仮名と漢字の平均)	濃度 (仮名と漢字の平均)	プロポーショナル (漢字)	フトコロ率 (漢字)	面積比 (ひらがな / 漢字)	面積比 (カタカナ / 漢字)	面積比 (仮名平均 / 漢字)	面積比 (英数 / 漢字)	プロポーショナル (英数字)	字面積 (英数字)	フトコロ率 (ひらがな)
短文	黒背景合計	0.810 *	0.930 **	0.011 n.s.	0.743 +	0.651 n.s.	0.771 *	0.719 +	0.437 n.s.	0.356 n.s.	0.653 n.s.	0.643 n.s.
	白背景合計	0.108 n.s.	0.512 n.s.	-0.485 n.s.	-0.157 n.s.	-0.028 n.s.	0.099 n.s.	0.040 n.s.	0.082 n.s.	-0.061 n.s.	0.130 n.s.	-0.011 n.s.
連続文 (大)	黒背景合計	0.662 n.s.	0.675 +	0.402 n.s.	0.700 +	0.687 +	0.822 *	0.764 *	0.353 n.s.	0.169 n.s.	0.449 n.s.	0.833 *
	白背景合計	0.653 n.s.	0.918 **	-0.180 n.s.	0.548 n.s.	0.444 n.s.	0.590 n.s.	0.525 n.s.	0.446 n.s.	0.208 n.s.	0.623 n.s.	0.478 n.s.
連続文 (小)	黒背景合計	0.893 **	0.850 *	0.155 n.s.	0.699 +	0.799 *	0.891 **	0.854 *	0.262 n.s.	0.453 n.s.	0.525 n.s.	0.719 +
	白背景合計	0.732 +	0.882 **	-0.123 n.s.	0.584 n.s.	0.602 n.s.	0.735 +	0.677 +	0.306 n.s.	0.517 n.s.	0.509 n.s.	0.496 n.s.

(** : p < 0.01, * : p < 0.05, + : p < 0.1, n.s. : p > 0.1)

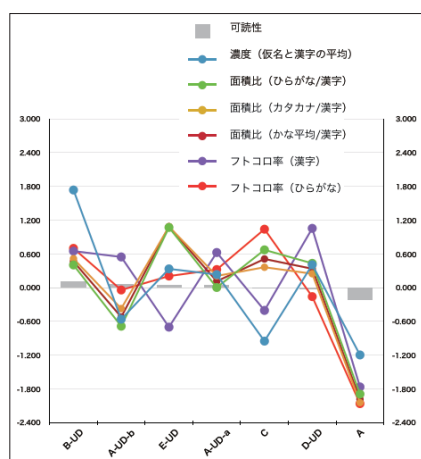


黒背景

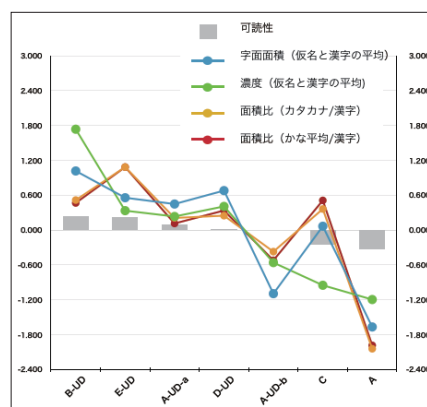
図5 短文の可読性とフォント形態属性との相関分析結果



(a) 黒背景

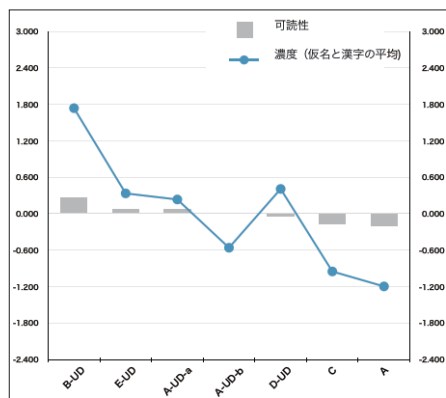


(a) 黒背景



(b) 白背景

図7 連続文(小)の可読性とフォント形態属性との相関分析結果



(b) 白背景

図6 連続文(大)の可読性とフォント形態属性との相関分析結果

A-UD-bはA-UD-aと同じ字形を持ちながら、字面をやや小さく調整したフォントであるため、実験対象から除外した。判別性実験の実験刺激に関しては、カタカナ、ひらがな、英数字の3文字種に合計20対の文字の組み合わせを刺激として使用した[注8]。文字サイズは、前述した可読性実験で使用した連続文(大)と連続文(小)のサイズに設定した。プログラム上ではそれぞれ18ptと16ptに設定した。

4.2 実験方法

評価方法としては、恒常法による4者強制選択法を用いた。まず、混同しやすいと思われる1対の文字が固視点の左右に提示され、提示時間を最短16.7msec、最長2.13secの提示時間の中から、10段階に設定した。次に、残像を消すため、200msecの提示時間でマスクがかけられた。最後に、4対の文

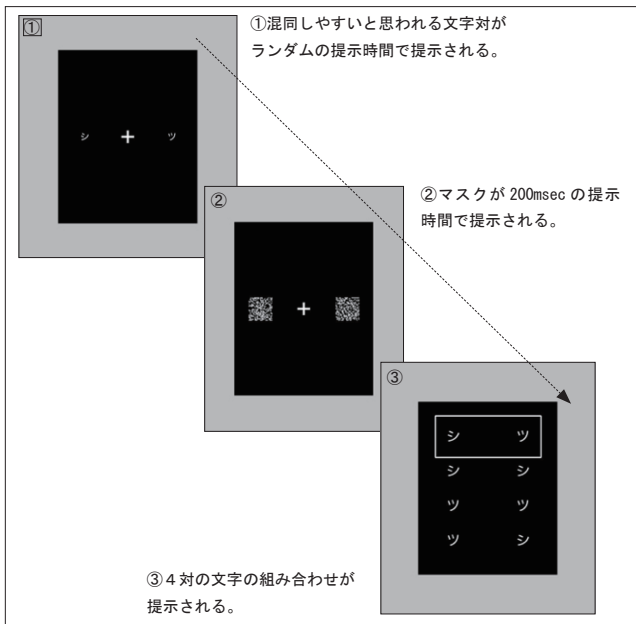


図8 判別性実験画面

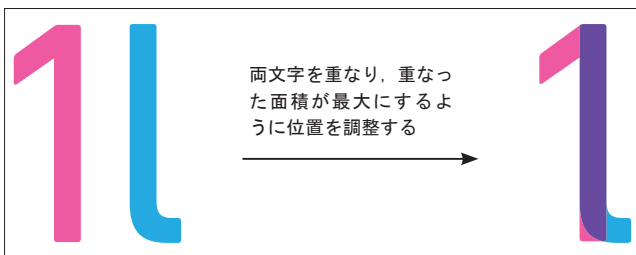


図9 差分の計測

字の組み合わせが提示された。実験参加者は提示された4対の文字から最初に提示された文字の対と思われる文字対を強制選択した(図8)。各文字対は各提示時間ごとに2回提示された。フォントの組み合わせおよび提示時間はランダムに決められた。全ての実験参加者には実験操作の練習が行われ、判断を決める作業は実験参加者が納得するまで継続され、時間的制約はなかった。

実験参加者は、可読性実験と同様に2グループに分けられた。実験参加者への負担が大きいことが判明したため、白地に黒文字、黒地に白文字の実験を2グループの実験参加者にそれぞれ割り当てた。

4.3. フォントの属性の計測

判別性実験結果に影響を与えているフォントの属性を検討するにあたって、類似した字形の2文字の形の違いの程度が判別性に最も影響するという仮説のもと、「め」と「ぬ」、「3」と「8」など、類似した字形の文字対を用いた。2文字の字形の違いが大きいほど、判別性の評価が高いと推測できるので、本研究では、各文字対の字形の違いを計量し、判別性の評価結果との間の相関検定を求めることとした。

表4 差分の計測結果

	うーら	わーれ	さーき	ほーぼ	めーぬ	ほーぼ
A	1.126	0.741	0.854	0.087	0.446	0.114
A-UD-a	0.981	0.707	0.841	0.111	0.483	0.131
B-UD	0.758	0.793	0.830	0.135	0.395	0.218
C	1.071	0.694	0.993	0.092	0.288	0.119
D-UD	0.974	0.666	0.958	0.118	0.433	0.106
E-UD	0.975	0.712	0.855	0.077	0.514	0.128

	スーヌ	デーチ	ゾーン	アーマ	コーユ	シート	ウーワ
A	0.681	0.366	0.952	0.686	0.351	1.038	0.386
A-UD-a	0.501	0.403	0.486	0.712	0.245	0.888	0.660
B-UD	0.381	0.446	0.480	0.687	0.505	0.773	0.594
C	0.398	0.549	0.624	0.755	0.287	0.921	0.821
D-UD	0.748	0.610	0.666	0.755	0.667	1.011	0.780
E-UD	0.643	0.479	0.567	0.781	0.416	0.944	0.600

	3-8	1-1	6-8	q-g	S-5	Q-0	o-c
A	0.259	0.221	0.445	0.829	0.563	0.138	0.255
A-UD-a	0.479	0.200	0.492	0.980	0.495	0.151	0.388
B-UD	0.395	0.328	0.465	0.925	0.448	0.139	0.349
C	0.323	0.322	0.507	0.447	0.721	0.124	0.211
D-UD	0.553	0.289	0.743	0.295	0.543	0.120	0.508
E-UD	0.436	0.327	0.742	0.773	0.326	0.122	0.423

(単位: 比率)

字形の違いを計測する方法として、差分分析が有効であると考えられた。ここでの差分とは、2つの文字像の数量的な差であり、本研究では、独自に開発したソフトウェアを用いて計測した。図9に示しているように、2文字を重ね、それらの重なった面積が最大になるように位置を調整し、こうして得られた文字像のうち、2文字の重ならなかった部分の描画面積を各文字の面積で割った数値の合計を差分とした。差分の計測結果を表にまとめた(表4)。

4.4. 分析の手続き

実験結果の集計および分析の手続きは、次の通りである。

まず、各文字対の各提示時間ごとに、各実験参加者から得られたそれぞれ計2回の回答の合計を集計し、正答率を求めた。

次いで、恒常法による正答率から文字対ごとの弁別閾を求めた。ここでは、「うーら」の黒背景、16pt文字サイズの条件で一部の実験結果を示す。各フォントの各提示時間における正答率を表5に、正答率と提示時間を心理測定関数とした場合のフィッティング結果を図10に示す。この曲線から、62.5%の正答率となるときを時間弁別閾として算出し、判別性実験の結果とした[注9]。

最後に、判別性実験結果と差分の計測結果との間の相関検定を行い、主観評価実験の結果に影響を与える形態属性を抽出した。

4.5. 実験結果

本研究では、フォントの判別性評価として、2つの背景色ごとに、2文字サイズそれぞれの実験結果を採用することとした。それらの実験結果のグラフの一部を図に示す(図11)。

横軸が判別時間の閾値となり、左側に行くほど判別できる時間が速く、判別性の評価が高かった。

4.6. 判別性に影響を与えているフォントの属性

差分の大きさが判別性に影響を与えているかどうかを明らかにするため、判別性の実験結果および差分の計測結果を用いて、相関分析を行った。相関分析の結果を表6に示す。

表5 判別性実験結果 (一部抜粋「うーらの黒背景16pt条件」)

log(duration)	log(duration)									
	0.00	0.30	0.48	0.60	0.78	0.90	1.20	1.51	1.81	2.11
フォント										
A	0.250	0.475	0.450	0.525	0.650	0.750	0.950	0.975	0.950	0.975
A-UD-a	0.300	0.375	0.425	0.575	0.875	0.750	0.925	1.000	0.975	0.975
B-UD	0.275	0.425	0.550	0.650	0.800	0.875	0.975	0.950	0.975	0.850
C	0.225	0.325	0.650	0.625	0.750	0.850	0.925	1.000	0.950	1.000
D-UD	0.350	0.300	0.475	0.750	0.750	0.825	0.825	1.000	0.950	0.975
E-UD	0.300	0.300	0.525	0.650	0.800	0.850	0.925	1.000	0.950	0.975

(単位: 正答率)

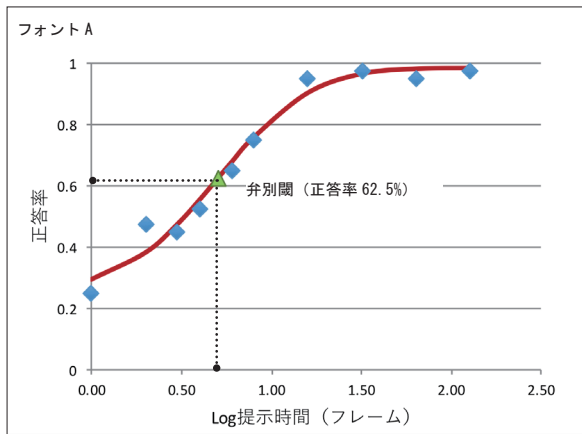


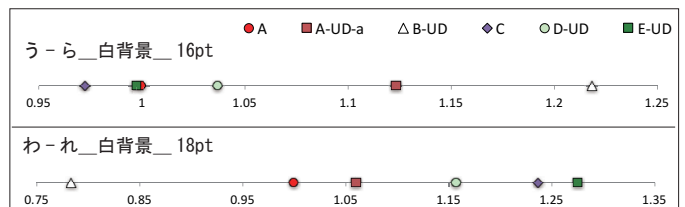
図10 正答率と提示時間による心理測定関数のフィッティング結果 (一部抜粋「うーらの黒背景16pt条件」)

表6 判別性と差分の相関分析結果

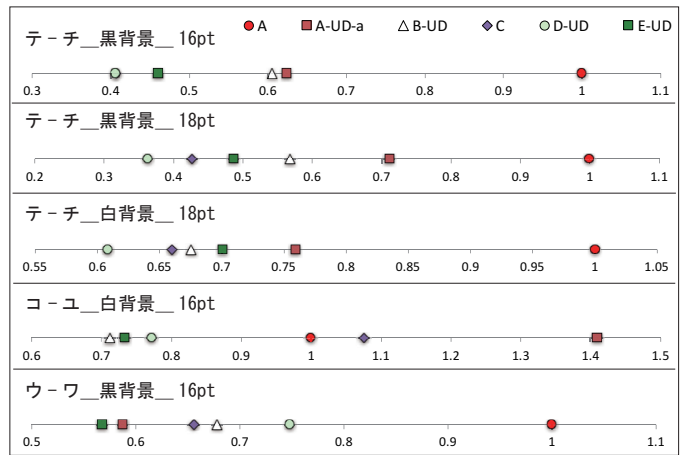
		黒背景		白背景	
		16pt	18pt	16pt	18pt
		ひらがな			
	うーら	0.650 n.s.	-0.552 n.s.	-0.864 *	0.047 n.s.
	わーれ	0.049 n.s.	0.683 n.s.	-0.592 n.s.	-0.830 *
	さーき	-0.278 n.s.	-0.211 n.s.	0.218 n.s.	-0.096 n.s.
	ほーぼ	-0.634 n.s.	-0.678 n.s.	-0.654 n.s.	-0.457 n.s.
	めーぬ	0.306 n.s.	0.710 n.s.	0.442 n.s.	0.050 n.s.
	ほーぼ	-0.545 n.s.	-0.325 n.s.	-0.209 n.s.	-0.280 n.s.
カタカナ					
	スーヌ	0.192 n.s.	0.559 n.s.	-0.134 n.s.	-0.557 n.s.
	テーチ	-0.842 *	-0.901 *	-0.589 n.s.	-0.811 +
	ソーン	-0.628 n.s.	-0.326 n.s.	-0.213 n.s.	0.240 n.s.
	アーマ	0.099 n.s.	0.103 n.s.	-0.649 n.s.	0.180 n.s.
	コーユ	-0.446 n.s.	-0.683 n.s.	-0.780 +	-0.606 n.s.
	シーツ	0.039 n.s.	0.544 n.s.	-0.462 n.s.	-0.261 n.s.
	ウーワ	-0.598 n.s.	-0.514 n.s.	-0.876 *	-0.410 n.s.
英数字					
	3-8	-0.981 **	-0.602 n.s.	-0.682 n.s.	-0.859 *
	1-1	-0.639 n.s.	-0.918 **	0.365 n.s.	-0.749 +
	6-8	-0.583 n.s.	-0.360 n.s.	-0.634 n.s.	-0.474 n.s.
	q-g	-0.966 **	-0.769 +	-0.864 *	-0.850 *
	S-5	-0.747 +	-0.768 +	-0.692 n.s.	-0.649 n.s.
	Q-O	-0.098 n.s.	0.047 n.s.	0.162 n.s.	-0.181 n.s.
	o-c	-0.858 *	-0.676 n.s.	-0.794 +	-0.732 +

(** : p < 0.01, * : p < 0.05, + : p < 0.1, n.s. : p > 0.1)

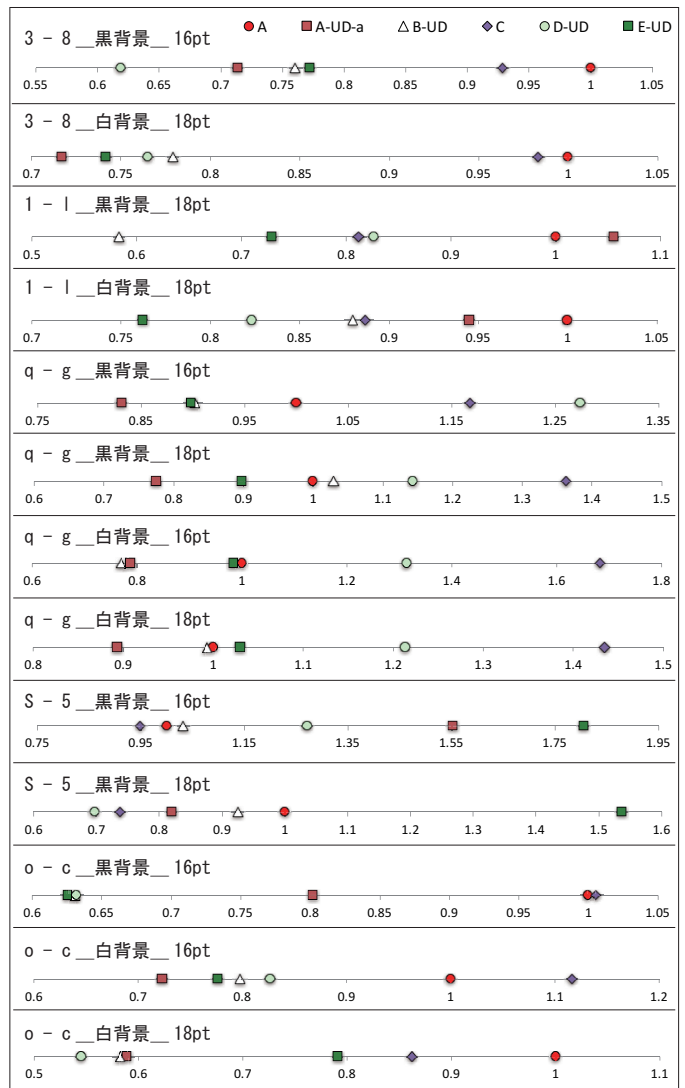
ひらがな・カタカナ・英数字の各文字対の判別性評価と高い相関性を示す文字対の差分を検討し、これらの文字対を図12に示す。それぞれ差分の大きさの順で並べ替え、左側に行くほど差分の値が大きい。



(a) ひらがなの判別性実験結果 (一部抜粋)



(b) カタカナの判別性実験結果 (一部抜粋)



(c) 英数字の判別性実験結果 (一部抜粋)

図11 判別性実験結果 (一部抜粋)

差分が大きい ← → 差分が小さい

うーら						
	A	C	A-UD-a	E-UD	D-UD	B-UD
わーれ						
	B-UD	A	E-UD	A-UD-a	C	D-UD

(a) ひらがな

テーチ						
	D-UD	C	E-UD	B-UD	A-UD-a	A
コージュ						
	D-UD	B-UD	E-UD	A	C	A-UD-a
ウーワ						
	C	D-UD	A-UD-a	E-UD	B-UD	A

(b) カタカナ

3-8						
	D-UD	A-UD-a	E-UD	B-UD	C	A
1-l						
	B-UD	E-UD	C	D-UD	A	A-UD-a
q-g						
	A-UD-a	B-UD	A	E-UD	C	D-UD
S-5						
	C	A	D-UD	A-UD-a	B-UD	E-UD
c-o						
	D-UD	E-UD	A-UD-a	B-UD	A	C

(c) 英数字

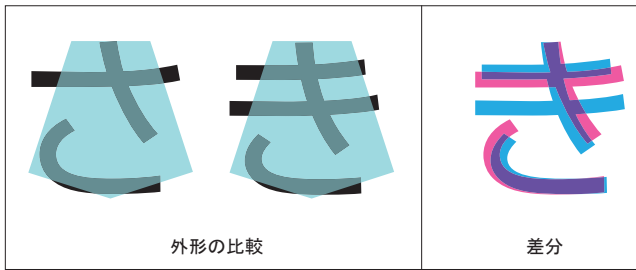
図 12 判別性と差分の相関関係が見られた文字対

(1) ひらがな

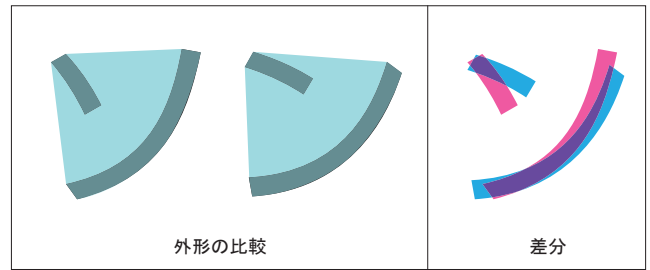
ひらがなの場合、「うーら」と「わーれ」の白背景の提示条件の判別性の実験結果では、差分との相関が確認できた。いず

れも負の相関であり、差分の値が大きいほうが、判別時間が短く、判別性の評価が高いと推測された。

図 11 に示す判別性の実験結果と図 12 に示す文字対の図を照



(a) ひらがな「さーき」



(b) カタカナ「ソーン」

図 13 文字対の外形と差分

らし合わせると、「うーら」に関しては、差分が大きいフォント A と C の判別性が高く、他方、差分の計測値が小さいフォント B-UD の判別性が低かった。これらのフォントを比較すると、「う」と「ら」の両文字の弧状構造の曲がり具合が判別性評価に影響していることがわかった。すなわち、この部分の曲率が大きいフォントの判別性は高いと言える。

「わーれ」について、フォント B-UD とフォント A の判別性が高く、差分の値も大きい。他のフォントと比較すると、B-UD と A の両文字は、それぞれの左側の縦線の左右に交わる斜線の位置と角度の差が大きく、また両文字の右側部分の高さの差も明確であった。これらの字形の特徴が「わーれ」の判別性に影響を与えていると考えられる。

(2) カタカナ

カタカナの場合では、「テーチ」の判別性が差分の大きさから強く影響を受けていることが認められた。また、白背景の提示条件で、「コーユ」と「ウーワ」の実験結果からも差分の影響が確認できた。

「テーチ」に関しては、差分が大きいフォント D-UD、フォント C、フォント E-UD が黒背景と白背景の提示条件ともに、判別性が高い。これらのフォントを他のと比較すると、「チ」の上払いの角度が判別性に影響を与えていると考えられ、角度が大きいほうが差分が大きくて、判別性が高い傾向が見られた。

「コーユ」の判別性について、「ユ」の縦線の角度からの影響があると考えられ、縦線が斜めのフォント D-UD、フォント B-UD、フォント E-UD が他のフォントと比べて、判別性が高いと言える。

「ウーワ」については、両文字の足のカーブの大きさの差が判別性に影響を与えていると考えられる。両文字の足のカーブの大きさの差がより大きいフォント E-UD、フォント A-UD-a、フォント C の判別性は高いと言える。

(3) 英数字

ひらがなとカタカナより、英数字の実験結果では、差分の影響が明確であった。特に、「q-g」と「o-c」の実験結果に顕著であった。

「3-8」の判別性は、「3」の開口部分の広さと関連していると考えられる。フォント D-UD、フォント A-UD-a、フォント E-UD の「3」の開口部分は他のフォントより広い。差分の計測値が大きく、判別性も高いと言える。

「1(数字)-1(小文字L)」については、「1(数字)」の

起筆の角度と「1(小文字L)」の終筆部の終わり方が判別性に影響を与えていると思われる。フォント A-UD-a とフォント A の2フォントは、他のフォントの「1(数字)」の起筆の形と異なっており、直線に近い形になっている。この2フォントの判別性が明らかに低かった。また、フォント B-UD、フォント E-UD、フォント C が「1(小文字L)」の終筆部に曲がりがつけられているため、他のフォントより判別性は高かった。

「q-g」に関しては、小文字 g には、「g」と「g」の2種類の字体が存在することから、差分の影響がかなり強い。「g」の字体を持つフォントの判別性は高かった。

「S-5」については、両文字の開口部分の広さが判別性に影響を与えていると考えられる。フォント C とフォント A のように、「S」と「5」の開口部分が狭いフォントの判別性は高かった。

「o-c」の判別性は、「c」の開口部分の広さと関連していると考えられる。開口部分が広いフォントの判別性は高かった。

全体をまとめると、ひらがなのような形状が複雑な文字種よりも、カタカナや英数字のような単純な形の文字種に対して、差分の大きさがフォントの字形の違いを反映する指標として有効であることが確認できた。この傾向は、特に英数字の場合に顕著であった。

他方で、ひらがなとカタカナの実験結果では、差分の大きさから判別性の実験結果を解釈できない文字対が見られた。特に、ひらがなの結果には、こういった文字対が多かった。実際の実験刺激を確認すると、例えば、図 13 のように、2文字の外形は類似しているが、形の違いは筆画の角度に表れていることから、差分の計測値は小さくなる。こういった文字対に対しては、差分と判別性との相関を求めることは困難であった。

5. おわりに

本研究では、各フォントメーカーのUD角ゴシックを中心に選定し、スマートウォッチなどの小画面ディスプレイの環境において、文字表示の観点から可読性と判別性についての考察を行い、小画面表示に適した読みやすく見やすいフォントの属性を探った。

その結果、可読性に関しては、短文、連続文(大)、連続文(小)いずれの条件においても、概ね、濃度と字面面積が可読性の評価に強く影響していることがわかった。特に、濃度の影響が顕著であった。そもそも今回の実験では、フォントの濃度を揃えた方針で実験フォントを選定したが、実際に組んだ際に、

見た目の濃度が異なっていたことになる。こういったことから、文字の見た目の濃度がフォントの読みやすさの印象変化に影響を与えている重要な属性であると考えられる。ただし、黒背景か、白背景かによって、字面面積と濃度の直接影響の有無はまちまちであった。特に、白背景で短文サイズの条件で提示する場合、フォントの可読性は、こういった属性からの影響が見られないことは興味深い。字面面積の大きさ、濃度よりも形によってフォントを評価する傾向があるのではないかと推測される。

判別性実験では、混同しやすい文字対を選定し、文字対を特定できる実験方法を用いて実験を行った。その結果、各フォントの特定の文字対の判別性を確認できた。ただし、一書体の中では、それぞれの文字対の判別性の実験結果に一致する傾向が見られなかったため、選定した文字対の判別性実験結果から一書体の全体の判別性を推測するのが困難であった。また、判別性実験結果の解釈にあたり、差分分析を行った結果、ひらがなよりも、カタカナや英数字のような単純な文字対に差分と判別性の関係が明確であり、特定の文字対の字形の特徴も確認できた。以上より、本実験で用いた判別性の評価方法が有効であると判明した。

判別性の実験では、文字の個別の形態に関連することから、よりよい書体のデザインを考える手がかりを得るために、複雑な字形の判別性実験結果に影響を与えるフォントの属性の解明に関しては、今後の課題として、改めて検証したい。

謝辞

本研究は、株式会社フォントワークスとの共同研究として実施され、同社から主に技術面での協力をいただきました。

注および参考文献

- 1) 楊寧, 須長正治, 他: ユニバーサルデザインフォントの可読性—ユニバーサルデザインフォントの評価に関する研究—2—, デザイン学研究, 65(4), 1-8, 2019
- 2) 中野泰志: モリサワフォント (UD 書体) の可視性・可読性に関する比較研究報告 https://www.morisawa.co.jp/fonts/udfont/data/UDFontResearchReport_1306.pdf (参照日 2018 年 9 月 10 日)
- 3) Nakano, Y., Yamamoto, R., et al., Development of a “universal design” font with blur tolerance (1): A comparison of the readability of Ming, Gothic, and “universal design” typefaces, Proceedings of the 3rd international Conference for Universal Design 2010 (2010)

- 4) 袴田博之, 大谷満, 他: ユニバーサルデザインフォント開発の取り組み, NEC 技報, 64, 45-49, 2011
- 5) 楊寧, 須長正治, 他: ユニバーサルデザインフォントの評価に関する研究—1—ユニバーサルデザインフォントの美感性に関する調査—, デザイン学研究, 65(1), 51-60, 2018
- 6) 今回の実験では、Apple Watchでの文字を使用することを想定しているため、その解像度と近い iPad mini4 を実験用デバイスとして選定した。両者の仕様は以下の通りである。Apple Watch Series2 42mm: ディスプレイは 1.65inch, 過解像度は 390x312pixels (~ 303ppi) である。iPad mini4: ディスプレイは 7.9inch, 解像度は 2048x1536pixels (~ 326ppi) である。
- 7) 短文と連続文それぞれ 10 種類の文字刺激を総合した各文字種の使用率は以下の通りである。短文 (英字: 20%, 数字: 13%, 漢字: 25%, ひらがな: 26%, カタカナ: 17%), 連続文 (英字: 5%, 数字: 8%, 漢字: 35%, ひらがな: 32%, カタカナ: 21%)。
- 8) 判別性実験使用した文字対は以下の通りである。ひらがな: う-ら, れ-わ, さ-き, ぼ-ほ, め-ぬ, ぼ-ほ。カタカナ: ス-ヌ, チ-テ, ソ-ン, マ-ア, コ-ユ, シ-ツ, ワ-ウ。英数字: 3-8, 1 (数字) - 1 (小文字 L), 6-8, g-q, 5-S, 0-Q, c-o。
- 9) 弁別閾とは、2つの物理量の異なる刺激を与える時に、刺激に対する感覚の違いが分からなくなる境目での刺激の物理量の違いのことである。ここでは、提示時間が異なる文字対を実験参加者に提示する時、分からなくなる境目での時間が、文字対の弁別閾となる。実験において、4者強制選択法を用いたことから完全に正解が分かる時には正答率は 100% に近くなる。一方、全く分からず適当に答えても、選択肢は 4 つであるから、4 分の 1 は正答できる。このような、正答率が 100% に近い時の刺激の提示時間と、25% に近い時の刺激の提示時間との間、つまり正答率が 62.5% の時の提示時間に閾値や弁別限が存在する。