

博士論文 (要約)

文字の空間周波数特性と読みやすさ

Spatial frequency properties and legibility of characters

大西まどか

Ohnishi, Madoka

東京女子大学大学院 人間科学研究科

A Dissertation Submitted to the Division of Human Sciences,
Graduate School of Tokyo Woman's Christian University,
for the Degree of Doctor of Philosophy

指導教員

Thesis Advisor

小田浩一

Oda, Koichi

2018年4月26日

April 26, 2018

1 序文

文字のデザインと読みやすさについて、これまでさまざまな研究者によって検討が重ねられてきた。しかし、文字デザインには、フォントのタイプや文字の大きさ、文字間、線幅といった複数の要素があり、ほとんどの研究は、それらの要素から特定のものをとりだして、読みやすさを比較するという手法で行われている。このような手法で行われた研究では、なぜその要素が、どのように読みやすさに影響を及ぼしたのかについての説明が限定的なものにとどまってしまう。しかしながら、デザイン要素を複数組み合わせると読みやすさへの影響を調べると結果が複雑なものとなり、解釈が難しくなるために、デザイン要素による読みやすさの違いを包括的に、一貫性のある理論で説明する、というような試みは、ほとんど行われてこなかった。

そこで、人間の視覚処理過程を考慮に入れて、文字のデザインと読みやすさの関係を検討できないかと考えた。視覚処理の中で、文字デザインの要素がどのような情報として扱われているのか、という観点から検討することで、一見全く異なるデザイン要素の間に、共通した情報が存在するのではないかと考えた。本論文では、文字認識のために重要であるとされる単一の物体空間周波数バンド(Critical Band)のコントラスト成分が、文字のデザイン要素と読みやすさの関係を説明すると予測した。文字を認識するために重要な情報があり、その情報(Critical Band成分量)が、複数の文字デザインと読みやすさの関係を説明するのではないかと考えた。

先行研究の知見を総括すれば、線幅が太いもの、輝度コントラストが高いもの、サンプル密度の高いものが読みやすい傾向にあることが示唆されている。線幅、輝度コントラスト、サンプル密度は、一見全く異なるデザイン要素に思われる。線幅には最適値がある可能性が示され、輝度コントラストは読書関数全体をシフトさせる現象を起こすことが報告されるなど、読みやすさへの影響も、デザイン要素ごとに異なっているようにみえる。本論文では、これらのデザイン要素による読みやすさの違いを、共通した物体空間周波数特性(Critical Band)と人間のコントラスト感度から、一貫して説明することを目的とした。

2 研究1 フォントのデザインと読みやすさ

仮想ボディに対してどのくらいの大きさを文字を配置するか(字面)、文字の線をどのくらいの太さにするか(線幅)ということは、フォントをデザインするにあたって不可欠なパラメータである。そこで、研究1では、字面と線幅が読みやすさに与える定量的な影響を検討した。定量的な評価をするためには、全く同じ基本デザインのフォントで、字面と線幅が組織

的に変化するようなフォントを使うことが望ましい。しかし、それは困難なため、字面と線幅をある程度広い範囲でカバーするよう、既存のフォントを選んで比較した。具体的には、古典的なスタイルで小さめにデザインされているオールド(Old)、大きめにデザインされた現代的なスタイルのモダン(Mod)、OldとModの間ぐらいの大きさとされるスタンダード(Std)、そして字面が最大化されているUDの4種類のスタイルについて、それぞれウェイトがLight, Regular, Boldの3種類の、合計12種類のゴシック体フォントを使用した。30文字の日本語文を刺激とし、12種類のフォントについて、文字サイズを変化させながら刺激を音読させるpcMNREAD-J(小田・西村, 2002)を用いた読書評価を行った。

実験の結果、スタイルおよび字面の大きさは読みやすさにあまり影響していなかった。対して、線幅は、特に閾値に対して大きな影響を及ぼしていた。線幅の影響は単調ではなかった。線幅およびCritical Band成分量とReading Acuityの関係を検討したところ、線の太さと文字の読みやすさには臨界値が存在する可能性が示唆された。

3 研究2 輝度コントラストと読みやすさ

背景と文字の輝度コントラストは、文字の読みやすさに大きく影響すると考えられている。研究2では、輝度コントラスト3.1~99%の日本語文節を用いて、文字サイズを変化させながら刺激を音読させた。文字サイズと読速度の関数(読書関数)を得たところ、読速度の最大値や傾きは輝度コントラストによって変化せず、読書関数の位置(Location of Reading Function)のみが変化した。輝度コントラストとLocation of Reading Functionの関係はlog-logプロットで線形となっていた。Location of Reading Functionの変化を、Critical Bandが処理される網膜空間周波数のコントラスト感度から予測しようと試みた。刺激の輝度コントラストから、そのコントラストを検出することができる最高の網膜空間周波数が算出できる。その網膜空間周波数でCritical Bandの情報を処理しているときの文字サイズ(予測LRF)から、実測されたLocation of Reading Functionがよく説明された。Critical Bandの成分が検出できるかどうかで、文字が読めるかどうかが決まっていた可能性が示唆された。

4 研究3 文字画像のサンプル密度と読みやすさ

研究3では、文字のサンプル密度(文字を形作るために使われる点の数)と読みやすさの関係について検討した。サンプル密度による文字の読みやすさの違いが、Critical Band成分

量から説明されるという仮説を立て、3つの実験で検証した。実験1がメインの実験で、文字画像のサンプル密度とコントラスト閾の関係を検討したものである。単一のローマ字(a,c,e,o,s)を刺激とし、6~48samples/letter-height(spl)の密度で表現された文字に対する、コントラスト閾を測定した。実験2では、文字同士の類似性の影響を排除した上で実験1と同様の手続きで実験を行って、密度と認識しやすさの関係を再検討した。また、実験3ではロービジョンの人に対して実験を実施して、確実に高周波数が解像できない状態でも結果が再現されるか、大きな文字でも結果が再現されるかについて検討した。

実験1~3より、文字のサンプル密度を上げると、コントラスト閾が下がり、読みやすくなることがわかった。しかし、サンプル密度が文字高あたり12サンプルを超えるとそれ以上コントラスト閾が下がることはなく、ほぼ横ばいとなった。このサンプル密度とコントラスト閾の関係は、文字同士の類似性をコントロールしても、参加者が高周波成分を解像できないと思われるロービジョンの人を対象に行っても、同様の傾向が再現された。この関係を空間的特性であるサンプル密度から説明することは難しいが、空間周波数的特性であるCritical Band成分量を使うと、単純な説明が可能であった。

5 研究4 文字のDuty比と読みやすさ

研究1で、線幅がReading Acuityに対して比較的大きな影響を持っていることがわかったが、線幅を単純に増加させていくと字形が崩れるので、限られた範囲でしか影響を検討できないという問題があった。そこで、研究4では、空間的特性である線幅ではなく、空間周波数特性であるDuty比を変数として、読みやすさへの影響を検討することにした。線幅の異なる文字の読みやすさを、Duty比やCritical Band成分量といった空間周波数的な変数から予測できると考えた。そこで、研究4では、単一のローマ字を刺激とし、Duty比0.1~0.89の文字刺激に対してコントラスト閾を測定した。比較のため、Duty比の異なる矩形波縞刺激についても同様の手続きでコントラスト閾を測定した。縞・文字どちらでも、Duty比0.5付近のものが最もコントラスト閾が低く、読みやすかった。また、Duty比0.5を境に読みやすさが折り返す傾向がみられた。Critical Band成分量と、Critical Band成分が処理される網膜空間周波数のサイン波縞刺激に対するコントラスト閾から、Duty比の異なる縞や文字におけるコントラスト閾を予測可能であった。

6 総合考察

総合考察では、それぞれのデザイン要素とCritical Band成分量の間関係を整理し、理論的

な背景について考察した。また、文字の読みやすさは、刺激のCritical Bandとその成分量、そして、Critical Bandが処理される網膜空間周波数のコントラスト感度によって決定できるのではないかという予測を、先行研究で提案されたコントラスト感度に関する理論を用いて、定量的に検証した。本論文の知見の適用範囲や応用の可能性についても論じた。

研究1～4ではそれぞれ異なるデザイン要素をとりあげ、読みやすさとの関係を検討した。研究1, 3, 4では、Critical Band成分量が多いものほどReading Acuityが小さく(研究1)、コントラスト閾が低くなり(研究3・4)、読みやすい傾向が得られた。研究1と研究3・4では、測定した読みやすさの指標は異なるが、Critical Band成分量が増えると読みやすくなるという傾向は一貫していた。研究1～4の結果から、線幅、輝度コントラスト、サンプル密度、Duty比という、異なるデザイン要素が読みやすさに与える影響を、Critical Band成分量という共通の変数から予測できる可能性が示された。文字の物体空間周波数特性(Critical Band)と人間のコントラスト感度という空間周波数側面から検討することで、これまで個々に議論されてきた、文字のデザイン要素と読みやすさの関係を、統一的に説明した。