

# 高齢者でも読める文字サイズはどのように決定できるか

## — 文字表示のアクセシブルデザイン技術とその標準化 —

佐川 賢\*、倉片 憲治

高齢者・障害者の不便さを解決する技術として、アクセシブルデザイン研究の概念と進め方および成果の普及方法について、視覚の研究を例にとり説明した。福祉用具とは異なる視点をもつアクセシブルデザインの特徴を、問題解決の方法、デザインの対象、公共性の点についてそれぞれ言及し、公共性の点からアクセシブルデザインにおける標準化の役割について説明した。次に、これらの研究の特徴を、特に高齢者に読みやすい文字サイズを推定する視覚的技術を例にとり、その研究の流れに沿って技術的内容を述べた。年齢を考慮した最小可読文字サイズ推定方法を開発するため、まず、年齢や視距離によって変化する視力の基盤データの収集からスタートし、実際の日本語に出てくる文字の可読性に関するデータの収集を行い、そこから一般性のある可読文字サイズ推定式を導き、その実用性を確認した。この推定技術は、さらに国内外における標準的技術へと進展させた。特に国際標準確立に必要な国際比較テストを行い、この研究成果の有用性を確かめた。最後に、これらの一連の研究を基礎技術とその展開という二つのサイクルに分けて説明することによって、アクセシブルデザイン技術体系の開発における本格研究の位置付けを明確にした。

**キーワード:** アクセシブルデザイン、視力、加齢変化、最少可読文字サイズ、標準化

## Estimation of legible font size for elderly people

### – Accessible design of characters in signs and displays and its standardization –

Ken SAGAWA\* and Kenji KURAKATA

Concept, methodology, and dissemination of outcomes for accessible design research are described in this paper, using vision research as an example. Characteristics of accessible design whose standpoint is different from that of assistive technology are explained in terms of methods for problem solving, objects of design, and public usefulness, and the role of standardization is emphasized from the point of public usefulness. As an example, the process of vision research for estimating minimum legible font size for elderly people is described. To develop a general estimation method for minimum legible font size, we collected fundamental data on visual acuity which changes with age and visual distance. Then, we compiled data on legibility of letters used in actual Japanese, derived a general estimating equation of legible font size, and confirmed the practical utility of the method. We have developed this method as a domestic and international standard. In addition, we have also applied this method to international comparative testing and have confirmed the validity of the results of this research. Finally, the entire process has been clarified by separating it into two procedural cycles: one for basic research, and the other for application, and the concept of “Full Research” has been addressed in the process.

**Keywords:** Accessible design, visual acuity, age-related change, minimum legible font size, standardization

### 1 はじめに

超高齢社会の急速な進展や障害者権利条約(国連)の採択<sup>[1]</sup>により、高齢者および障害者に対する配慮が社会全般に浸透してきた。高齢者・障害者の課題は、政治、経済、社会の極めて多くの分野に及ぶ。ここで、人間工学や心理学等の技術的視点から見ると、彼らが日常の生活行動で感じる不便さ(見づらさ、動きづらさ、分かりづらさ等々)の解明は他の分野に比べて遅れており、この技術分野の発展と普及は、人間そのものに係る問題であるだけに、急務と言えよう。

高齢者や障害者が有する不便さは、人間工学に関する

ものだけでもとても広範な分野にわたる。内閣府や共用品推進機構による調査結果<sup>[2]</sup>では、不便さに関わるさまざまな課題が指摘されている。これらは、(1) 身体サイズや動作に関する身体的課題、(2) 視覚や聴覚等の感覚的課題、(3) 注意や記憶等の認知的課題、に分類することができる。これらの各分野について、人間工学的概念とそれに基づく製品・環境等のデザイン手法によって、高齢者や障害者の抱えるさまざまな問題を解決していくことが望まれる<sup>[3]</sup>。そのうちの聴覚と報知音の問題に関する技術的視点とその背景となる高齢者・障害者配慮設計指針については、本誌ですでに報告した<sup>[4]</sup>。

産業技術総合研究所 ヒューマンライフテクノロジー研究部門 〒305-8566 つくば市東 1-1-1 中央第6  
Human Technology Research Institute, AIST Tsukuba Central 6, 1-1-1 Higashi, Tsukuba 305-8566, Japan \* E-mail: sagawa-k@aist.go.jp

Original manuscript received March 28, 2012, Revisions received July 9, 2012, Accepted July 10, 2012

この論文では高齢者の視覚的課題を取り上げ、その中でも年齢にともなう視力の衰え（加齢変化）と文字の読みにくさに焦点を当てて問題解決に向けて我々の取った考え方と方法論を述べる。文字の読みにくさは、日常生活における不便さ調査でも最も多く指摘されている課題の一つである。我々は、家電製品の説明書や注意書き、包装ラベル、製品タグ、案内パンフレット等々、安全や操作に関するさまざまな情報を主として文字から読み取る。高齢者やロービジョンと呼ばれる視覚障害者には、ここに多くの不便が存在する。これらの人々に対して、読みやすい文字を提供することは極めて重要であり、安全で快適な社会生活の基盤整備や向上に繋がるものと期待される。

この論文ではさらに、開発した文字設計手法やデータを広く社会に普及させるための手段として標準化をとりあげる。この研究において標準化は重要な位置付けにあり、その考え方と有用性、さらに標準化に必要な技術的視点や研究の特徴についても述べる。

## 2 問題解決への二つの手法

高齢者や障害者が有する問題にはさまざまな側面から取り組まねばならないが、人間工学的手法から見ると、その解決方法には以下の二つの考え方がある。

まず一つは、福祉用具からの考え方である。この考えでは加齢や障害によって衰えた機能、あるいは失われた機能を、特別な用具や機器を身体に装着・付加して補い、若年者や障害のない人と同様な機能を回復させるものである。すなわち、ここでは製品や環境、サービス等には何ら修正や変更を加えず、そのまま利用してもらうことになる。この手法は実際に“福祉用具”という研究領域で開発されているものであり、人間機能を人工的に向上させるというデザイン概念である。

これに対してもう一つの考え方では、製品や環境、サービス等を、衰えた機能や失われた機能のままでも利用できるように製品側のデザインを修正・変更する。すなわち、人間機能の衰えがあっても、特別な用具を用いずに利用できるようにする考え方である。この手法は“アクセシブルデザイン”という研究領域のもとに進められているものであり、この論文の基盤となるデザイン概念である。類似する概念に、ユニバーサルデザイン、バリアフリーデザイン、インクルーシブデザイン等がある。それぞれの間で具体的手法は異なるものの、福祉用具をあてがうのではなく、人間機能に合わせて製品等をデザインするという意味ではアクセシブルデザインと同じ概念である。

この二つのデザイン概念と解決方法を、文字の読みにくさという問題に適用してみよう。図1はその違いを示す概

念図である。

図の左側に示す福祉用具の考え方では、文字が読みにくい原因を人間の視力の低下と考え、この視力を技術的に向上させることを考える。具体的には、眼鏡や拡大鏡を開発することに該当する。適切な眼鏡や拡大鏡を開発することにより、例えば視力の衰えた高齢者でも、小さな薬瓶ラベルの文字を読むことができる。視力という人間機能を小さな文字に合わせる考え方である。この手法では、眼鏡は特定の個人に最もよく合うものとして開発され、他人には無用となる。すなわち、個人専用であり、想定された個人の身体に付加・装着することでその個人の問題を解決することが基本である。

一方、アクセシブルデザインの考え方では、文字の読みにくさの原因は文字サイズが小さすぎることにありと考える。したがって、文字を大きくする等、文字を適切にデザインする。ここではもちろん眼鏡等の使用は前提とせず、文字のデザインから問題を解決する。文字という製品側の要素を、低下した視力に合わせてという考え方である。製品側のデザインであるので個人対応ではなく、同じく視力の低下した多くの人々が読めるようにすることができる。ここでは、デザインをする前に、対象のグループや集団がどのような（低下した）機能・能力を有するグループか、その特性をあらかじめ把握しておくことが必要となる。この過程でグループの特徴抽出や標準化の重要性がクローズアップされてくる。

## 3 開発と普及のシナリオ

この論文では、視力の加齢変化を考慮した最小可読文

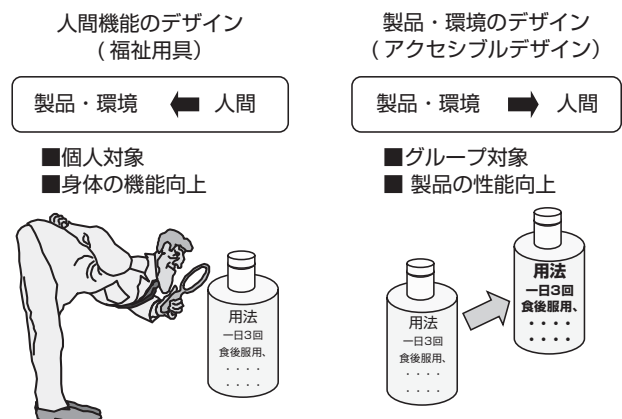


図1 アクセシブルデザインおよび福祉用具の基本概念と特徴  
可読性の問題を例として解決の方法を示す。左側は福祉用具の概念を示すもので、眼鏡のように個人対象のデザイン手法。右側がアクセシブルデザインの概念で、大きな文字サイズによる製品のデザインをすることにより、問題の解決を図る。

字サイズの推定方法を例にとり、我々が行ったアクセシブルデザイン技術の開発と標準化とおした技術の普及を述べる。前章で述べたように、アクセシブルデザインの考え方に基づいて問題を解決する場合、対象は個人ではなく集団が対象となる。印刷や表示された文字は、一度デザインされると多くの人が見ることになり、デザインの程度によって読める対象やその数が異なることは言うまでもない。そこで、この研究では高齢者という年齢層の人々を対象とし、より多くの高齢者が読みやすい文字を提供するための技術を検討した。すなわち、最大限多くの人々を対象とするアクセシブルデザインの基本概念をこの研究の基礎に据えた。個人から見ると必ずしも最適とは言えないケースが生じる懸念もあるが、より多くの人々を対象とすることによる公共性の拡大を重視した。

ここで、不特定多数を対象とすることから、アクセシブルデザインでは集団の特徴を抽出し、最適化するという視点が重要となる。あるデザインにより最大数のユーザーを得ようとするには、その集団の特性の分布や特徴を必ず把握しなければならない。この考えは、標準化という考え方に相通じる。標準はより多くの利便性、効率性、効果を期待して作成され、開発された標準の普及の度合いはまさにその適切さに依存する。アクセシブルデザインの概念も全く同じであり、高齢者や障害者という多くのユーザーが抱える問題を、彼らの特性に基づく技術開発によって解決する。開発されたデザイン手法は標準化という手段によって効率的に普及が図られる。具体的には、例えばエレベーターの点字表示等はその位置や記載方法等を定め、この情報を多くの視覚障害者が共有して初めて意味をもつ。障害者ほど、この共通性や一貫性が効率的な普及を促す要因となる。こうした点が、アクセシブルデザインが標準を必要とし、その概念や利点を最大限に利用する理由となる。

具体的な技術開発のシナリオを図2に示す。技術要素を観察条件と文字のデザインの条件に分け、前者は3つの重要な要因(サイズ係数、輝度、年齢)に統合し、後者はフォントタイプと文字種の主要因に統合して、これらの要因を用いて可読データの収集を行った。この結果は最小可読文字サイズの推定法の技術に集約され、最終的に読みやすい文字設計の国内規格開発という目標に繋げる。すなわち、この段階が構成と統合のプロセスである。さらにこの研究の最終目標として国際規格開発を掲げ、必要となる海外のデータを収集した。そのデータを踏まえて、最終的に最小可読文字サイズ設計の国際標準という目標を設定した。

この研究はこうしたアクセシブルデザインの概念と標準

化の考えに基づいたシナリオと研究開発によって実施された。

## 4 最小可読文字サイズの推定

### 4.1 基盤データの収集

この研究における技術開発のポイントは、高齢者を含む、より多くの人々を対象として、文字の可読性と視力の関係における一般的特性を把握することにある。視力は、人間の目が空間的に見分けられる最小のすき間を視角 $\theta$ (単位は分)で表し、その逆数( $1/\theta$ )で定義される。視力1.0は視角1分が見分けられることを示す。この視力の良し悪しによって読める文字サイズが変化することは容易に理解できるが、この間の定量的関係は未知であった。特に、年齢によって変化の様相や、高齢者の特定の年代における視力変化等は十分知られていなかった。これらの関係を多くのデータ収集を踏まえて統計的に導くことがこの研究の一つの課題であり、これによって年齢に応じた適切な文字サイズの設計方法を開発することができる。さらに、さまざまに変化する実生活の環境に適用するためには、この関係性は主要な環境変動要因を踏まえて、より一般的な条件について確立されなければならない。

視覚の基本特性から見ると、人間の視力はさまざまな観察条件において変化することが知られている<sup>[5]</sup>。この主たる要因として、(1)年齢、(2)視距離、(3)輝度レベル(文字背景の明るさ)の3つが挙げられ、これらの要因ごとに視力の変化を把握することが必要となる。前述した視力は距離に無関係に視角で定義されたが、目の調節能力は年齢とともに視距離に依存するので、年齢と視距離の

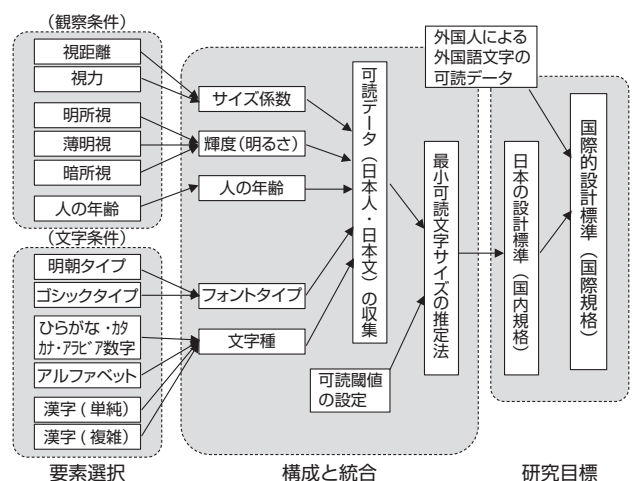


図2 この研究の技術開発のシナリオ  
可読性の視覚的問題を要素選択から主要因(サイズ係数、輝度、人の年齢、フォントタイプ、文字種)に統合し、それらを用いて可読データの収集を行い、可読文字サイズ推定法を導く。その技術を、研究目標である文字設計法の国内規格や国際規格として確立する。国際規格開発のためには外国語文字の可読データも海外において収集する。

要因は特に重要となる。それぞれの影響の概要はこれまでの先行研究で判明していたものの、これらの要因の相互関係は不明であり、文字判読に関する統合的研究が必要であった<sup>[6]</sup>。

人間の視力は、心理物理学的手法によって詳細に計測することが可能である。この研究では、歪みのないフラットな高解像度ディスプレイに、ランドルト環と呼ばれる切れ目のある円環視標をさまざまな大きさで提示し、その切れ目が認識できるか否かをモニターである被験者に判断させる。大きな視標であれば100%の正確さで認識できる。逆に、小さいと認識は0%となるが、実際には偶然の確率があるので0%とはならず、この点は一般的な心理物理学的測定法にしたがって確率的に補正を加える。こうした知覚確率曲線と呼ばれるデータから、ある基準(ここでは80%正答率)を設定して閾値を求め、これをその観測者のその観察条件における視力とする。

観測者は10歳代から70歳代までの111名であった。その内訳は10歳代11名、20歳代28名、30歳代11名、40歳代10名、50歳代10名、60歳代22名、70歳代19名であり、20歳代と60～70歳代の年齢層を多くとっている。この研究では60歳代以上を高齢者、20歳代を若年者として扱うが、一般にはさまざまな定義がある。高齢者は医学的に特別な眼疾患のない人に限定している。これら若年者から高齢者までの被験者は、実験に際してあらかじめ遠点(5 m)において最高の視力が得られるように補正した眼鏡を用いた。いわゆる遠点補正眼鏡による矯正視力である。被験者自身が保有している眼鏡は適性が不明であり、データの信頼性を得るために、この遠点補正は視力の計測条件を整え、基盤的データを収集する上では極めて重要である。

視距離は0.3、0.5、1、2、5 mの5段階を設定した。

高齢者は近点の視力が落ちると言われているが、人間の目の近点は一般的におよそ30 cm付近となるので、この点を最小の視距離測定点とした。一方、レンズの特性はディオプター(1/m)で記述される。そこで遠点の代表として視距離5 mを採用し、遠方の調節能力の特性をこの点で捕えることとした。これらの視距離の範囲(0.3～5 m)と測定点(5点)の設定により、高齢者の目の調節能力の全容が把握できると考えた。

輝度レベルは、人間の目の広範な順応領域を踏まえ、明所視<sup>明語1</sup>から薄明視<sup>明語2</sup>の広い範囲をカバーした。具体的には、0.05 cd/m<sup>2</sup>から1000 cd/m<sup>2</sup>の間を対数でおおよそ均等になる間隔で9点を選択した。

図3は、これらの測定結果の平均的な特性をまとめたものである。図3(a)は視力に及ぼす視距離の影響を示したものであり、図3(b)は輝度の影響である。図3(a)に見られるように、視距離の影響は40歳代から顕著に現れ、近距離になると視力が急激に低下していく。すなわち、高齢者に近点で文字を見せる場合は、文字サイズを大きくしなければならない。一方、輝度の影響についてみると、どの年代でも輝度が低下するにつれて視力も低下する様子が見られる。輝度の変化に対して視力が変化する様相は、全体的な視力のレベルに差はあるもののどの年代も同じであり、ここでは年齢効果は見られない。

環境要因による視力の変化は把握することができたが、このデータは文字サイズと直接関連してはいない。そこで、視力を計測した場合と同じ条件のもとに、日本語の文章で用いられる文字(以下、日本語文字と言う)がどのくらいのサイズまで読めるかを同様な環境において行った。この時、視力と同様に80%正答率をもって可読とした。この結果により、視力と文字サイズを直接結びつけることができる。

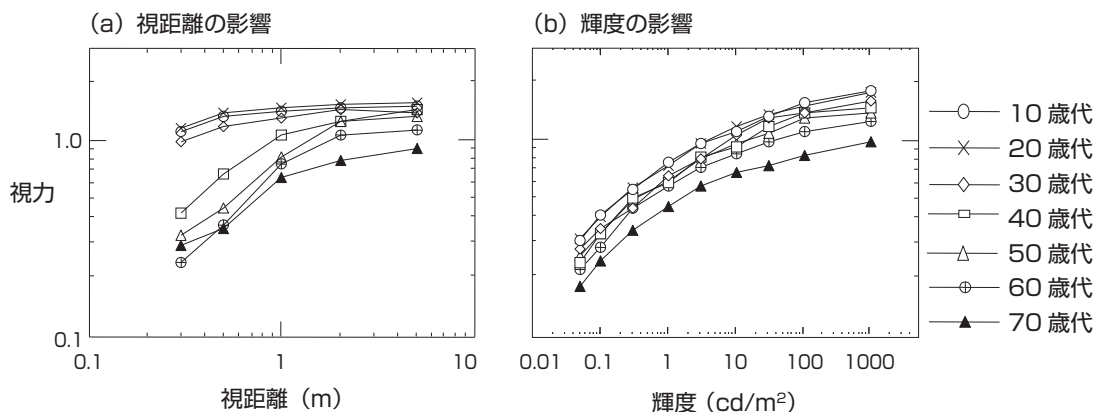


図3 視力に及ぼす視距離および輝度の影響

(a) 視距離の影響。輝度100 cd/m<sup>2</sup>に固定し、視距離を0.3～5 mの間で変化させたときの結果。(b) 輝度の影響。視距離5 mに固定し、輝度を0.05～1000 cd/m<sup>2</sup>の間で変化させたときの結果。(a)、(b)共に、10歳代から70歳代までの観測者計111名の年代別平均値。

図4は3種の文字(ひらがな/カタカナ/アラビア数字、漢字5～10画、漢字11～15画)の文字に対して、最小の可読サイズの平均値を示したものである。条件として、年齢2段階(20歳代、60～70歳代)、視距離2段階(0.5、2m)、輝度2段階(0.5、100 cd/m<sup>2</sup>)を組み合わせた計8条件を設定し、計測を行った。

若年者全48名の結果(平均値)では、最も条件の良い100 cd/m<sup>2</sup>、0.5 m 視距離、ひらがなに対する結果ではおよそ4ポイントのサイズの文字まで読めるが、高齢者では12ポイントとかなり大きくしなければならない。これは、先に示した視力の結果とも対応する。視距離が長くなると文字を大きくしなければならないのは幾何学的に当然であるが、暗くなると文字を大きくしなければならないことは、目の特性からくる要求である。

#### 4.2 推定式

図4の結果は限定的な条件に対するものであるが、一般条件に幅広く適用するためには、この結果を他の年齢、視距離、輝度レベルに拡張しなければならない。図4の結果をさらに分析すると、新たに“サイズ係数”という変数を導入することによって、全体の結果がサイズ係数を用いた簡単な式で表されることが明らかとなった。サイズ係数とは、(1)式に示すように、視距離を視力で割った値である。

$$S = D / V \quad (1)$$

ここでSはサイズ係数、Dはメートルで表した視距離、Vは視力である。

サイズ係数の値は、該当する視距離における目の分解能(実寸)に対応する。視力の定義は目が分解できる最小の角度θで定義されており、この定義では視力は距離に依

存しない。しかし、高齢者は目の調節能力に限界があり、特に短い視距離(およそ1m以下)では距離によって視力が大きく異なる。図3(a)に示した視距離と視力のデータから高齢者の距離ごとの視力を知ることができるが、視力そのものは角度の情報のみとなるので、文字サイズと直接結びつかない。そこで、(1)式によるサイズ係数を導入することにより、視距離に対応した実寸の分解能を知ることができ、文字サイズと関連付けることができると考えた。すなわち、最小可読文字サイズは実寸の分解能であるサイズ係数に比例すると考えた。なお、分解能を角度で表記する場合と実寸で記述する場合の変換( $\tan \theta = \theta$ )については、角度θは十分小さな値であり、その誤差はここでは無視できる。

図5は、導入したサイズ係数に対して実験で得られた最小可読文字サイズを表したものである。この結果を見ると、やや近似の程度の悪いところが見られるものの、全体として最小可読文字サイズはサイズ係数の関数で表現できることが分かる。そこで、最も簡単な式として、サイズ係数と最小可読文字サイズの間、次の一次式を当てはめることにした。

$$P = aS + b \quad (2)$$

ここで、Pは最小可読文字サイズ(単位:ポイント)、aおよびbは明朝体やゴシック体等のフォントタイプや漢字、ひらがな等の文字種によって異なる係数である。aおよびbの値は、図4の近似直線から表1のとおりである。

式(2)は定数bをもつ一次式であるが、サイズ係数が可読文字サイズに比例するという考えを踏まえると式(2)は原点を通るb=0の式となるのが理想である。しかし、図5のデータを見ると実際はサイズ係数の大きな領域では

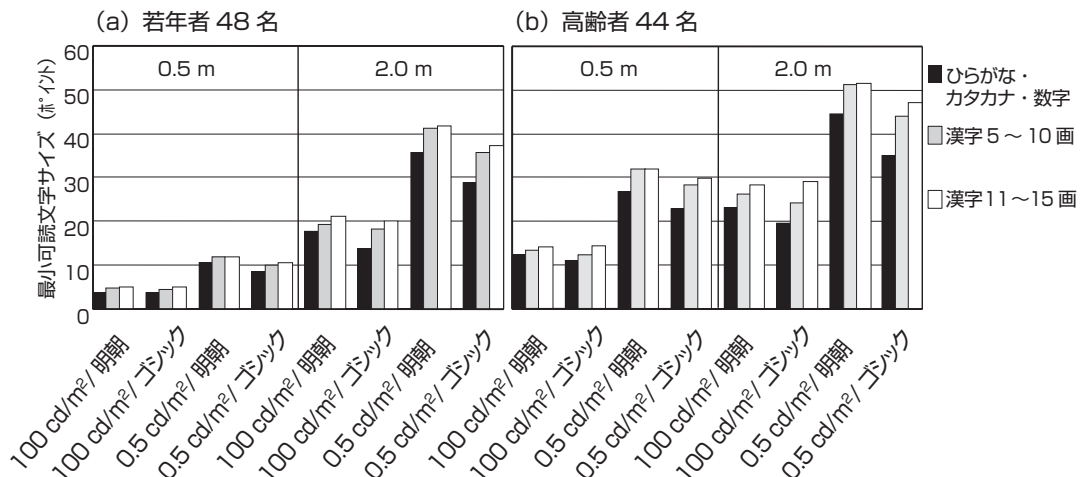


図4 日本語文字1文字を読む場合に必要のフォントサイズ

(a) 視距離0.5 m および2 m、輝度100 cd/m<sup>2</sup> および0.5 cd/m<sup>2</sup> の条件における日本語一文字(ひらがな・カタカナ・アラビア数字、漢字5～10画、漢字11～15画)を読む場合に必要の最小の文字サイズ。若年者48名の結果。(b) 同様の条件における高齢者44名の結果。

文字サイズがやや低くなる傾向にある。全体を適合させるには、原点を通る冪関数かまたは式(2)のように定数bをもつ一次式が良い。この研究では、最終的に標準化という応用面に結びつける必要があることから、高精度よりもむしろ一般的な使いやすさを重視し、冪関数よりも簡単な一次式を選択した。さらに、原点を通らない式(2)はあくまで目の調節可能範囲の距離(近点から無限遠)に適用するもので、視距離がゼロ近傍の限界点では、そもそも視力が定義できない。この領域は適用外である。したがって、視距離ゼロの点において式(2)は $P=b$ となり、あるサイズが読めるという矛盾した結果になるが、ここは適用外であり、必ずしも $P=0$ に収束する必要はないと考えた。

### 4.3 計算例

式(2)を適用して、最小可読文字サイズを求めてみる。例えば、70歳で視距離50 cm、100 cd/m<sup>2</sup>の明るさにおいて、ゴシック体、5～10画の漢字を読む場合を想定する。図3(a)より視距離50 cmでの70歳の視力(0.4)が分かり、視力からサイズ係数 $S$ [距離(m) / 視力 = 0.5/0.4 = 1.25]が求められる。表1中の対応する値を読んで以下のように計算すると、最小可読文字サイズ $P$ (ポイント)が推定できる。

$$P = 8.1 \times 1.25 + 3.4 = 13.5 \text{ (ポイント)}$$

同じ計算を明朝体で行うと14.8ポイントとなり、ゴシック体よりもサイズが大きくなる。すなわち、明朝体の方がゴシック体に比べて読みづらいことが分かる。また、明るさの条件が100 cd/m<sup>2</sup>より暗くなると図3(b)のとおり視力が落ちるためサイズ係数が大きくなり、最小可読文字サイズも大きくなる。

最小可読文字サイズは、文字の可読性判断の基盤とな

表1 日本語文字の最小可読文字サイズを求める計算式の係数

文字の種類		$a$	$b$
明朝体	ひらがな、カタカナ、アラビア数字	8.2	2.6
	漢字 5～10画	9.6	2.8
	漢字 11～15画	9.6	3.6
ゴシック体	ひらがな、カタカナ、アラビア数字	6.4	3.0
	漢字 5～10画	8.1	3.4
	漢字 11～15画	8.6	4.1

る尺度を提供するものである。年齢、視距離、輝度によって視力がさまざまに変化しても、それらの変数を統合して一つの尺度を導いたことの利便性は大きい。なお、最小可読文字サイズは確率80%で読める閾値付近のサイズであるので、このサイズではまだ“読みやすい”とは言えない。読みやすい文字サイズを求めるには、読みやすさ評価について研究を進め、新たに尺度を構成すると良い<sup>[7]</sup>。

## 5 標準化による技術の普及

前述したように、アクセシブルデザインは個人対応ではなく、より多くの人を含む集団を対象とする。集団の特徴を踏まえて技術を標準化し、社会全体に普及させることが重要である。この研究の研究成果である最小可読文字サイズの推定方法も、標準化をとおして、より多くの人に対して読みやすい文字サイズを提供できると期待される。

### 5.1 JIS(日本工業規格)の制定

この研究の基盤となるデータはまず日本語文字に対して

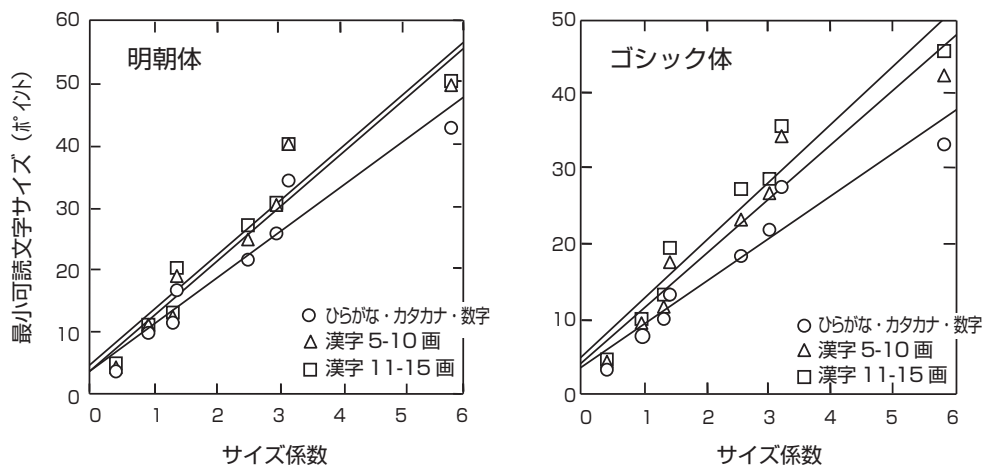


図5 サイズ係数と最小可読文字サイズの関係

(a) サイズ係数の関数として表した明朝体の3種の文字(ひらがな・カタカナ・アラビア数字、漢字5～10画、漢字11～15画)の最小可読文字サイズ。直線はそれぞれの文字種の結果に対する一次近似式。(b) 同じ測定条件で、ゴシック体の3種の文字に対する結果。

収集され、そのまま日本における標準化技術として確立された。一般に標準化にあたっては、適用範囲を明確にすることが重要である。最小可読文字サイズの推定技術に関しては、適用範囲として以下の項目を挙げた。

- (1) 日本語一文字の読みやすさを対象とする。
- (2) 最小の可読文字サイズを、年齢、視距離、輝度の3つの変数を考慮して表す。
- (3) 10歳代から70歳代のすべての年齢に適用できる。ただし、ロービジョン等の視覚障害者には適用しない。
- (4) 白地に黒文字等の高コントラストの文字を対象とする。

アクセシブルデザインの視点から見ると、この研究の技術は高齢者を含むおよそすべての年齢に適用できる。しかし、ロービジョンと呼ばれる視力の低下した人には適用できず、これについては別途検討が必要である。

現実の環境において文字を読む条件は複雑であるが、この研究ではそのうち主要な要因である年齢、視距離、輝度レベルを考慮している。もう一つの重要な要因であるコントラストについてはさらに検討が必要であるが、印刷文字等白地に黒の高コントラストの文字には、この研究の手法が適切に適用できる。例えば、電子式ディスプレイでは外光による写り込みによるコントラストの低下を生じることがあるので、この手法の適用には注意が必要である。

標準化において重要な他の視点は、眼鏡による視力の補正である。この実験では高齢者も若年者も遠点（5 m 視距離）で視力を補正して実験に参加したが、現実にはいわゆる老眼鏡では近点が見やすいように補正されている。この場合は、この研究によって推定した最小可読文字サイズよりも小さな文字も読むことができる。したがって、この研究成果は、老眼鏡や拡大鏡等を使わない最も見づらい条件における最小の文字サイズを推定したものである。

この研究の成果は、このような議論を経て、JIS S 0032「日本語文字の最小可読文字サイズ推定方法」として制定された<sup>18)</sup>。このJISの制定により、高齢者にも見やすい文字設計の尺度が確立されたと言える。すなわち、種々の環境要因（年齢、視距離、輝度）を考慮した、最小の可読文字サイズが決定できるようになった。このレベルを基準として、“最小可読”だけでなく、さらに上の段階として“読みやすい”レベルの文字サイズ等も決めることができる。

## 5.2 ISO（国際標準化機構）における標準化

この研究で開発した技術は、国内の標準としてだけでなく国際的にも普及させることができる。式(2)は目の基本特性を表すものであり、どの言語の文字においても成り立つと予想される。特に、数字やアルファベットは文字の構成が類似しており、目の特性が同じである限り、これらの

文字に対する判読性はどの国においても同じはずである。この点を確認するため、異なる言語や文字を有する外国語に対して、その可読性を比較検討した。

実験では、同じ台紙と印刷技術で作成した、高コントラストおよび高解像度の印刷による実験サンプルを韓国、中国、ドイツ、日本、タイ、米国のそれぞれの研究機関に配布し、その可読性を比較した。韓国はハングル文字、中国は漢字、タイはタイ文字、その他はアルファベットを用い、それぞれ明朝タイプとゴシックタイプを用いた。明朝タイプとゴシックタイプは serif font および sans-serif font としてどの文字にも共通で取り入れられている。一般的な違いは、文字を構成する線分の端にあるハネ飾りの有り、無しによって決まる。各国の被験者は、若年者および高齢者ともおよそ20名ずつである。国によって視力の分布や照明レベル等がやや異なるが、同じ実験環境で同時に測定した視力を用いれば、文字サイズの補正や式(2)の適用が可能である。

図6(a)、(b)は文字サイズに対する正答率データの一例で、(a)、(b)はそれぞれ明朝タイプ、ゴシックタイプの文字判読に対応する。照度等やや条件が異なり、また文字の種類も異なるので、例えば韓国やタイのデータはやや異なるが、各国の実験結果は全体的におよそ一致している。したがって、文字判読能力に関して基本的に大きな差はなく、式(2)による最小可読推定が妥当であると言える。

各国それぞれのデータと、式(2)の適用による推定フォントサイズと実測サイズを比較した結果が図6(c)である。式(2)の適用にあたっては、各国の実験条件における実測の視力と視距離が同時に計測されているので、サイズ係数が分かり、表1の係数から最小可読文字サイズが推定できる。ハングル文字、漢字、タイ文字に対しては表1の漢字11-15画の係数を、アルファベットに対してはひらがな等の係数を用いた。日本およびタイのデータがやや異なるものの、推定フォントサイズは全体的に実測値（80%判読率サイズ）とよく一致していることが分かる。ただし、まだ予測性は十分とは言えない。例えばハングルやタイ文字等では日本語文字とは字形が大きく異なるので、当然のことながら式(2)中の $a$ および $b$ の値も異なるはずである。これらの値を適切に定めれば、式(2)による推定はさらに改善できると思われる。

国際比較した実験結果に裏付けられた最小可読文字サイズの推定方式は、ISOにて国際標準化の審議が開始されている。国際的にはアルファベットが多く用いられているので、まずアルファベットや数字を対象として、式(2)の推定式および係数の値を確立するのが適切と思われる。さらに、漢字やアラビア数字、タイ文字や韓国（ハン

グル) 文字等についても、適切な定数を補足資料として提供することになる。ここにおいて、世界各国の文字を対象とする場合は、表1で漢字を2種に分けたように、文字の形態や構成等に関する視覚的複雑さによる類別技術も必要となる。これに関してはさらに研究を進める必要がある。

ISOにおけるアクセシブルデザインの標準化対象は文字だけではない。人間工学にかかわる広い分野、すなわち身体系、感覚系、認知系のそれぞれの分野について、産総研のヒューマンライフテクノロジー研究部門が中核となり、加齢や障害特性のデータに基づく製品・環境等のデザイン手法の開発と標準化を進めている。

アクセシブルデザインはISOにおいて新分野であり、既存の作業グループが存在しなかった。最も近い分野としてISO/TC159「人間工学」という技術委員会があり、そのTCの傘下にアクセシブルデザインの活動領域を作成した。図7はTC159の構成である。全体構成の中で塗りつぶしたワーキンググループ(WG)、すなわち、TC159直属のWG2、SC4傘下のWG10、SC5傘下のWG5、全体の調整をはかるAGAD、等はすべてアクセシブルデザインのために設立した作業グループである。こうした標準化の枠組みづくりも、研究成果普及のためには欠かせない活動

であった。アクセシブルデザインは理念が先行し、技術はまだ発展途上の部分も多い。この技術整備には人間特性データの収集等多くの時間と労力が必要であり、産業界のみでは難しい。特に高齢者や障害者の問題解決には具体的な人間工学の知識やデータの蓄積が必要である。アクセシブルデザイン研究は、基礎的な研究成果と標準化による普及活動が密接に連携をとって進められている。

## 6 まとめ：本格研究と標準化

図8はこの研究の全体の流れをまとめたものである。図の左下から時計回りに研究が進められ、いったん右下のゴールに至った後、再び新たな問題を解決するために次の研究サイクルに至る道筋が示されている。通常、新たなニーズや問題の把握から基礎データの収集および基礎技術の確立が第1サイクルで行われ、多くの場合、ここで学術論文としての公表が行われる。アクセシブルデザイン技術の場合もここまでは同じステップを踏むが、そのステージで終結すると社会への普及が難しい。なぜならば、対象者の限られた小規模な研究の結果では、高齢者や障害者を含む多くの人々に適用できるかどうか不明だからである。そこで、普及のための次の研究サイクルへと入る必要がある。

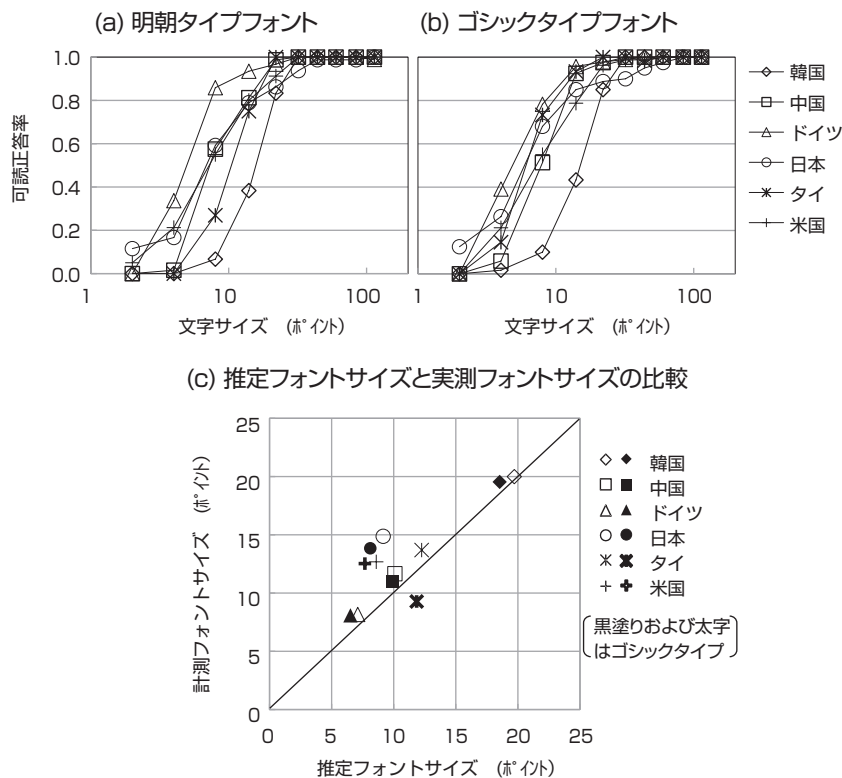


図6 韓国、中国、ドイツ、日本、タイ、米国の6カ国における最小可読文字サイズ  
 韓国はハングル文字、中国は漢字、タイはタイ文字、その他はアルファベット小文字。それぞれ明朝タイプの文字とゴシックタイプの文字を使用。  
 (a)、(b)は2～114ポイントの10種の文字サイズに対する1文字の判読率。データは各国の高齢者約20名の平均値。照度は300～500 lx。(c)は最小可読文字サイズ推定式による推定値と(a)、(b)から求めた実測値(80%正答率サイズ)との相関図。



第2のサイクルでは、前述したアクセシブルデザインの理念に基づき、高齢者や障害者の特性を把握するためのデータ収集が行われる。そのデータの分析や、実際の製品や環境への適用可能性の検討をとおして、技術の洗練化作業が行われる。最終的に確立された技術は国際標準として提案され、社会や産業界に送り出される。このようにして、第1サイクルにおける新しいニーズの把握から、新しいアクセシブルデザイン技術の開発と普及という全体のシナリオが完成することになる。なお、この技術では満たされない新しいニーズや問題が発生した場合には、再び

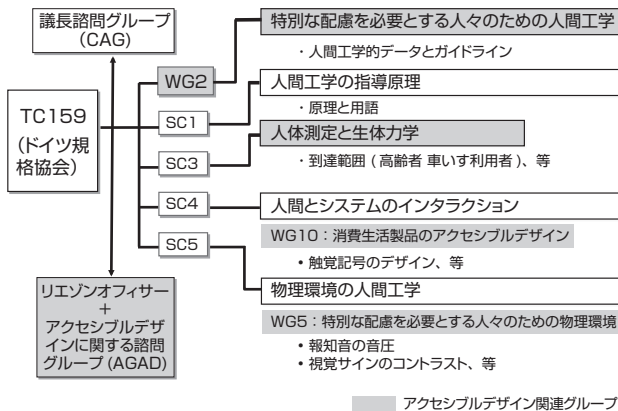


図7 TC159の構成図とアクセシブルデザインに関する作業グループ  
灰色に塗りつぶした部分 (AGAD, WG2, SC4/WG10, SC5/WG5) は、アクセシブルデザインの国際規格を作成するために新たに設立した作業グループである。これらのコンピナーおよび幹事は産総研の研究者が担当している。

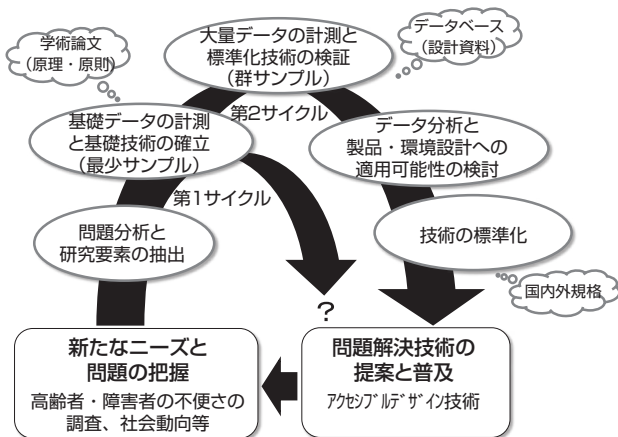


図8 この研究における問題点の把握から技術の標準化と普及までの流れ  
ニーズ把握から基礎データの計測と基礎技術の確立までが第1研究サイクルであり、その成果は学術論文等を通して公表される。そのステージからさらに大量データの計測と標準化技術の検証を行うのが第2サイクルであり、その過程でデータベースや国内外の規格が作成され、公表される。

この第2のサイクルを経て、新しい技術の開発と標準の見直しが行われる。

この論文で紹介した最小可読文字サイズの研究はまだ国際標準化の作業が進行中であるが、国内標準化の経験を踏まえ、この研究サイクルを経ることによって、広く社会に普及し、活用されていくはずである。

用語の説明

用語1: 明所視: 少なくともおよそ10 lx以上の照度レベル、または2~3 cd/m<sup>2</sup>以上の輝度レベルの明るい状態に順応した視覚。主として網膜の錐体細胞が働いている状態。

用語2: 薄明視: 明所視と暗所視 (およそ10<sup>-2</sup> lxの照度レベル以下、または10<sup>-3</sup> cd/m<sup>2</sup>以下) の中間の照度または輝度レベルの薄暗い状態に順応した視覚。網膜の錐体細胞と桿体細胞が働いている状態。

参考文献

- [1] 国際連合: Convention on the Rights of Persons with Disabilities, <http://www.un.org/disabilities/convention/conventionfull.shtml> (2006).
- [2] 共用品推進機構: 障害のある人、高齢者などの不便さ (2010).
- [3] 佐川 賢, 倉片憲治, 横井孝志: アクセシブルデザインと国際標準化, *横幹*, 5 (1), 24-29 (2011).
- [4] 倉片憲治, 佐川 賢: 高齢者に配慮したアクセシブルデザイン技術の開発と標準化-聴覚特性と生活環境音の計測に基づく製品設計手法の提供-, *Synthesiology*, 1(1), 15-23 (2008).
- [5] L.A. Riggs: *Visual Acuity, Vision and Visual Perception*, 321-349, John Wiley & Sons, New York (1965).
- [6] K. Sagawa, H. Ujike and T. Sasaki: Legibility of Japanese characters and sentences as a function of age, *Proceedings of the IEA 2003*, 7, 496-499 (2003).
- [7] K. Sagawa and N. Itoh: Legible font size of a Japanese single character for older people, *Proceedings of the IEA 2006*, CD-ROM (2006).
- [8] 日本工業標準調査会: JIS S0032 高齢者障害者配慮設計指針-視覚表示物-日本語文字の最小可読文字サイズ推定方法 (2003).

執筆者略歴

佐川 賢(さがわ けん)

東京工業大学大学院物理情報工学専攻修士課程卒業。工学博士。独立行政法人産業技術総合研究所を経て、現在、日本女子大学家政学部教授、独立行政法人産業技術総合研究所名誉リサーチチャー兼ヒューマンライフテクノロジー研究部門客員研究員。視覚工学、測光、測色、視環境評価に関する研究に従事。色彩環境の快適性評価、高齢者の視環境評価、アクセシブルデザイン技術等に関する開発研究、国内外の標準化活動等を行う。この論文では、主としてアクセシブルデザインの基本概念の構築、および文字可読性に関する実験を担当した。



倉片 憲治(くらかた けんじ)

1994年大阪大学大学院人間科学研究科博士課程修了、博士（人間科学）。現在、独立行政法人産業技術総合研究所ヒューマンライフテクノロジー研究部門アクセシブルデザイン研究グループ長。高齢者の聴覚特性および音を用いたユーザー・インタフェースの研究、聴覚・音響分野の国内および国際標準化活動に従事。この論文では、主としてアクセシブルデザインの基本概念の構築、および実験データの解析、さらに国際標準化を担当した。



## 査読者との議論

### 議論1 全体

コメント（小野 晃：産業技術総合研究所）

要素技術が明確に選択され、それらを統合しつつ、最小可読文字サイズを推定し、最終的に標準を構成していった優れた第2種基礎研究だと思えます。

3章で標準化が技術の普及に役立ったことが強調されています。しかしそれだけでなく、標準化を目標に設定してそれを常に意識したことが、要素技術の選択から構成・統合のプロセスに至るこの研究全体を適切に律していったように思えます。この点について、実際に研究を行った著者の立場からコメントをいただければと思います。

回答（佐川 賢、倉片 憲治）

ご指摘のように、この研究は立案から完結の段階まで標準化を意識して、その視点のもとに進めてきました。実際、この研究は産総研の「標準基盤研究制度」により実施されました。このグラントに応募すること自体が標準化を意識することになり、ゴールとして標準またはそれに類するものの作成が要求されることになりました。

研究の立案段階ではゴールが想定されますが、標準化をとおして解決すべき社会ニーズがそのゴールとなります。この研究の場合には高齢者のための読みやすい文字設計というニーズがあり、公共性や産業界で解決することの困難さ（時間や労力、費用対効果等）を考慮して標準を最終目標に設定し、それを常に意識して進めました。

### 議論2 可読率の設定値

質問（小野 晃）

可読率を80%に設定して最小可読文字サイズの標準化を行っていますが、80%を採用した理由は何でしょうか。80%以外の他の選択肢はなかったのでしょうか。

回答（佐川 賢、倉片 憲治）

通常、心理学の知覚確率曲線で閾値は50%に設定されますが、この設定では半数の人が読めて半数の人が読めないということになり、現実的にはかなり読みづらい文字サイズとなります。そこで、もう少し確率を上げたレベルで閾値を設定しました。一案として標準偏差（ $\sigma$ ）を採択しますと84.1%になりますが、特にどの%が良いという強い根拠はないので、区切りの良い数字として80%にしました。

なお、80%でも5回に1回は読めないことになり、読みづらいレベルですが、このレベルを基準にデザイナーが何倍かすることにより、共通の読みやすさの尺度化ができます。

その後の研究で、最小可読の文字サイズを1単位として、0.9以下は“非常に読みづらい”、0.9～1.2は“読みづらい”、1.2～1.7は“普通に読める”、1.7～2.2は“読みやすい”、2.2以上は“非常に読みやすい”という尺度を作成しています。次の研究発表や規格の改正では、この使い方も提案しようと考えております。

### 議論3 文字サイズとサイズ係数の関係式

コメント（赤松 幹之：産業技術総合研究所ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

実寸での分解能とは、文字として識別できるために必要な最小のストローク間の幅の実寸値ですから、それは文字サイズと線形な関係があると言えます。このように考えると、あてはめるべき最も単純な線形式は $P = aS$ という原点を通る直線です。しかし、おそらくこの直線をあてはめるとサイズ係数が大きいところでは当てはめが悪くなります。一方、図5のデータをみると、原点を通る冪関数だと当てはめが良くなると予測できます。精度を求めるとすれば冪関数が良いと分かっているながら、標準文書としてはy切片を含む一次式を用いたと想像します。

標準化のためには、あえて精度を落としてでも、誰でもが使えるものにするというのも、大事な考え方ですので、こういった考えが背景にあるのでしたら明記していただく方が読者に有益な情報になると思います。

回答（佐川 賢、倉片 憲治）

関数の当てはめの考え方や方法はいくつかありましたが、最終的には可能な限り簡便な式を採用しました。ご指摘のように、標準化における普及のあり方も重要な視点ととらえ、この結論に至りました。

細かく分析して場合ごとに分ければ、近似式をさらに精度良くあてはめられることは事実です。しかし、可読文字サイズデータのばらつきや原点を通る必要等を考え、精度のみを追求すると、現実とかけ離れた予測式となります。冪関数や一次関数（定数のあり、なし）等を検討しましたが、やはり結果として定数をもつ一次式が一番良いということになりました。標準化という応用面を常に意識しながら出した結論とご理解いただければ幸いです。

この考えを踏まえて、この論文を書き改めました。

### 議論4 文字のフォントタイプと視認性

質問（小野 晃）

この研究では文字のフォントとして明朝とゴシックを選んでいますが、どちらも正規の文字であり、デフォルメされたものではありません。一方高速道路の標識等に描かれている漢字は省略や簡略化等、相当デフォルメされています。デフォルメされた漢字の方が人間にとって視認性が良いということなのだと思いますが、そのこととこの研究の可読性とは何か関係があるのでしょうか。

回答（佐川 賢、倉片 憲治）

フォントタイプは現在数百種類もあり、読みやすさよりも審美性や目立ちやすさを狙ったものがたくさんあります。これらはSerif（明朝のように線分の端に“ハネ”のあるもの）とSans-Serif（ゴシックのように“ハネ”のないもの）に分類されます。SerifやSans-Serifにもさまざまな変形があります。この研究ではそれらの代表として、一般に利用頻度の高いMS明朝およびMSゴシックを用いました。

フォントの読みやすさは、空間周波数（縞の粗密）の成分とそれに対する目の感度特性で決まります。その意味で線の太さ等が大きく関係します。明朝は一般に細い線で高い空間周波数を含み、ゴシックは太い線で比較的低い空間周波数を含みます。その違いを明らかにする上では、代表的な明朝や代表的なゴシックで研究するのが有効と考えました。空間周波数成分と読みやすさの関係は一つの大きな基礎研究の領域であり、この研究ではあまり追及していませんが、その考え方や視点は踏まえて実験条件を整えました。

その結果、ゴシック（Sans-serif）が読みやすいということになりましたが、線の太さ等が読みやすさの主要な要因と考えられます。さらに、カタカナ、漢字[5-10画]、漢字[11-15画]となるにつれて最小可読文字サイズは大きくなりますので、読みづらくなることが示されています。一般に、デフォルメされると文字は単純な方へ変化しますので、標識等にはこの簡略文字が有効に使われていることと考えられます。

## 議論5 外国語文字と日本語文字の視認性

質問 (赤松 幹之)

図6に示されている各国の文字にこの方法を適用した結果ですが、日本語が最も視認性が悪い結果になっています。元々は日本語データを使って作られた方法を適用したにもかかわらず、日本語の結果が最も悪いのは何か理由があるのでしょうか？

また、外国の文字に適用する場合の課題として、日本語から得られた係数を適用することが挙げられていますが、その他に、例えば文字のポイント数の定義(文字高さの定義)の違い等、他言語に適用するときの課題があるのでしたら、追記してください。

回答 (佐川 賢、倉片 憲治)

日本語の結果が一番悪いこと自体に本質的な理由はありません。日本の結果は、最小可読文字サイズ推定式を導いた111名の実験とは別に、新たに行った(同条件、同サンプルの)国際比較のデータに適用したもので、式を導いたときと被験者や測定条件が異なります。ひらがなとアルファベットの違いかと思いましたが、ドイツ等では良く一致していますので、アルファベットに対する推定の問題ではないと思われる。

日本語文字から得られた係数の適用に関しては、今後の課題となります。それぞれの言語の文字について適切な係数を求めるのが理想ですが、現実的な方法として、文字の複雑さによってクラス分けし、各クラスの適切な係数を決めたいと思います。また、文字のポイント数の表し方は国際的に決められていますので、それを適用すること、その他の適用上の課題に関しては前述の複雑さのクラス分けが有効であること等を記述しておきたいと思えます。

## 議論6 標準化における規定事項

質問 (小野 晃)

この研究の成果としてJIS S 0032「日本語文字の最小可読文字サイズ推定方法」が制定されましたが、この規格はどういう項目をNormative(準拠すべき規範的)なものにし、どういった項目をInformative(参考にとどめる情報提供的)なものにしたのか、またそう決めた背景にある考え方に関してもご教示ください。

回答 (佐川 賢、倉片 憲治)

JIS S 0032は「手法」の標準化で、可読文字サイズそのものの値は標準化していません。すなわち、Normativeな事項は、最小可読文字サイズを求める方法[式(2)と表(1)]のみとなります。ここで求めた文字サイズをどのように活用するかは、この規格の使用者に任されています。Informativeな事項としては、附属書に最小可読文字サイズに基づく文章の読みやすさの評価方法等を盛り込んでおります。

## 議論7 技術の普及のための方策

質問 (赤松 幹之)

アクセシブルデザインの普及のために標準文書化が良いというのは分かりましたが、標準文書化がなされても、デザインをする人たちにそれを使ってもらわないとアクセシブルデザインが広まりません。標準文書を広く使ってもらうための取り組みをしているのであれば、ご紹介していただけませんか？

回答 (倉片 憲治、佐川 賢)

標準文書の普及が大事であることは、十分理解しております。当初、標準化すれば技術は普及するものと安易に考えていましたが、普及はそう簡単ではないことが良く分かってきました。

そこで、まずは「アクセシブルデザイン」というアイデアそのものを広く知ってもらうため、経済産業省や(財)共用品推進機構(アクセシブルデザインの推進母体)と連携して普及のためのパンフレットを作成したり、企業のデザイナーや技術者に向けたシンポジウムを定期

的に開催したりしてきました。

今後は、アクセシブルデザインを採用した製品であることを、カタログ等で消費者に対して分かりやすく表示する仕組みが必要ではないかと考えています。例えば、アクセシブルデザイン規格への適合性評価制度といった社会的な仕組みです。これによって、消費者が商品を選択しやすくなるのはもちろん、製造者側もアクセシブルデザインの効果を実感できるようになり、製品の普及に弾みがつくものと期待されます。

## 議論8 標準化の限界

質問 (赤松 幹之)

アクセシブルデザインの普及に標準化というシナリオを採用したのがこの論文の主張ですが、標準化という手法の限界についてのお考えを聞かせてください。

回答 (倉片 憲治、佐川 賢)

ご質問の範囲が広いので、いくつかの側面に焦点を当ててお答えします。

1) 分野については、先端的、革新的な研究で、Only one やNumber oneを狙う研究にはあまり向いていないと思われれます。ある程度成熟した技術で、もう1段階、応用面での展開(第2種基礎研究)が必要な領域が標準化に向いていると思います。一方、スピードを競う研究や新分野の開拓を狙う研究ではこれまでの標準化手続きでは限界があり、より戦略的な手法が必要と考えられます。

2) 技術を標準化することは、同時に多様性への対応に制限を設けることにつながりかねません。この論文で扱った文字の可読性も、ある年齢群の者について、限定された輝度と文字種の条件で読み取れる文字サイズを、いわば最大公約数的に推定したものです。個人の視覚特性をより詳しく求め、環境条件をより細かく特定すれば、その条件でその人が読める文字サイズをさらに精度良く推定することも技術的に可能です。このような精緻化や最適化よりも簡便化と一般化に力点を置いて技術の早期普及を優先させるのが、標準化研究の特長でもあり、限界でもあるかと思えます。

ただし、そのような簡便化と一般化を図る技術開発の裏には、この論文でも触れたように、膨大なデータの蓄積があります。一般的な条件だけでなく、個々の条件に応じてデザインの最適化を図りたいといったニーズに対しては、それらのデータも合わせて活用していただくのが効果的であると考えます。このような企業の技術者やデザイナーらのニーズに応えるために、著者らは産総研の研究情報公開データベース(RIO-DB)等とおして、標準化した技術の背景にあるデータを広く公開する取り組みを始めています。

3) 研究体制については、標準化を目指すための組織的な推進が必要と言えます。著者の一人(佐川)は国際照明委員会という国際組織で「光と照明」の分野の国際標準化に取り組んできましたが、当初は全くの一人であったため、研究の遂行、委員会活動、国際交流に限界を感じました。産総研になって、研究所内部に新たに工業標準部が組織され、標準基盤研究制度ができる等体制が整ってきました。それによって、標準化を目指した研究への賛同者も増えてグループでの研究もできるようになり、一気に進展しました。逆に、このような支援体制のないところで標準化研究を実施するには、かなりの困難があると思えます。

4) 3)に関連しますが、期間の短い研究プロジェクトで標準化まで実施するには限界があります。標準化には提案してから少なくとも3年はかかりますので(ISOの場合)、その前段の研究期間を含めると、理想的に進んでも全体で6~7年の時間がかかります。最近では3年程度のプロジェクトが主流になっていますので、それらをいくつかつないでいくことが要求されます。このつながりが途絶えてしまえば、標準化計画そのものが消えてしまいます。あまりに短期的なプロジェクトや新規のプロジェクトをつないでいく方法では、標準化研究は進められません。