

文字輪郭を用いた重心位置評価手法の一検討

小谷 章夫^{*1*} 朝井 宣美^{*1} 中村 安久^{*1} 大塚 正章^{*2}
密山 幸男^{*3} 尾上 孝雄^{*3}

^{*1}シャープ株式会社デジタル家電開発本部プラットフォーム開発センター

^{*2}シャープビジネスコンピュータソフトウェア株式会社

^{*3}大阪大学大学院情報科学研究科情報システム工学専攻

E-mail: ^{*1}{kotani.akio, asai.yoshimi, nakamura.yasuhisa}@sharp.co.jp, ^{*2}ootuka@sbc.nara.sharp.co.jp
^{*3}{kotani, mituyama, onoye}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし 近年、携帯電話などのモバイル端末が文字情報流通の主演となりつつあり、モバイル端末の小さな筐体に組込まれた低解像度表示デバイス上に限られたドット数で可読性の高い文字を表現することが求められている。そのためには個々の表示デバイスにあわせた専用フォントの開発が不可欠であるが、主観に頼らざるを得ないフォントの開発では、多大な工数がかかることが問題となっている。本研究では、フォントの読みやすさを決定する要因として最も重要な「文字重心」に注目し、文字輪郭を用いた重心位置評価手法を提案する。これにより、主観評価による文字重心位置を計算によって特定することができ、フォント開発工数の大幅な短縮が可能になる。

キーワード フォント、文字、可読性、重心、低解像度

Contour-Based Evaluation Method of Center of Gravity on “LCFONT[®]”

Akio KOTANI^{*1*}, Yoshimi ASAI^{*1}, Yasuhisa NAKAMURA^{*1}, Masaaki OTUKA^{*2},
Yukio MITUYAMA^{*3}, and Takao ONOYE^{*3}

^{*1} Platform Technology Development Center, SHARP Corporation

^{*2} SHARP BUSINESS COMPUTER SOFTWARE Corporation

^{*3} Department of Information Systems Engineering, Osaka University

E-mail: ^{*1}{kotani.akio, asai.yoshimi, nakamura.yasuhisa}@sharp.co.jp, ^{*2}ootuka@sbc.nara.sharp.co.jp
^{*3}{kotani, mituyama, onoye}@ist.osaka-u.ac.jp

Abstract Recently, Internet and e-mail access on mobile terminals such as cellular phones play a main role of textual information distribution. Therefore, it is very important to improve the readability of text on low resolution displays, which requires to design fonts for specific devices. However, since the readability of each character can only be evaluated by subjective methods, designing fonts for specific devices requires a long development period. In this paper, considering the center of gravity of characters, which makes a large impact to the readability, a contour-based evaluation method of center of gravity has been proposed. The proposed method can specify the location of center of gravity, which leads to faster time to market.

Key words Font, Character, Readability, Center of gravity, Low resolution

1. はじめに

モバイル端末に搭載するための低解像度表示デバイス向けフォントの開発にあたり、主に、生成速度、データ容量、品位（美しさ、可読性）について目標仕様を決定しておく必要がある。

このうち、生成速度とデータ容量は、それぞれフォントをディスプレイに出力するスピードとフ

ォントデータを記憶しておくためのROM容量を意味し、定量的な値を設定することができる。

一方、品位（美しさ、可読性）に関しては、明確な「ものさし」が存在しないために目標仕様があいまいになり、フォント開発を困難なものとしている。すなわち、デザイナーの感性に頼って手作業で文字を開発するため、それぞれの表示デバイス、表示文字サイズに対してフォント開発が必

要となり、膨大な開発工数が発生する。さらに、品位の評価はテスターの主観に依存するため、文字品質の統一が困難となり、またフォント開発のノウハウがブラックボックス化してしまうといった問題がある。

1人のデザイナーがフォント開発を行うとした場合、1文字あたり1時間必要であるとして、約3年半(1時間×日本語の標準文字セット約7000文字)という時間がかかることになる。また、文字品質の評価では、個人的な感性のバラツキを極力無くすために複数のテスターを必要とし、さまざまな文字の組合せを考慮した大量のサンプルを用いて評価するために膨大な工数がかかる。

以上のことから、品位の定量化がフォント開発における重要な課題となっている。特に、品位の中でも「美しさ」に関しては個人の審美的要素や好みが影響するため、定量化することが困難である。しかしながら、「可読性」に関しては審美性や嗜好性といった要素が少ないため、定量化することが可能であると考えられる。

そこで本文では、「可読性」を決定する最も大きな要因の1つである文字重心[1][2]に注目し、その位置評価手法について検討を行う。

文字重心位置の評価手法を確立することにより、フォント開発において以下の効果が得られる。

- 1) 主観に頼っていた文字重心評価が数値でおこなえるために、品質のバラツキが少なくなる。
- 2) コンピュータを使った文字重心位置評価の自動化により、フォント開発のコストおよび工数を大幅に削減することができる。
- 3) 文字重心計算アルゴリズムを文字開発ツールに組み込むことにより、リアルタイムに文字重心を把握することができる。
- 4) 読みやすいとされているフォントの文字重心位置分析をおこなうことにより、フォント開発のノウハウを定量化することができる。

2. 文字重心

2.1 文字重心と可読性

文字を縦組みにした時に文字の左右方向への主観的なバラツキを示す尺度が文字中心である(図1(a))。これに対して文字重心とは、文字の上下方

向への主観的なバラツキを示す尺度である(図1(b))。

本研究では、モバイル端末に表示されるコンテンツのほとんどが横組みであるため、文字重心に注目する。

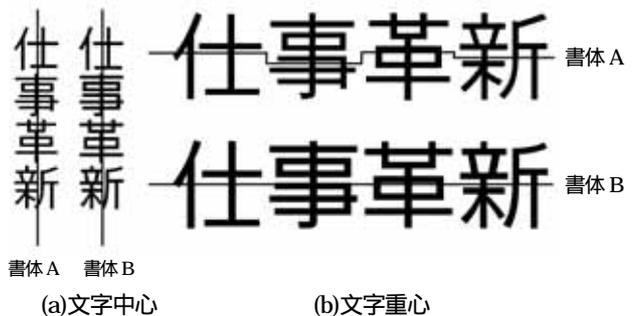


図1 文字中心と文字重心

ここで、文字重心について詳しく述べる。図2に、漢字の「上」と「下」を並べて表示する。「上」は文字の中央を通る水平線より文字重心が下にあるように感じられ、「下」では上にあるように感じられる。同様にして、「平」と「成」では、「平」は文字重心が上に、「成」は下に感じられる。このように、複数の文字を並べて比較することで、文字重心のばらつきを明確に感じることができる。

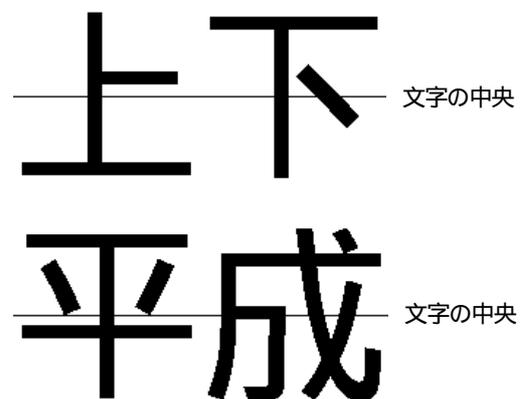


図2 文字重心のばらつき

図1の書体Aのような活字をベースにした書体[3]は縦組み用に開発されたものが多いため、縦組みにした時の文字中心は揃っているが、横組みにした場合に文字重心のばらつきが生じる。

現在は横組みで文章を作成することが多いが、横組み文化が盛んになったのは戦後数十年経ってからであり、DTP (Desk Top Publishing) やワーブ

口などで使われている書体の大部分は明治から大正、昭和の前半にかけて開発されたものである。そのため、縦組みでの可読性だけを考慮し開発されたものがほとんどであり、横組みでの可読性を考慮した書体は少ない。1970年頃に横組みでの可読性を主に考えて開発された書体もあったが、本文組みで使用するよりも見出しなどで使用することを目的につくられたものであった。

これに対して、筆者らが開発した図2の書体Bは、文字中心・文字重心が文字の中央に位置するように開発したものであるため、縦組み・横組みどちらにおいてもばらつきが少なくなっている。

以下、主観評価によって得られた文字重心を主観文字重心、計算によって得られた文字重心を計算文字重心と呼ぶ。

2.2 従来の文字重心位置評価手法

従来の文字重心位置評価手法、およびその課題抽出のため、まず、これまで提案した文字重心位置評価手法[4]について簡単に述べる。

文字を構成する厚みをもった直線や曲線を、文字の「ストローク」と呼び、ストロークに囲まれた比較的広い空白領域のことを「ふところ」と呼ぶ。これまでの研究では、ストロークとふところの間には大きな相互関係があり、そのバランスが文字の可読性に大きく影響すると考え、それぞれの文字重心位置の相互関係について検討してきた。

画素値を密度とみなした場合、質量分布の中心を文字重心とすることができる。質量分布の中心は、一般的に次式で求められる。

$$w = \sum_{x=0}^{X_{width}-1} \sum_{y=0}^{Y_{height}-1} g[x][y]$$

$$\begin{bmatrix} GR_x \\ GR_y \end{bmatrix} = \frac{1}{w} \sum_{x=0}^{X_{width}-1} \sum_{y=0}^{Y_{height}-1} g[x][y] \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

ここで、水平方向の画素数を X_{width} 、垂直方向の画素数を Y_{height} とし、格子点 (x, y) における画素値を $g[x][y]$ としたときの中心を (GR_x, GR_y) とする。

図3(a)に示すような「品」の文字を考えた場合、ストロークの文字重心は、ストローク部分がマッピングされている画素（黒の部分）の画素値を1として求められる。これに対してふところの文字重心は、図3(b)に示すようにふところにあたる画素（黒の部分）の画素値を1として求められる。

図3に上式で得られた「ストロークの文字重心位置」と「ふところの文字重心位置」を示す。

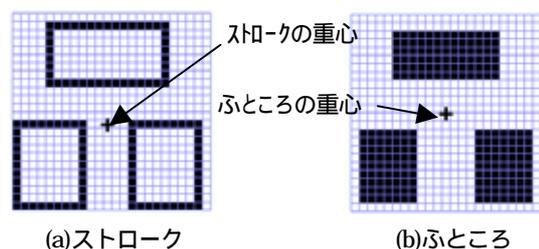


図3 ストロークとふところの文字重心

ストロークの文字重心位置とふところの文字重心位置の相互関係について検討したところ、以下の知見が得られた。

- ・ストロークとふところの計算文字重心位置は、お互いに相反の関係にある。
- ・文字の主観文字重心は、ストロークの文字重心位置に影響を受ける。
- ・ふところの文字重心が大きく偏る場合、主観文字重心位置は、ふところの文字重心位置に影響を受ける。
- ・文字（部首）を単純に水平方向に拡張した場合、主観文字重心位置は、ストロークの計算文字重心ではなくふところの計算文字重心の変化に影響される。

これらの考察から、ストロークの計算文字重心と主観文字重心の間には正の相関があり、ふところの計算文字重心も副次的に影響することがわかった。

しかしながら、図4に示すように、計算文字重心と主観文字重心には少なからず乖離があり、主観文字重心が計算文字重心によって定量化されたとはいえなかった。

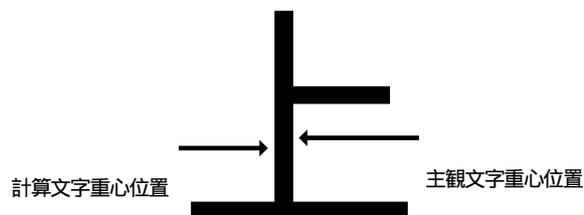


図4 計算文字重心と主観文字重心

そこで、この乖離の原因を探るために次の3つ課題を抽出した。

- 1) 評価サンプルを選定する際に、筆者らの主観だけで文字重心のバラツキが大きいと感じるものを選んだため、評価サンプルとしての適性に問題があった。
- 2) 主観文字重心を評価する被験者を無作為に選んだため、主観文字重心位置の信頼性が低かった。
- 3) ストロークとふところの文字重心位置、およびそれらの相関関係だけでは、主観文字重心位置を特定するのにデータが不十分であった。

3. 文字重心の主観評価

2.2章で抽出した課題1) 2) に対して、本章ではより信頼性の高い主観文字重心位置の評価手法を提案する。

3.1 文字重心の主観評価手順

提案する主観評価手順を図5に示す。

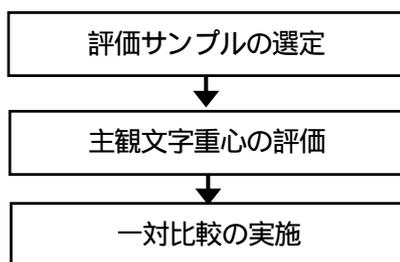


図5 主観評価手順

主観文字重心位置の評価は、十分に文字デザインの経験を積んだ実績のある者が実施する必要がある。しかし、そのような人は希少で限られてしまうために、複数人のデータを採取して信頼性を上げることができない。さらに、全ての文字の主観文字重心位置を評価するためには膨大な時間が必要となる。

そこで、主観文字重心位置評価を行う前に、文字重心位置評価手法の有効性を確認するために最低限必要な数だけの評価サンプルを選定する。

次に、選定された評価サンプルに対して、文字デザインの実績があるデザイナーが主観文字重心位置の評価を行う。

最後に、一対比較により文字重心の相対関係を求める評価を行う。この評価は、品位検査の経験を持つ人であれば被験者として十分であり、人数

を確保しやすく信頼性のあるデータを得ることができる。一対比較で得られたデータは主観文字重心位置を決定するものではないが、複数文字の文字重心位置の上下関係を明らかにすることにより、主観文字重心位置の評価結果についてその信頼性を確認することができると思う。

以下では、これら一連の作業による主観文字重心位置評価手法の詳細について述べる。

3.2 評価サンプルの選定

評価サンプルの選定にあたり、まず、JIS 第1水準、第2水準の漢字 6,355 文字に対して、文字重心位置の偏りに基づく分類作業を行った。実施環境を表1に示す。

表1 文字重心の偏りに基づく抽出作業の実施環境

項目	内容
被験者	5名(テスター)
対象文字	JIS 第1水準、第2水準漢字(6,355文字)
評価フォント	SH G30-M (TrueType フォーマットフォント)
評価対象物	12pt の大きさで JIS コード順に白紙上に印字した文字
評価内容	次の条件に該当する文字を分類 1)文字重心位置が特に上方へ偏っているもの 2)文字重心が真ん中にあり安定しているもの 3)文字重心が特に下方へ偏っているもの 4)文字重心が真ん中付近にあるが安定していないもの

評価内容の4)は、被験者間の評価結果にバラツキがあるため除外した上で、1)、2)、3)に該当し、被験者全員の評価が一致した29文字を抽出した。

これら29文字をすべて評価サンプルとした場合、一対比較ならびに主観文字重心位置の評価に膨大な時間が必要となり、現実的ではない。そこで、抽出した29文字の中から、文字重心位置評価手法の有効性を確認するために最低限必要であると考えられる10文字を選び、それらを実験サンプルとした。

評価サンプル10文字の選定にあたり、ストロークを用いた文字重心位置評価を行った。得られた計算文字重心を元に、文字重心位置が低いものから高い

方になだらかに変化するような 10 文字を選定した。
図 6 に選定した 10 文字を示す。

上土払企措酔酔芹戸下

図 6 評価サンプル

3.3 主観評価による文字重心位置の評価

実際のフォント開発では 1 名のチーフデザイナーが文字重心位置などの値をあらかじめ設定しておき、複数のデザイナーがその設定値に基づいて開発を行う。さらに、開発したフォントはチーフデザイナーが監修する。このように、1 名のチーフデザイナーが開発、監修を行うことによって統一感のあるフォント開発ができる。

そこで、主観による文字重心位置の評価は実績のあるチーフデザイナーに依頼した。主観文字重心の評価環境を表 2 に示す。なお、文字重心座標値は、図 7 に示す座標空間上の y 座標とした。

表 2 主観文字重心の評価環境

項目	内容
被験者	1 名 (デザイナー)
対象文字	上、土、企、払、措、酔、酔、芹、戸、下
対象データ	ボディサイズを 256x256 ドットとして、PC 画面上に BMP 出力した文字
評価方法	PC 画面上の対象データの文字重心座標値を記録

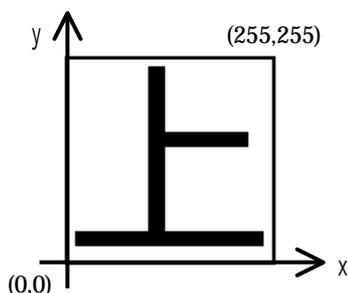


図 7 主観文字重心位置をあらわす座標空間

主観文字重心位置の評価に際して、次のことを考慮して慎重に進めた。

- 1) 評価時における被験者の精神状態によって評価値に「ゆれ」が出るのを抑えるため、同

じ評価を日をあけて 5 回施行する。

- 2) 文字を正立以外に、左右反転、上下反転、180 度回転させて評価する。
- 3) 評価する文字の順番は、評価毎にランダムにする。
- 4) 評価結果のうち、両極端の評価値を除いた 3 回の評価値を平均化したものを文字重心位置とする。

上記の 1) 3) 4) は主観評価で一般的に用いられる手法であるが、2) に関しては以下に述べる経験から正確な文字重心位置を評価するために有効であると考え、導入するものである。

- 2-1) 印鑑に彫られた文字は左右反転した状態になり図形化されている。篆刻師は左右反転した状態でバランスが取れているように印鑑を彫ることにより、捺印した時にもバランスのとれた文字となる印鑑ができる。
- 2-2) 画家が絵を描くプロセスの中で、上下さかさまにして構図やバランスを取ることがある。これは既成概念を取り払い、純粹に絵のバランスを見ることが出来る一般的な手法である。
- 2-3) LCFONT@[5][6][7][8]の字母開発において、バランスの取れた文字を開発するため、PC の後ろに鏡を置いて左右逆転した文字を表示し、バランス調整をおこなった。

図 8 に示すように、日頃見慣れている「上」という漢字も上下反転、左右逆転、180 度回転させることで、被験者の文字に対する既成概念を取り払うことができ、精度の高い評価値を得ることができると考える。

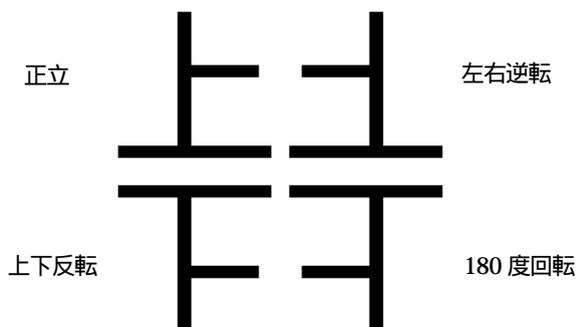


図 8 「上」の図形化

表3 および図9 に主観文字重心位置とストロークの計算文字重心位置の評価結果を示す。評価結果から、主観文字重心とストロークの計算文字重心との間に大きな乖離があることがわかる。さらに、主観文字重心と計算文字重心による文字の並びにおいて、No.3「企」とNo.4「払」、No.7「芹」とNo.8「慧」の間で順番の逆転が起こっていることがわかる。

表3 主観文字重心と計算文字重心

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
文字	上	土	企	払	措	酔	芹	慧	戸	下
SG	105	114	117	123	126	130	136	142	148	154
CG	96	103	115	113	124	133	146	138	155	164

SG：主観文字重心
CG：計算文字重心

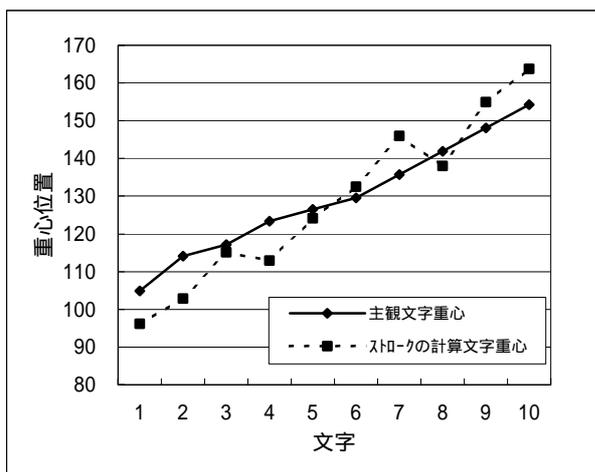


図9 主観文字重心と計算文字重心

3.4 一対比較

本章では、心理学的評価法の中でも評価結果の信頼性が高いとされている一対比較を用いることで、主観による文字重心位置の上下関係を明らかにする。これにより、主観評価で得られる文字重心位置の信頼性を確認することができる。

一対比較の評価環境を表4に示す。5名のテスターにより、図10に示す評価シートを用いて評価サンプル10文字に対する全ての組み合わせ(90通り)について、主観文字重心位置の上下関係を明らかにした。図10では文字重心が高いと感じられる文字に「」を付けている。

表4 一対比較の評価環境

項目	内容
被験者	5名(テスター)
対象文字	上、土、払、企、措、酔、慧、芹、戸、下
評価方法	一対比較
評価対象物	12ptの大きさで1対1のすべての組合せで白紙上に印字した文字
評価内容	それぞれの文字重心の高低を比較し、文字重心位置の相対的な上下関係を求める。

措 慧	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
酔 慧	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
上 芹	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
酔 上	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

図10 評価シートの一部

一対比較による評価結果を元に、評価サンプルの10文字を主観文字重心の高さが低い順に並べた結果を図11に示す。この評価結果は表3に示す主観文字重心と同じ文字の並びになっており、主観文字重心位置の信頼性が高いことを示している。

上土企払措酔芹慧戸下

図11 一対比較によって主観文字重心位置の低い順に並べた評価サンプル

4. 文字重心位置評価手法

2.2章で抽出された課題3)に対して、文字認識メカニズムを考察し、精度の高い文字重心位置評価手法を提案する。

4.1 文字認識メカニズムからの考察

これまでの研究では、ストロークの文字重心とふところの文字重心の間に何らかの依存関係があることは分かったが、それらの関係式を導き出すまでには至らなかった。そこで、デザイ

ナーやテスターに対してヒアリングを行い、以下の情報を得た。

- 1) フォントの可読性は、単語単位や文章全体の輪郭（シルエット）で評価する。
- 2) 低解像度ディスプレイに表示する 12×12ドットのような低ドットフォントの場合、画数を省略して表示する必要があるが、省略した場合でも必ず文字のシルエットを維持するように開発する。
- 3) 欧文はアルファベット1文字ずつ読むのではなく、単語や文字列全体のシルエットで読んでいる。

これらの情報から、文字を構成するストロークのレイアウトよりも文字全体のシルエットが可読性に大きく影響していると考えられる。

4.2 シルエットを用いた文字重心評価手法

評価対象の文字をシルエットにする場合、図12に示すようなさまざまな方法が考えられる。

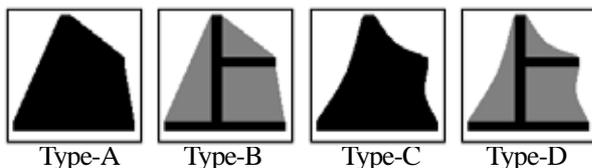


図12 文字のシルエット化

Type-A は文字のストロークの端点を直線で結び、内側を黒で塗りつぶしたものである。Type-B は Type-A の塗りつぶし部分に階調をかけたものである。Type-C は文字のストロークの端点を結ぶ線を内側に少し減縮させた曲線とし、内側を黒で塗りつぶしたものである。Type-D は Type-C の塗りつぶし部分に階調をかけたものである。

本文では、もっともシンプルな形状である Type-A を対象として評価を行い、表5および図13に示す評価対象に対して文字重心計算を行った。

表5 シルエット文字重心評価対象

項目	内容
対象文字	上、土、企、払、措、酔、芹、慧、戸、下
対象データ	ボディサイズを 256x256 ドットとして、図11Type-A のシルエット処理を行ったもの



図13 評価サンプルのシルエット

評価結果を表6および図14に示す。3.4章で述べたように、ストロークの計算文字重心と主観文字重心の間には大きな乖離が存在したが、シルエットの計算文字重心と主観文字重心の間では乖離が小さくなった。また、ストロークの計算文字重心と主観文字重心の場合で評価サンプルの順番が逆転していた「払」と「企」、「芹」と「慧」の文字についても、シルエットの計算文字重心では、主観文字重心と一致した。

表6 シルエットの計算文字重心

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
文字	上	土	企	払	措	酔	芹	慧	戸	下
SG	105	114	117	123	126	130	136	142	148	154
CG	96	103	115	113	124	133	146	138	155	164
TG	107	112	114	122	127	130	133	136	146	151

SG：主観文字重心

CG：ストロークの計算文字重心

TG：シルエットの計算文字重心

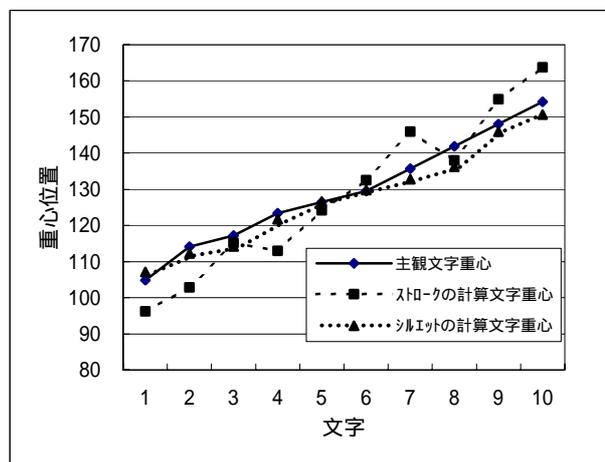


図14 ストロークとシルエットの計算文字重心と主観文字重心

4.3 計算結果からの考察

表6に示す主観文字重心とシルエットの計算文字重心との差を見ると、ほとんどの文字では、文字重心の差は3ドット以下となり、文字全体の高

さが 256 ドットであることから、その誤差は 1.17%以下となる。モバイル端末で使われている文字の標準ドットサイズが 24 ドットの場合、1.17%の誤差は 0.28 ドットに相当する。このことから、シルエットを用いた文字重心位置評価手法は十分に実用域の範囲内であると考えられる。

ただし、表 6 の No.8 「慧」の場合、文字重心の差が 6 となり、24 ドット文字に換算すると約 1 ドットの差が生じることになる。図 15 に示すように、「慧」の文字を 1 ドットずらしたものを比較すると、視覚的には明確な差が生じており、誤差として吸収できる範囲ではないと考える。

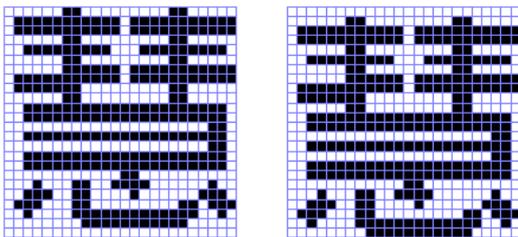


図 15 24 ドット表示の「慧」を
1 ドットずらしたデータ

以上のことから、シルエットを用いた文字重心位置評価手法は、一部の文字では誤差が残るが、文字重心位置評価手法としては正しいアプローチであると考えられる。

5. まとめ

文字の可読性に大きく影響する文字重心位置の評価はこれまで主観に頼っていたため、フォント開発および検査プロセスの中で膨大な工数が必要となることが問題となっていた。そこで、これまでの研究では計算によって文字重心位置の評価を行う手法について検討を行ってきたが、その精度に課題を残していた。そこで本文では、文字のシルエットを用いた文字重心位置評価手法を提案し、精度の高い文字重心位置の算出を可能とした。

今後の課題として、より精度の高い文字重心位置評価手法を確立するため、今回の評価サンプル以外の文字に対しても追試を行うとともに、シルエットの取り方や錯視の影響などについても検討していくことが挙げられる。

謝辞 日頃ご指導頂くシャープ株式会社デジタル家電開発本部千葉徹本部長に感謝いた

します。また、本研究にあたり、ご指導、ご協力を頂きました兵庫県立大学大学院応用情報科学研究科白川功教授、ならびにシャープ株式会社デジタル家電開発本部プラットフォーム開発センターの関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 佐藤敬之助, “文字のデザインシリーズ 5.漢字上”, 丸善株式会社, 1973.
- [2] 佐藤敬之助, “文字のデザインシリーズ 5.漢字下”, 丸善株式会社, 1973.
- [3] 矢作勝美, “明朝活字その歴史と現状”, 平凡社, 1976.
- [4] 小谷 章夫, 小山 至幸, 密山 幸男, 尾上 孝雄, “低解像度表示デバイス向けフォント “LCFONT” の重心位置および可読性評価”, 画像電子学会誌, vol. 32, no. 5, pp.621–628, Sept. 2003.
- [5] 朝井宣美, 渡邊朋子, 信貴豊, 藪内優香, 高野作治, 角田清, 宮本有希生, “LC (液晶) フォント,” シャープ技報, 新本孫宏(編), pp.92-95, シャープ株式会社技術本部, 1997.
- [6] 岡田哲, 朝井宣美, 小山至幸, 掛晃幸, 八江友和, 小谷章夫, “カラー液晶対応フォント LCFONT.C,” シャープ技報, 太田賢司(編), pp.25-28, シャープ株式会社技術本部, 2001.
- [7] S. Okada, N. Koyama, Y. Asai, and A. Kotani, “Resolution enhanced, smooth FONT for Color LCD LCFONT.C,” ICIS’02, Tr.4-106(P), pp.461-462, May 2002.
- [8] A. Kotani, Y. Asai, Y. Nakamura, S. Okada, N. Koyama, K. Yamane, Y. Okano, Y. Mitsuyama, T. Onoye: “Visibility Font Technology on High Resolution Color LCD “LCFONT.C,”” Proc. The International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2003), vol. 1, pp.535–538, July 2003.