

文字輪郭を用いた文字重心位置評価手法と
そのフォント開発への応用

小 谷 章 夫

文字輪郭を用いた文字重心位置評価手法と そのフォント開発への応用

小 谷 章 夫^{*}

Contour-Based Evaluation Method of Center of Gravity on Characters and Its Application to Font Development

Akio KOTANI^{*}

ユビキタス社会における情報流通の中で、最も重要な役割を担うものの1つが「文字情報」である。携帯電話やナビゲーションシステム、DTVなどの電子ディスプレイには、日々膨大な文字情報が絶え間なく映し出されており、表示する文字の可読性がきわめて重要になっている。従来の紙媒体での文字情報は、改良を続け洗練された活字を使って印刷されているので可読性の高いものが多いが、電子ディスプレイ上に表示されるフォント開発の歴史は浅く、現在も可読性を向上させるために改良が続けられている。本論文では、可読性の高いフォントの開発において重要な指標の1つとなっている「文字重心」を定量化するために、文字輪郭を用いた文字重心位置評価手法を提案する。また、提案した文字重心位置評価手法をフォント開発へ応用することで、フォント開発コストの大幅な削減を可能にし、可読性と文字重心の関係を明らかにする。

In the ubiquitous society, text information is one of the most important communication methods and a variety of text information is always displayed on cellular phones, navigation systems, DTVs and so forth. Therefore, it is strongly demanded to improve the readability of text on displays. However, typical design process of fonts for specific devices requires a long development period, whereas print type has been gradually developed in long history. 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 is proposed. The proposed method can reduce greatly the development period of fonts and correlate the readability with the center of gravity.

1. はじめに

電子ディスプレイの技術的進歩により、高精細化が進み表示されるコンテンツの表現が豊かになってきた。これに伴い、コンテンツを表示するための要素技術の1つであるフォントに対して、美しさや可読性の向上といった高品位化の要求が急速に高まっている。しかしながら、フォントのデザインはデザイナーの感性に頼って手作業で進められており、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なため、膨大な工数が発生することが問題となっている。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った。

これらの膨大な開発工数を削減し、文字品位（美しさ、可読性¹⁾²⁾）を向上させるためには、感性に頼っている部分を定量化する必要がある。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が、「可読性」に

^{*} コンピュータデザイン学科 教授

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える。このような背景から「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)~(7)}に注目し、文字輪郭（シルエット）を用いた文字重心位置評価手法^{(8)~(9)}が提案されてきた。しかしながら、これらの手法の有効性を判断する為に、実際の文字開発現場での検証が課題となっている。

そこで本論文では、凸包⁽¹⁰⁾を用いた文字輪郭取得による文字重心位置算出手法について、フォント開発での有効性の検証と可読性評価への応用を提案する。この手法により、これまで殆ど取り組まれていなかったフォントデザインにおけるデザイナーやテスターの感性を1つの尺度から定量化することが可能となる。

以下、2章では主観文字中心・重心について論じ、3章では凸包シルエットを用いた文字重心計算手法について述べる。4章ではフォント開発への提案文字重心計算手法の応用を述べ、5章では可読性と文字重心について述べ、6章でまとめる。

2. 主観文字中心・重心

文字を縦組みにした際、文字の左右方向への主観的なばらつきを示す尺度が主観文字中心である（図1）。これに対して主観文字重心とは、文字の上下方向への主観的なばらつきを示す尺度である（図1）。図1では、主観文字中心・重心の位置を通る線で表示している。

図1の縦組みでは、書体A書体Bともに文字中心のばらつきが少ないが、図1の横組みでは、書体Aに比べて書体Bの主観文字重心のばらつきが大きいことが分かる。

図1の書体Bのような活字をベースにした書体⁽¹¹⁾は縦組み用に開発されたものが多いため、縦組みにした際、主観文字中心は揃っているが、横組みにした場合に主観文字重心のばらつきが生じる。

3. 凸包シルエットを用いた文字重心計算手法

本章では、計算文字重心を評価するために必要な主観文字重心を特定するための円形枠主観文字重心評価手法⁽⁹⁾と、シルエットの取得に凸包⁽¹⁰⁾を利用した凸包シルエット文字重心計算手法⁽⁹⁾を提案する。

3.1 円形枠主観文字重心評価手法

従来の図形化文字重心評価手法⁽⁸⁾は、評価者が十分にフォントデザインの経験を積んだ実績のある者が実

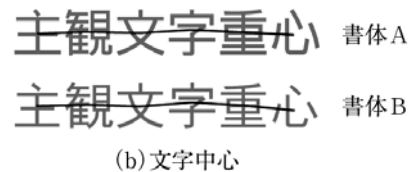


図1 主観文字中心と主観文字重心

施する必要があった。しかしながら、そのような人は希少で確保が難しい上、評価するためには膨大な時間が必要となり（1文字あたり約40分）、この時間短縮が課題となっていた。

そこで、文字重心評価に要する時間を削減する方法を検討するため、商用印刷分野のレタリングを永年手がけてきた企業に対して聞き取り調査を行った。そして、採用されている印刷用文字重心主観評価手法のいくつかの課題を克服し、円形枠主観文字重心評価手法を考案した。

本評価手法では、図2に示す高精細ノートパソコンの画面上に円形枠を表示し、円形枠の中央にバランスよく納まるように評価対象文字を配置し、円形枠の中心位置を文字重心と考え、図3に示す座標系で読み取る。以下、本論文では、文字重心位置評価はすべて図3に示す座標系で行うものとする。

本手法では、評価精度を向上させるために、以下のルールに従って評価を行う。

- 1) いろいろな角度から評価する（図4）
- 2) 2名のテスターが交互に評価しながら文字配置を絞り込む
- 3) 5名のテスターから2名を選び（10通り）、10回の試行の平均値を求める。

文字輪郭を用いた文字重心位置評価手法とそのフォント開発への応用（小谷）

後述する実験で使用する主観評価データを得るため、表 1 に示す評価環境で円形枠主観評価をおこなった。評価に当たり、JIS X0208¹²⁾の第 1 水準漢字集合の中から図 5 に示す 16 区 94 文字を対象とした。評価結果を表 3 の主観重心欄に示す。ここでは、150 ドツ

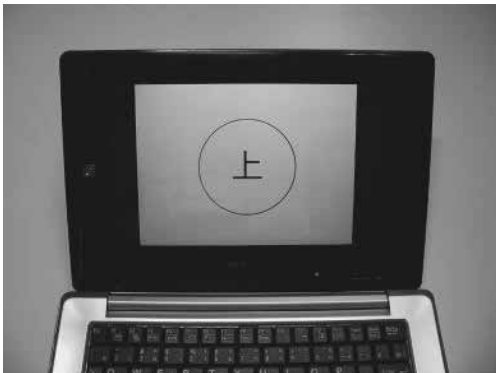


図 2 主観評価環境

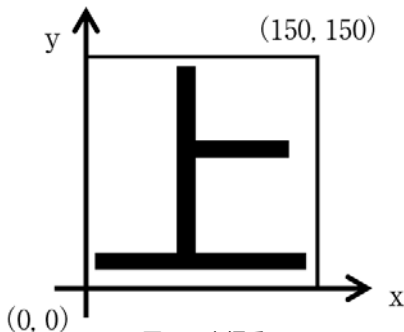


図 3 座標系



図 4 評価風景

トの文字高に対し、10 回の試行で求めた主観文字重心位置の平均値が示されている。この評価手法での評価者は、デザイナーではなく文字検査を行ったことがあるテスターで十分なため、人員確保が比較的容易である。また、1 文字あたり約 24 分で評価することができた。

表 1 評価環境

| 項 目 | 内 容 |
|---------|---|
| 被 験 者 | 5 名から 2 名を選出（10 通り） |
| 対 象 文 字 | 図 5 に示す JIS X0208 の第 1 水準漢字集合の中の 16 区 94 文字 |
| 対象データ | SH G30-M（TrueType フォント） |
| 評 価 方 法 | 450 ドツの円形枠と 150 ドツの文字高の文字を 178pp（pixel per inch）の解像度をもつ液晶画面を備えた高精細ノート PC に表示して評価、10 回の試行の平均を求める |

亜啞娃阿哀愛挨始逢葵茜穉惡握渥旭葦蓼
梓庠斡扱宛姐虹飴絢鮎或栗裕安庵按暗案
閨鞍杏以伊位依偉困夷委威尉惟意慰易椅為
畏異移維緯胃葵衣調達遺医井亥域育郁磯一
沓溢逸稻茨芋弱允印咽員困姻引飲淫胤蔭

図 5 JIS X0208 の 16 区 94 文字

3.2 シルエット文字重心

デザイナーが文字重心を評価する際、文字のストロークから文字重心を把握するのではなく、文字全体の外形（シルエット）から文字重心を把握していることに着目し、文字重心評価に活用したものがシルエット文字重心評価手法⁸⁾である。

シルエット文字重心評価手法では、図 6 に示すようにシルエット化した文字について、シルエット上の画素を質量 1 の質点と考え、シルエット以外の画素の質点を 0 とする。この時、左右方向の直線をシルエット上のある場所におくと、直線の下で質点のモーメントの和が一致する場所がある。この場所をシルエット



図 6 文字のシルエット化とシルエット文字重心

文字重心とする。

すなわち、水平方向の画素数を X_{width} 、垂直方向の画素数を Y_{width} とし、点 (x, y) におけるシルエットの画素値を $p[x][y]$ ($0, 1$) とすると、シルエット文字重心 Gc は、式で求められる。

$$w = \sum_{x=0}^{X_{width}-1} \sum_{y=0}^{Y_{width}-1} p[x][y] \quad (1)$$

$$Gc = \frac{1}{w} \sum_{x=0}^{X_{width}-1} \sum_{y=0}^{Y_{width}-1} p[x][y] \cdot y$$

文献⁸⁾に示されているように、このシルエット文字重心評価手法により精度の高い文字重心の特定が可能となる。しかしながら、文字のシルエット化を手作業で行っているため、人によってシルエットの取り方に若干の違いが出ることと、膨大な工数が発生することが課題となっている。

3.3 凸包シルエット用いた文字重心計算手法

3.2章で課題とされていた膨大な工数を削減するために凸包を用いてシルエット取得の自動化を試みる。

凸包とは、平面状の点群をすべて含む最小の凸多角形のことである。本研究では、凸包取得手法として最も基本的な包装法のアルゴリズムを用いた。

包装法のアルゴリズムを以下に示す。

1. ストローク上の画素で y 座標が最小の点を求める。
 y 座標が同じ点があったときは、 x 座標が小さい方を選ぶ。求めた点を P_0 とする (図7)。

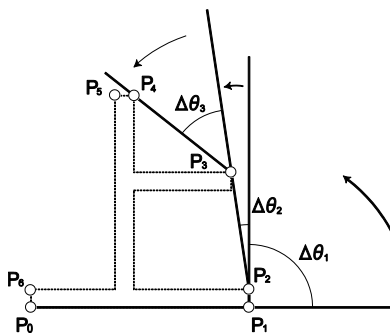


図7 包装法

2. 角度を格納する変数 θ を0に、 i を0に初期化する。
3. 文字輪郭を構成するすべての点と P_i について、水平線と成す角度を求める。その中で、 θ 以上で最小の角度を持つ点を選び P_{i+1} とする。

但し、同じ角度の点が複数あったときは、より遠い点を選ぶものとする。

4. P_{i+1} が P_0 と等しい場合終了する。それ以外の場合には i を増分し Step3. を繰り返す。

このようにして求めた点集合 $\{P_0, P_1, \dots, P_i\}$ で囲まれる凸多角形が文字の凸包となる。

凸包で囲まれた内側を塗りつぶしたものを凸包シルエットとする。この凸包シルエットに対して、前章の式を用いた重心計算をおこなう。図8に手動シルエットと凸包シルエットを示す。



図8 シルエット

3.4 手動シルエット文字重心と

凸包シルエット文字重心

手動シルエット文字重心と凸包シルエット文字重心の精度を検証するために、円形枠主観評価手法と手動シルエット文字重心、および凸包シルエット文字重心で、文字デザインの検討用に使用されている10文字を評価した結果を表2に示す。ただし、文字のサイズは150ドットである。

表2 10文字の評価結果

| 文字 | 上 | 土 | 企 | 払 | 措 | 酔 | 芹 | 慧 | 戸 | 下 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| G | 63.3 | 64.1 | 70.1 | 72.4 | 75.4 | 76.1 | 79.1 | 80.7 | 86.7 | 88.9 |
| Gc | 63.0 | 61.6 | 63.0 | 67.7 | 70.3 | 72.1 | 74.6 | 77.4 | 82.5 | 84.7 |
| Gt | 62.8 | 65.4 | 68.5 | 71.3 | 75.1 | 75.5 | 78.6 | 78.5 | 85.6 | 88.8 |

G : 主観文字重心
Gc : 手動シルエット文字重心
Gt : 凸包シルエット文字重心

表2に示すように、主観文字重心と手動シルエット文字重心の差は、平均4.0ドット、最大7.1ドットであった。また、主観文字重心と凸包シルエット文字重心の差は、平均0.9ドット、最大2.2ドットであり、より精度の高い文字重心計算が求められている。

以上より、手動でシルエット化するよりも凸包シルエットを用いることで、工数の大幅な削減と精度の向

文字輪郭を用いた文字重心位置評価手法とそのフォント開発への応用（小谷）

上が可能となった。

3.5 主観文字重心と凸包シルエット文字重心

3.1章で主観評価を行った文字について、凸包シルエット文字重心（計算文字重心）を行った結果を表3の計算重心欄に示す。主観文字重心と計算文字重心との乖離は最大で2.6ドットとなった。

現在モバイル端末で使われている標準の文字サイズは20ドットから24ドットである。その中で最も高密度な24ドットにおける1ドットが、150ドットにおける6.3ドットにあたることから、乖離が3.1ドット以内であれば、文字表示位置の乖離がディスプレイ上に現れることはなく、実用上問題ないと言える。このことから、凸包シルエット文字重心計算手法の実用性が評価できる。

4. フォント開発での計算文字重心の応用

現状のフォント開発では、コンピュータを使った開発環境が整備され、フォントデータのハンドリングが効率的に行われるようになり、以前と比較して工数が大幅に削減された。しかしながら、デザイナーの主観に頼って行われている部分はまだ手付かずの状態である。そこで、本章では、凸包シルエット文字重心計算手法をフォント開発に適用することで開発コストの大幅な削減を図る。

4.1 フォント開発における文字重心の位置付け

通常のフォント開発は図9に示すようなプロセスを経て行われる。本章では、既開発の字母を基準にしたビットマップフォントの開発において、凸包シルエット文字重心計算手法の有効性を検証する。

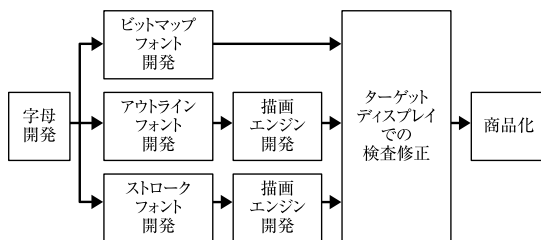


図9 フォント開発プロセス

ビットマップフォント開発やアウトラインフォント開発、ストロークフォント開発の基準データになる字母は、2章で述べた「中心・重心」や、図10に示すような可読性に影響を与える「部首バランス」・「ふと

表3 94文字の主観文字重心と計算文字重心

| 文字 | 主観重心 | 計算重心 | 文字 | 主観重心 | 計算重心 | 文字 | 主観重心 | 計算重心 |
|----|------|------|----|------|------|----|------|------|
| 亜 | 73.9 | 75.0 | 裕 | 73.9 | 75.5 | 衣 | 72.9 | 72.2 |
| 啞 | 76.1 | 75.7 | 安 | 73.9 | 71.9 | 謂 | 75.0 | 74.8 |
| 娃 | 75.0 | 73.9 | 庵 | 75.0 | 73.4 | 違 | 73.9 | 74.8 |
| 阿 | 77.1 | 74.8 | 按 | 73.9 | 73.7 | 遺 | 75.0 | 74.9 |
| 哀 | 73.9 | 72.9 | 暗 | 76.1 | 75.9 | 医 | 76.1 | 75.3 |
| 愛 | 73.9 | 73.0 | 案 | 76.1 | 75.1 | 井 | 76.1 | 74.6 |
| 挨 | 72.9 | 73.2 | 闇 | 76.1 | 74.6 | 亥 | 73.9 | 73.3 |
| 始 | 73.9 | 73.9 | 鞍 | 75.0 | 75.0 | 域 | 76.1 | 75.5 |
| 逢 | 75.0 | 74.3 | 杏 | 76.1 | 75.6 | 育 | 76.1 | 75.8 |
| 葵 | 75.0 | 74.6 | 以 | 71.8 | 73.1 | 郁 | 77.1 | 76.9 |
| 茜 | 77.1 | 76.6 | 伊 | 82.4 | 79.6 | 磯 | 76.1 | 76.2 |
| 穠 | 75.0 | 73.4 | 位 | 75.0 | 73.9 | 一 | 76.1 | 76.0 |
| 恵 | 78.2 | 75.6 | 依 | 75.0 | 73.5 | 壺 | 77.1 | 77.0 |
| 握 | 75.0 | 74.3 | 偉 | 75.0 | 74.3 | 溢 | 72.9 | 75.2 |
| 渥 | 75.0 | 74.9 | 圀 | 76.1 | 75.5 | 逸 | 73.9 | 73.0 |
| 旭 | 73.9 | 72.9 | 夷 | 75.0 | 72.7 | 稻 | 76.1 | 75.8 |
| 葦 | 77.1 | 77.1 | 委 | 75.0 | 73.4 | 茨 | 76.1 | 74.0 |
| 芦 | 84.5 | 83.1 | 威 | 71.8 | 71.9 | 芋 | 82.4 | 81.2 |
| 鰐 | 78.2 | 76.6 | 尉 | 75.0 | 74.6 | 鰯 | 75.0 | 74.9 |
| 梓 | 77.1 | 76.1 | 惟 | 77.1 | 75.4 | 允 | 68.7 | 67.1 |
| 圧 | 75.0 | 73.6 | 意 | 76.1 | 74.5 | 印 | 78.2 | 77.6 |
| 幹 | 76.1 | 75.3 | 慰 | 78.2 | 76.3 | 咽 | 76.1 | 75.7 |
| 扱 | 73.9 | 73.0 | 易 | 75.0 | 74.0 | 員 | 71.8 | 71.3 |
| 宛 | 75.0 | 72.7 | 椅 | 76.1 | 75.2 | 因 | 76.1 | 75.5 |
| 姐 | 72.9 | 73.0 | 為 | 71.8 | 71.5 | 姻 | 75.0 | 75.1 |
| 虻 | 73.9 | 73.9 | 畏 | 72.9 | 72.0 | 引 | 76.1 | 76.8 |
| 飴 | 72.9 | 72.3 | 異 | 73.9 | 72.2 | 飲 | 73.9 | 72.5 |
| 絢 | 73.9 | 73.9 | 移 | 79.2 | 78.6 | 淫 | 76.1 | 76.4 |
| 綾 | 73.9 | 73.8 | 維 | 75.0 | 74.8 | 胤 | 72.9 | 72.8 |
| 鮎 | 73.9 | 74.9 | 緯 | 75.0 | 74.9 | 蔭 | 72.9 | 75.0 |
| 或 | 73.9 | 74.5 | 胃 | 76.1 | 75.8 | | | |
| 粟 | 76.1 | 75.9 | 菱 | 76.1 | 75.1 | | | |

ころ」・「ストローク幅」を考慮して設計されている。字母のフォントデータ形式は、図11に示すように文字の外形をベクトル形式の直線や曲線で近似したものである。

図12に、ビットマップフォントの開発ツールを示す。図12は20x20ドットのビットマップフォントを

開発している画面である。デザイナーは字母を参照しながら、できるだけ忠実に再現するよう格子状のマス目にドットを打ち、ビットマップフォントを作成する。

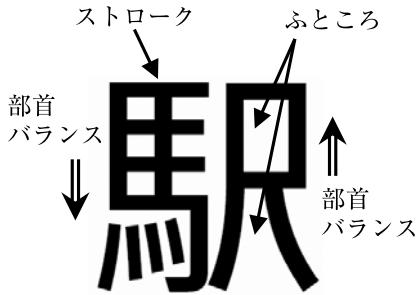


図 10 部首バランス、ふところ、ストローク

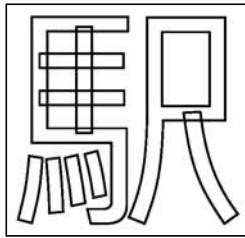


図 11 字母のフォントデータ形式

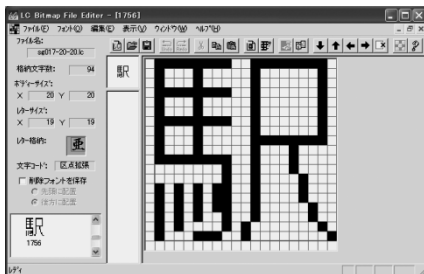


図 12 ビットマップフォント開発ツール

字母を基準データとして1文字単位で開発を行う際、デザイナーは次の事に注意を払う。

- ・ストローク位置や長さのバランスが字母と似ているか
- ・文字の中心重心が字母と合っているか

さらにフォントを構成する全ての文字（約7,000文字）を開発した後、次の事に注意を払いながらフォント全体を検査し、問題がある文字を修正する。

- ・文字間で大きさがばらついて見えないか
- ・複数の文字を組み合わせた状態（組版）で中心重心

が揃っているか

4.2 フォント開発における

凸包シルエット文字重心計算手法の応用

1文字単位でフォントを開発する場合は、図13に示すような字母を基準として、所定のビットマップサイズ（図13の例は20×20ドット）の格子にドットを打ち、まず、何案かのビットマップフォントをデザインする。「芋」と「印」のType-A, B, Cは、1人のデザイナーがデザインしたものである。

「芋」のType-A, B, Cを見た場合、字母と比較して文字重心の高低は感じられるが、どれが字母にもっとも近い文字重心となっているかを主観で判断するのは困難である。「印」についても同様である。1文字単位で文字開発を行う場合に、最も多くの時間が割かれるのは、何案かのデザインを試作して、その中から最適なものを選ぶプロセスである。

そこで、凸包シルエット文字重心計算を行った結果を表4に示す。字母の凸包シルエット文字重心計算結果が文字高さ150ドットに対するものであるため、表4における文字重心の値は150ドットの文字高に換算したものである。「芋」のType-Cが字母の計算文字重心にもっとも近いことが分かる。「印」も同様に、Type-Cが字母の計算文字重心にもっとも近いことが分かる。

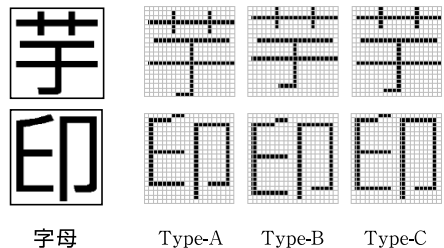


図 13 字母を基準にして作成したビットマップフォント

表 4 凸包シルエット文字重心計算結果

| | 字母 | Type-A | Type-B | Type-C |
|---|------|--------|--------|--------|
| 芋 | 81.2 | 76.1 | 85.3 | 81.6 |
| 印 | 77.6 | 78.2 | 72.5 | 77.3 |

次に、上述の結果の信頼性を確認するため、主観評価を行った。図14に示すように、「芋」と「印」のすべての組み合わせを用意し、無作為に抽出したテ

文字輪郭を用いた文字重心位置評価手法とそのフォント開発への応用（小谷）

スター 5 人で正規化順位法による主観評価を行った。評価の結果、5 人全員が「芋」の Type-C と「印」の Type-C の組み合わせ Type-C-C がもっとも字母と近似していると回答した。

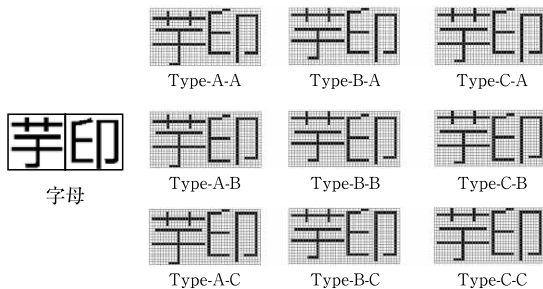


図 14 字母との近似度を調べるサンプル

この結果から、フォントをデザインしていく上で、凸包シルエット文字重心計算手法を利用することの有効性が確認された。凸包シルエット文字計算手法を利用することで、字母との文字重心の近似度が判断できるため、そのプロセスが大幅に短縮でき、デザイナーは字母のストローク位置や長さのバランスにビットマップフォントを調整することに専念できる。

デザイナーが 1 文字単位でフォントを開発した後、テスターが全文字について検査し、問題を指摘された文字をデザイナーが修正する。

そこで、実際に製品化されたフォントについて、どのような文字が検査で抽出され、どのように修正されたかを文字重心の変化から調査した。調査対象文字は 20×20 ドットのビットマップフォントとした。フォント開発の基準となる字母と、デザイナーが 1 文字単位で開発した 0 次試作、テスターによる検査、デザイナーによる修正を経た製品についてそれぞれの文字重心を凸包シルエット文字重心計算手法を用いて算出し、比較分析を行った。

評価対象は JIS X0208 の第 1 水準非漢字の 524 文字、第 1 水準漢字集合の 2,965 文字、および第 2 水準漢字集合の 3,390 文字の計 6,879 文字であり、このうち 0 次試作から改良が行われた文字は、全部で 62 文字あった。そのうち、0 次試作と製品の文字重心の乖離が最も大きい 5 文字を抜き出した結果を表 5 および図 15 に示す。いずれの文字も製品の文字重心が、0 次試作のそれと比較して字母重心に近づいていることがわか

る。また、他の改良された 57 文字もすべて字母の文字重心に近づいていることがわかった。

表 5 字母と 0 次試作と製品の文字重心

| | 字 母 | 0 次試作 | 製 品 |
|---|------|-------|------|
| 頒 | 74.8 | 70.8 | 73.7 |
| 卵 | 76.2 | 74.0 | 76.3 |
| 憑 | 76.1 | 73.1 | 75.2 |
| 熹 | 75.9 | 71.5 | 73.2 |
| 助 | 73.2 | 69.8 | 71.5 |

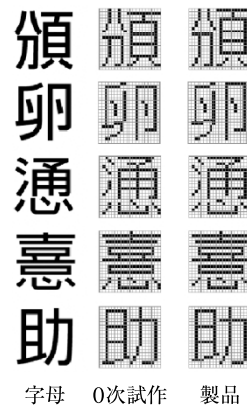


図 15 字母と 0 次試作と製品

次に、テスターの検査で選出されなかった文字に対して問題がないか調査するために、6,879 文字すべてについて、字母と製品の間で文字重心の乖離が大きい文字を選出した。対象となる 20 ドットにおける 1 ドットが、150 ドットにおける 7.5 ドットにあたることから、文字重心の乖離が 3.75 ドット以上であれば、その差がディスプレイ上に現れるため、選出の基準を 3.75 ドット以上とした。

その結果、362 文字が選出された。選出された文字についてデザイナーに確認したところ、20 ドットの中でデザインするという制約の中で改良が可能な文字は 19 文字あった。

以上のことから、これまで主観評価に頼っていたテスターによる検査に、文字重心評価手法が利用できることになり、かかっていた膨大な工数を削減することができ、品質の向上につながるができる上、検査精度の向上による品質のさらなる向上につながると考

えられる。

4.3 文字全体の評価における

凸包シルエット文字重心計算手法の応用

1文字単位での文字開発が終了すると、次にいろいろな文字を組み合わせた状態で文字重心が揃っているかについて評価する。

「記号」や「英数字」および「かなの拗音促音」については必ずしも文字重心が揃っている必要はないが、「かな」や「漢字」は必ず文字重心が文字の中央付近に揃っていないとばらついて見える。そこで、文字重心が揃っているかどうかを判断する従来手法として、図16に示すような組版検査がある。この検査は文字をランダムに組み合わせて文字重心のばらつきを視で選び出すものである。しかしながら、6,000文字を超えるフォントについてすべての組み合わせを検査することは事実上不可能であるため、一部の組み合わせでしか検査ができていないのが現状である。



図16 組版検査

そこで、組版検査に代わる手法として、検査対象文字の平均文字重心に対して個々の文字の文字重心で乖離が大きい文字だけを抜き出して修正することを考え、次の実験を行った。

JIS X0208の第1水準非漢字のうちの拗音、促音を除く「ひらがな」と「カタカナ」の147文字と第1水準漢字集合の2,965文字と第2水準漢字集合の3,390文字の計6,502文字を実験対象とした。まず、字母と検査対象文字についてそれぞれ文字重心の平均値を算出し、次に、全ての文字について平均値からの乖離

を求めた。最後に、対応する字母と検査対象文字について、それぞれの平均値からの乖離の差が基準値以上となる文字を選出した。ここで、乖離の差において基準とした値は、4.2章と同様3.75ドット以上である。この手順はすなわち、検査文字におけるばらつき度合いが字母のそれより大きいものを選出したことになる。

その結果、147文字が選出された。この選出方法の正当性を確認するために、147文字に対して従来の組版検査をおこなった。組版検査を行うにあたり、ベースとなる組版(図16)に対して、図17で灰色のマスキングが示す位置に、例えば「川」の代わりに「」,「存」の代わりに「エ」というように先ほど選出した文字

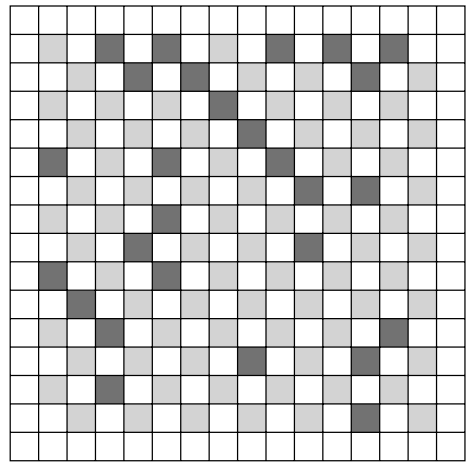


図17 文字重心の乖離が基準以上の文字の配置図

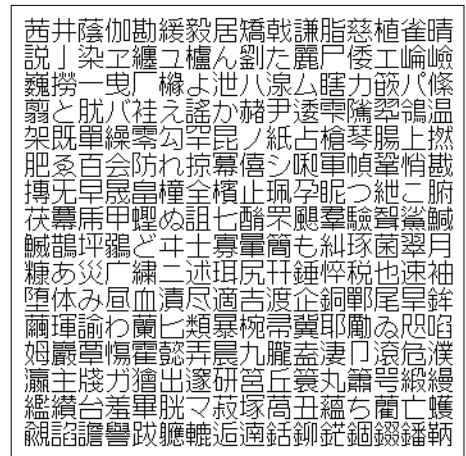


図18 文字重心の乖離が基準以上の文字を混ぜた組版

文字輪郭を用いた文字重心位置評価手法とそのフォント開発への応用（小谷）

の一部を置き換えて配置した。その組版を図 18 に示す。この組版をデザイナーが確認したところ、20 ドットの文字サイズの中で調整するという制約の下で改良が可能な文字が全部で 32 文字存在した。それらの文字について修正を加えた組版を図 19 に示す。ここでは修正した文字の位置を図 17 の濃い灰色のマス目では表示している。図 18 で見られた文字重心のばらつきが、図 19 では改善されていることがわかる。



図 19 平均文字重心に近くなるように修正した組版

以上のことから、提案する文字重心計算手法を利用することにより、対象文字全部の組版検査を行うこととはほぼ同等の検査を行うことが可能となり、膨大な工数の削減と、文字品質の向上を実現することが可能となる。

5. 可読性と文字重心

本章では、3.3 章の凸包シルエット文字重心計算手法を応用した書体の可読性評価について述べる。

5.1 可読性の主観評価

これまで、文字重心が書体の可読性に大きく関わっていることは既知とされていたが^{1),2)}、それらの関係を定量的に示す試みはされていなかった。

そこで、文字重心が書体の可読性に与える影響を調べるために、表 6 および図 20 に示す方法で主観評価をおこなった。評価対象として選定した 4 書体は、市場に流通しているビットマップフォントのゴシック体である。評価対象フォントの選定にあたり、各書体間

の文字デザインに大きな差がないことと、文字の太さの違いが主観評価に影響を与えないよう、同程度の太さの書体の中から無作為に抽出した。

表 6 読みやすさの主観評価方法

| 項目 | 内容 |
|-------|--|
| 被験者 | 32 名 |
| 対象書体 | A ~ D の 4 書体 |
| 比較方法 | 一対比較 |
| 評価対象物 | <ul style="list-style-type: none"> 178ppi の解像度をもつ液晶画面を備えた高精細ノート PC に 20 ドットのビットマップフォントを表示した QVGA サイズの画像を左右に並べて表示（図 20） 評価文章は「坊ちゃん」の冒頭から 202 文字 |
| 評価内容 | それぞれの書体について一対比較を行い、読みやすい方を選ぶ |



図 20 評価風景

また、本実験で用いた 20 ドットの文字サイズは、現行の携帯電話で一般的に使われている基準サイズである。そのため、携帯電話を想定した評価となるよう画面サイズと解像度を設定した（図 21）。

表 7 には一対比較⁹⁾によって各書体の順位付けを行い、その結果についてまとめている。この表から、主観評価では、可読性の高い方から B 書体、C 書体、D 書体、A 書体の順となっていることがわかる。



図 21 評価画面

表 7 一対比較の結果

| 順位 | 書 体 | | | |
|----|-----|----|----|----|
| | A | B | C | D |
| 1 | 1 | 20 | 8 | 5 |
| 2 | 2 | 9 | 13 | 11 |
| 3 | 1 | 2 | 10 | 16 |
| 4 | 28 | 1 | 1 | 0 |

(単位:人)

5.2 文字重心のばらつき

凸包シルエットを用いた計算文字重心を利用して文字重心のばらつきを算出する。評価文章中で表れる文字について、書体毎に文字重心の分散を求めた結果を表 8 に示す。ただし、文字重心が極端に低くなる句読点は評価対象から除く。

表 8 より、文字重心のばらつきが少ない方から、B 書体、C 書体、D 書体、A 書体の順になった。

表 8 各書体の文字重心のばらつき

| 書 体 | 文字重心の分散 |
|-----|---------|
| A | 0.70 |
| B | 0.45 |
| C | 0.58 |
| D | 0.64 |

5.3 考 察

5.1 章の主観評価結果と 5.2 章の文字重心のばらつきの関係を図 22 に示す。図 22 より、可読性と文字重心のばらつきに相関があることが認められ、文字重心のばらつきが少ない方が可読性が高いという結果が得られた。また、文字重心を指標としてフォントデザインすることの重要性が確認できた。

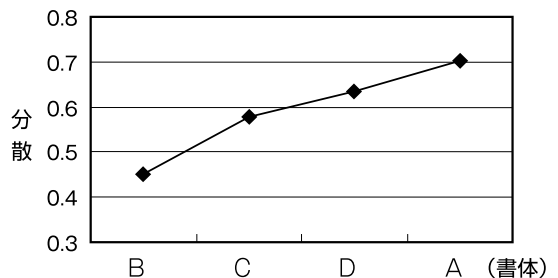


図 22 可読性と文字重心のばらつきの関係

書体の可読性の評価において、一対比較による主観評価が精度の高い手法とされているが、信頼性を高めるために被験者を多く集める必要があり、コストと時間の問題で、これまで実施されていなかった。そこで、本手法を利用することにより、書体の可読性を評価する方法として文字重心のばらつきを利用することで評価コストと時間を大幅に削減し、さらに定量的な評価が可能となる。

6. ま と め

可読性の高いフォントを効率的に開発し、文字品位を向上させるためには、可読性を左右する重要な指標の 1 つである「文字重心」を定量化する必要があった。

そこで本論文では、実際の文字開発において凸包シルエット文字重心計算手法の精度を検証し、その有効性を確認した。まず、主観文字重心および手動シルエット文字重心と比較することで、凸包シルエット文字重心計算手法の精度がより優れていることを確認した。次に、フォント開発において、字母との比較評価および、組版検査のプロセスで本手法を適用することにより、大幅な工数削減と検査精度の向上を実現した。また、フォントの可読性評価についても本手法を用いることで、評価コストを削減するだけでなく、定量的な

文字輪郭を用いた文字重心位置評価手法とそのフォント開発への応用（小谷）

評価を可能とした。

今後の課題として、フォント開発のさらなる効率化が必要である。そこで、デザイナーがリアルタイムで文字重心を把握しフォントデザインに活用できるよう、フォント開発ツールへの組込を行い効率化を進めていく。

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) 朝井宣美, 渡邊朋子, 信貴豊, 薮内優香, 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 年 12 月.
- 4) 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 年 12 月.
- 5) S. Okada, N. Koyama, Y. Asai, and A. Kotani, “Resolution enhanced, smooth FONT for Color LCD (LCFONT.C)”, “International Congress of Imaging Science (ICIS '02), Tr.4-106(P), pp. 461-462, May 2002.
- 6) 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.
- 7) 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, 2003 年 9 月.
- 8) 小谷章夫, 朝井宣美, 中村安久, 大塚正章, 密山幸男, 尾上孝雄, “文字輪郭を用いた重心位置評価手法の一検討”, “情報処理学会研究会報告 2004-HI-111, pp. 63-70, 2004 年 11 月.
- 9) 小谷章夫, 種村嘉孝, 朝井宣美, 中村安久, 大塚正章, 密山幸男, 尾上孝雄, “文字重心位置評価手法とその可読性評価への応用”, “電子情報通信学会技術研究報告 SIS2005-23, pp. 1-6, 2005 年 9 月.
- 10) 譚学厚, 平田富夫, “計算幾何学入門 幾何アルゴリズムとその応用”, 森北出版, 2001 年.
- 11) 矢作勝美, “明朝活字その歴史と現状”, 平凡社, 1976 年.
- 12) JIS X0208-1990, 財団法人日本規格協会.