

「ひらがなはカタカナよりも丸っこいよね?」: 文字の数式表現および曲率の利用可能性

小松孝徳†¹ 中村聡史†¹ 鈴木正明†¹

「ひらがなはカタカナよりも丸っこい」ことを客観的に示すために、文字を平面曲線としてとらえた上でそれを数式化し、そこから抽出した曲率を用いて文字の丸さを表現する手法を提案した。この結果をもとに、文字における数式表現および曲率の利用可能性をいくつか提案し、その将来性について議論する。

“Don’t you think Hiragana is rounder than Katakana?”: Availabilities of Mathematical Representations of Characters and its Curvature

TAKANORI KOMATSU SATOSHI NAKAMURA
MASAAKI “Macky” SUZUKI

We proposed a novel objective methodology to comprehend the roundness of the characters based on the curvature from their mathematical representation in order to verify “Hiragana is rounder than Katakana.” This paper showed the detailed description of our proposed methodology, and then discussed the availabilities and future possibilities of this methodology.

1. はじめに

日本語の文章等を文字として表記するための表記体系は主に漢字、ひらがな、カタカナの三つの文字体系によって構成されている[1]. この三つのうち、漢字は「一つ一つの文字により、言語の一つ一つの語や形態素を表す」表語文字である一方、ひらがなとカタカナは「一つ一つの文字により、音節を表す」音節文字に分類される。ひらがなとカタカナが網羅している音節の数および種類は全く同じであるが、以下のように、その用途に応じて使い分けられることが一般的である[2].

- ひらがな：形容詞と動詞の活用語尾（送り仮名）、助詞、漢字を持たないあるいは漢字では読みづらい日本語の単語、漢字の読み方の指示（振り仮名）
- カタカナ：外国の単語や名前、強調（英語ではイタリック体で書くような場面）、技術および科学用語（生物の名前。「ヒト」、「ネコ」等）

上記のような使い分けが浸透した理由は、学習指導要領などによる言語体系の整備の影響が大きいと考えられる一方、音節とは独立に存在しているひらがなおよびカタカナの「形状」、具体的にはその「丸さ度合」がそれらの使い分けに大きく関連しているのではと著者らは考えている。

ひらがなは、意味とは独立に音節のみを表現する用途で使われた漢字（借字）を極度に草体化したものの、またカタカナは、借字の一部を省略表記したものだとされている[1] (図1). そのため、ひらがなは丸みを帯びた形をしている一方、カタカナは直線的な形をしているといえる。これ

らのひらがなおよびカタカナの丸さ度合は直観的なイメージとして理解はできるものの、これまで、文字の形状や丸さ度合を客観的に扱おうという試みは著者らの知る限り行われていない。

无 えん	和 わ	良 ら	也 や	末 ま	波 は	奈 な	大 た	左 さ	加 か	安 あ
	爲 ゐ	利 り		美 み	比 ひ	仁 に	知 ち	之 し	機 き	以 い
		留 り	由 ゆ	武 む	不 ふ	奴 ぬ	川 かわ	寸 す	久 く	宇 う
	惠 ゑ	礼 れ		女 め	部 ぶ	祢 ね	天 てん	世 せい	計 けい	衣 い
	遠 えん	呂 ろ	与 よ	毛 も	保 ほ	乃 の	止 と	曾 そう	己 こ	於 お

ア	阿	イ	伊	ウ	宇	エ	江	オ	於
カ	加	キ	機	ク	久	ケ	介	コ	己
サ	散	シ	之	ス	須	セ	世	ソ	曾
タ	多	チ	千	ツ	川	テ	天	ト	止
ナ	奈	ニ	仁	ヌ	奴	ネ	祢	ノ	乃
ハ	八	ヒ	比	フ	不	ヘ	部	ホ	保
マ	末	ミ	三	ム	牟	メ	女	モ	毛
ヤ	也			ユ	由			ヨ	與
ラ	良	リ	利	ル	流	レ	礼	ロ	呂
ワ	和	ヰ	井			エ	惠	ヲ	乎
ン	尔								

図1 ひらがな（上）とカタカナ（下）と借字の関係
Figure 1 The origin of Hiragana (up) and Katakana (down) based on Kanji characters.

†1 明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科
FMS, Meiji University

そこで本研究では、ひらがなおよびカタカナの丸さ度合が、その使用方法などに与える影響を考察するための準備段階として、まず、ひらがなおよびカタカナの丸さ度合を客観的に表現する手法を検討した。具体的には、文字の一面一面を平面曲線として捕えた上で、それぞれを数式として表現する。そしてそれらの数式から各画における曲率を抽出し、これを利用した上で文字全体での「丸さ度合」を表現する「丸さ度合値」を提案した。続いて、実際の手書き文字からひらがなおよびカタカナの丸さ度合値を算出する実験を行った。最後に、実験結果についての考察を行い、本研究で提案する曲率を利用した文字の丸さ表現の利用可能性およびその将来性について議論した。

2. 数式化された文字からの「丸さ度合」抽出

2.1 文字の入力

本研究ではまず、手書き文字における文字の一面一面を平面曲線として捕えた上で、それぞれを数式として表現することを検討した。当初は、一般的なパソコンで使用されているフォントに埋め込まれた情報から数式を抽出することを考えたが、これらのフォントはアウトラインフォントと呼ばれる文字の輪郭形状のみが記録されたフォントであるため、その中心線の情報を得ることができない¹。よって、一般的なフォントからの数式抽出は断念し、コンピュータに対して入力された手書き文字のデータを数式化することとした。

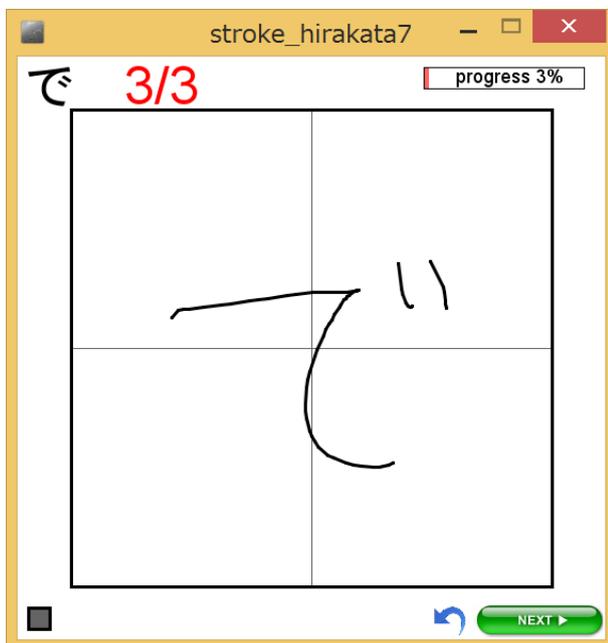


図 2 手書き文字入力システム

Figure 2 Capturing system of handwritten characters.

手書き文字入力を受け付けるシステムは、Processing にて実装され、Microsoft Surface 上で動作する。このシステムは、ユーザがスタイラスで入力した手書き文字を点の集合として取得するものである。ユーザがこのシステムを起動すると、四分分割表示された一辺 1000 pixel の正方形のフィールドが表示され (図 2)、左肩にはそのフィールドに記入すべき文字がランダムに表示される。スタイラスを用いてこのフィールド内に文字を書くと、ペンが画面に接している間には灰色で、そしてペンが画面から離れると黒色でそのペン軌跡が表示される。これらのペン軌跡は、記録された点集合を直線でつないだものである。フィールド内に指定された文字を記載して next ボタンを押すと、フィールドがクリアされ、次に記入すべき文字が左肩に表示される。next ボタンの横の矢印をクリックすると、文字を書き直すことができる。なおその際、その文字を記載する際の正しい画数を記入しないと next ボタンが押せない設定となっている。本システムでは記入すべき文字として、濁点が付与された「か」「さ」「た」「は」行の 20 文字および半濁点が付与された「は」行の 5 文字に全ひらがな 46 文字を加えた 71 文字、さらに上記と同様の濁点と半濁点を含んだカタカナ 71 文字の合計 142 文字が提示され、その提示順はランダムになるように設定された。

2.2 フーリエ級数による数式表現

入力された点の座標データから、それを順に通る平面曲線の数式表示をフーリエ級数によって求める。一般にコンピュータグラフィックなどで用いられることの多い曲線の数式化の方法としては、ベジエ曲線やスプライン曲線があるが、ベジエ曲線は制御点を通る曲線ではなく、スプライン曲線は制御点間ごとに数式を取り換える必要があり曲率を求めることが複雑になる。一方、区分的に滑らかな関数はフーリエ級数に収束することが知られていることから平面曲線とみなした文字をフーリエ級数で表すことができる。そのため、本研究においてはフーリエ級数を用いて文字を数式表示することにする。また、平面曲線において一般的な曲線を表せるように媒介変数表示で与え、平面曲線としての曲率を求めることができるようにする。

その手順としてまず、手書き入力から座標データを通る平面曲線の媒介変数表示を、

$$\begin{cases} x = f_1(t) \\ y = f_2(t) \end{cases} \quad -\pi \leq t \leq \pi$$

としたとき、 $f_1(t)$ 、 $f_2(t)$ は周期関数ではないが、

$$f_i(t) = f_i(t + 2n\pi) \quad n \text{ は整数}$$

と定義することにより周期関数とみなすことができる。さらに、文字の「角」も近似的に急な曲がり方をした滑らか曲線とみなすことにより、 $f_1(t)$ 、 $f_2(t)$ はフーリエ級数で表

¹ シングルストロークフォントと呼ばれる中心線のデータが含まれたフォントも存在しているが、プロッタなどの特殊用途でのみ使用されている。

示可能である。すなわち、

$$f_i(t) = \frac{a_{i0}}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_{in} \cos nt + b_{in} \sin nt)$$

と表すことができる。ここで、 a_{in} と b_{in} は

$$\begin{cases} a_{in} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f_i(t) \cdot \cos nt \, dt \\ b_{in} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f_i(t) \cdot \sin nt \, dt \end{cases}$$

で求めることができる。また、座標のデータは離散であるが、上記の式は座標データが等間隔に並んでいるとすると、 a_{in} と b_{in} を求める積分を和で近似することができる。この手法によって、媒介変数表示された平面曲線としての各画の数式を得ることができる。

ただし、無限級数のままでは実際にその数式を扱うことができない。たとえば、次節で説明する曲率を求めることはできないので、有限項まで打ち切ったフーリエ級数を用いる必要がある。何次まで打ち切るかについては、得られた式を画像として出力した際に、十分収束していると見なせる次数までとする。具体的には、 n 次までフーリエ級数で得られた文字の画像と $n+1$ 次までのフーリエ級数で得られた文字の画像の各点の差が平均 2 pixel 以下の差しかないとき、その n 次までの有限フーリエ級数を用いることにする。

2.3 曲率の取得

平面曲線に対して、曲率と呼ばれる各点で曲線がどの程度まがっているかを表す量が定義され、曲率は平面曲線の本質的な情報をすべて含んでいる。すなわち、曲率が一致する平面曲線は平行移動と回転でぴったりと重ね合わせることができることが知られている。

ここで一般的に媒介変数表示された平面曲線の曲率の定義を述べる。平面曲線が

$$\begin{cases} x = f_1(t) \\ y = f_2(t) \end{cases}$$

と媒介変数表示されているとき、パラメータ t を弧長パラメータ

$$s = \int_0^t \sqrt{\left(\frac{df_1}{dt}\right)^2 + \left(\frac{df_2}{dt}\right)^2} \, dt$$

を用いて変数変換を行う。以後、平面曲線は弧長パラメータ s を用いて

$$\begin{cases} x = f_1(s) \\ y = f_2(s) \end{cases}$$

と表されているとする。ベクトル \mathbf{e}_1 を

$$\mathbf{e}_1 = \left(\frac{df_1}{ds}, \frac{df_2}{ds} \right)$$

で定義し、 \mathbf{e}_1 を反時計回りに 90 度回転させたベクトルを \mathbf{e}_2 とする。具体的には、

$$\mathbf{e}_2 = \left(-\frac{df_2}{ds}, \frac{df_1}{ds} \right)$$

である。このとき、 \mathbf{e}_1 の微分は \mathbf{e}_2 のスカラー倍になることが示され、曲率はそのスカラーとして定義される。すなわち、

$$\frac{d\mathbf{e}_1}{ds} = k(s) \mathbf{e}_2$$

の $k(s)$ を曲率と呼ぶ。

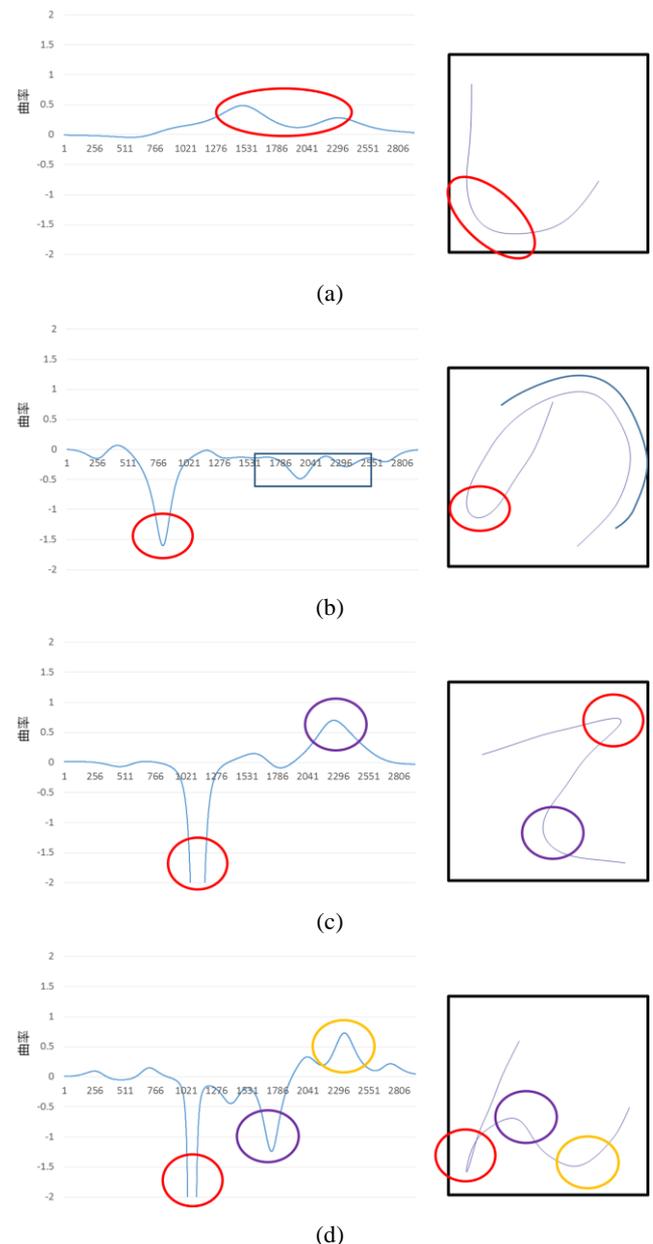


図 3 ひらがな「し」(a), 「の」(b), 「て」(c), 「ん」(d)の曲率と実際の文字

Figure 3 Curvatures of Hiragana “Shi” “No” “Te” and “N” and actually written characters

ここで、システムに入力された一画のひらがな「し」「の」「て」「ん」から計算された各点における曲率を図 3 に示

す。なお、曲線が反時計回りの際には曲率は正の値を示し、時計回りの際には負の値を示している。まず、図3(a)の「し」に着目すると、文字形状は書き始めからしばらくは直線基調となっており、この部分の曲率は0付近の値を示している。そして反時計回り方向の緩いカーブが開始されると曲率の値が0.5付近まで上昇し（図中の赤円で示した箇所）、カーブが終わって再び直線基調に戻ると再び曲率の値が低くなっていることが観察される。そして、図3(b)の「の」に着目すると、書き始めから左下に向かう際には文字形状が直線基調のために曲率の値は0付近を示しているが、左下から時計回りの大きなカーブが始まる瞬間に曲率の値が-1.5付近まで下降し（図中の赤円で示した箇所）、それ以降のゆるやかなカーブ区間になると曲率が-0.25付近で推移していることが理解できる（紺色の四角で囲った箇所）。

続いて、図3(c)の「て」に着目すると、書き始めから右方向に移動している間、曲率の値は0付近を推移しているものの、運筆方向が逆転する瞬間に約-8という非常に大きな曲率の値を示している（赤円）。その後、再び直線基調に入るために曲率の値は再び0付近に戻るが、反時計回りの曲線が開始されると、曲率の値を上昇させていることがわかる（紫円）。最後に図3(d)の「ん」に着目すると、書き始めからしばらくは直線基調が続くが、運筆方向が上方向に変化する瞬間、約-170という非常に大きな曲率の値を示している（赤円）。なおこの例の場合、運筆方向が変化する折り返し点が結び目のような形状となっているために、時計回り方向の曲線とみなされ、曲率が負の値を示している。この直後は一瞬、直線基調に戻るために曲率の値が0付近まで回復するものの、凸部分の形状が始まると曲率の値が-1.3付近まで再び下降している（紫円）。そして最後に凹部分（黄色）の記述が始まると曲率が正の値を取り始めていることが理解できる。

2.4 丸さ度合値

文字の各画を示す数式、そして各画を構成する点集合上各点における曲率を利用して、その文字全体の丸さ度合値を示す数値「丸さ度合値 (Roundness Value)」を提案する。具体的には、曲率の絶対値が0.2~0.6を示している範囲が全文字長さのうちどのくらいの割合を占めているかを「丸さ度合値」として定義する。 n 画の文字における、 i 画目の全体長さを $total_length_i$ 、曲率の絶対値が0.2から0.6の範囲の長さを $curved_length_i$ とした場合、丸さ度合値は、以下の式にて計算される。

$$Roundness\ Value = \frac{\sum_{i=1}^n curved_length_i}{\sum_{i=1}^n total_length_i}$$

曲率が0.2の場合とは、文字を入力するフィールドの長さ（長さ10）の半分を半径（ $r=5$ ）とする円（フィールドにちょうど収まる大きさの円）を描いた場合の曲率の値、また曲率が0.6の場合とは、文字を入力するフィールドの

1/6の長さを半径とする円を描いた場合の曲率の値である（図4）。よって、曲率が0.2より小さい時には直線に近くなり、曲率が0.6より大きい場合には角ばった形状となる。これらの値は、ひらがなを描く際に丸みを帯びていると考えられる範囲を著者らの合議にて決定したものである。

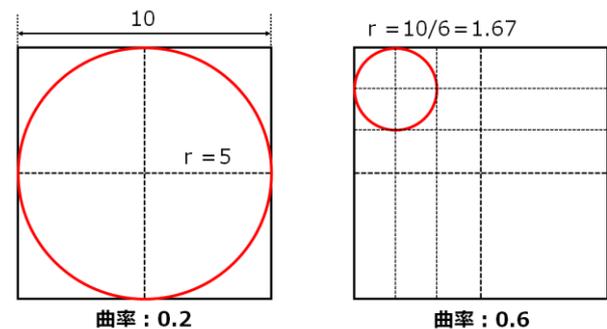


図4 文字入力フィールドと曲率との関係

Figure 4 Curvatures and System's input area.

3. 実験

3.1 概要

複数人の手書き文字データから全ひらがな（46文字）および全カタカナ（46文字）における文字の丸さ度合値を算出する実験を行った。

本実験には著者3名を含む10人（男性：6名、女性4名：19歳~50歳）がボランティアとして参加した。参加者には、一日一度、2.1節で説明した文字入力システムを用いて濁点、半濁点を含んだ全ひらがな71文字および濁点、半濁点を含んだ全カタカナ71文字の計142文字を入力するように依頼した。これらの文字入力においては、nextボタンを押すまでは何度でも文字を書き直してもよいこととした。なお、これら142文字の入力作業に要する時間は約15分程度であった。そして、これの入力作業を参加者にとって都合のよい五日間にわたって行うよう依頼した。これらの入力作業は平成24年5月8日から5月28日にわたる21日間で行われた。なお参加者には参加への謝礼として500円程度の粗品が進呈された。

3.2 結果

10人分5回の手書き文字データのうち、濁点および半濁点が付与された文字以外の、ひらがな46文字およびカタカナ46文字の合計92文字の平均丸さ度合値を算出した。これら平均丸さ度合値および標準偏差を、ひらがなおよびカタカナごとにまとめたのが、図5および図6である。この二つの図を比較することで、カタカナに比べてひらがなの方が、丸さ度合値が大きな値を示しているという傾向の存在が確認できよう。

あ	い	う	え	お
0.312 (0.055)	0.219 (0.086)	0.351 (0.116)	0.219 (0.042)	0.318 (0.076)
か	き	く	け	こ
0.175 (0.072)	0.209 (0.072)	0.101 (0.058)	0.116 (0.068)	0.309 (0.091)
さ	し	す	せ	そ
0.199 (0.057)	0.236 (0.075)	0.179 (0.057)	0.149 (0.054)	0.220 (0.051)
た	ち	つ	て	と
0.173 (0.051)	0.281 (0.075)	0.287 (0.096)	0.215 (0.064)	0.205 (0.086)
な	に	ぬ	ね	の
0.210 (0.065)	0.240 (0.064)	0.335 (0.067)	0.217 (0.058)	0.352 (0.070)
は	ひ	ふ	へ	ほ
0.191 (0.055)	0.253 (0.075)	0.340 (0.087)	0.093 (0.042)	0.190 (0.043)
ま	み	む	め	も
0.202 (0.055)	0.212 (0.085)	0.300 (0.079)	0.317 (0.046)	0.218 (0.103)
や		ゆ		よ
0.156 (0.049)		0.344 (0.078)		0.233 (0.084)
ら	り	る	れ	ろ
0.355 (0.108)	0.142 (0.073)	0.362 (0.107)	0.127 (0.052)	0.330 (0.092)
わ		を		ん
0.232 (0.048)		0.209 (0.059)		0.239 (0.066)

図 5 ひらがな 46 文字における平均丸さ度合値と標準偏差

Figure 5 All 46 Hiragana's average roundness values.

ア	イ	ウ	エ	オ
0.168 (0.053)	0.043 (0.057)	0.159 (0.066)	0.061 (0.065)	0.048 (0.032)
カ	キ	ク	ケ	コ
0.096 (0.044)	0.025 (0.037)	0.131 (0.060)	0.140 (0.089)	0.068 (0.037)
サ	シ	ス	セ	ソ
0.091 (0.046)	0.191 (0.080)	0.075 (0.051)	0.124 (0.045)	0.119 (0.077)
タ	チ	ツ	テ	ト
0.153 (0.074)	0.097 (0.049)	0.158 (0.081)	0.125 (0.065)	0.041 (0.063)
ナ	ニ	ヌ	ネ	ノ
0.074 (0.061)	0.085 (0.075)	0.081 (0.053)	0.116 (0.059)	0.065 (0.079)
ハ	ヒ	フ	ヘ	ホ
0.083 (0.101)	0.117 (0.055)	0.084 (0.054)	0.088 (0.037)	0.114 (0.063)
マ	ミ	ム	メ	モ
0.069 (0.037)	0.139 (0.112)	0.072 (0.038)	0.056 (0.051)	0.103 (0.059)
ヤ		ユ		ヨ
0.052 (0.026)		0.091 (0.055)		0.076 (0.054)
ラ	リ	ル	レ	ロ
0.126 (0.061)	0.142 (0.077)	0.102 (0.054)	0.062 (0.024)	0.078 (0.042)
ワ		ヲ		ン
0.124 (0.057)		0.077 (0.039)		0.179 (0.088)

図 6 カタカナ 46 文字における平均丸さ度合値と標準偏差

Figure 6 All 46 Katakana's average roundness values.

そこで、ひらがなとカタカナとの間の丸さ度合値に統計的有意差があるのかどうかを確認するために、二要因参加者内分散分析(独立変数その1: 仮名種類・二水準(ひらがな/カタカナ), 独立変数その2: 記述順・五水準(1~5日目), 従属変数: 丸さ度合値)を行った。その結果、46文字中39文字において、独立変数その1要因(ひらがな/カタカナ)の主効果に有意差が観察され、ひらがなの方がカタカナよりも丸さ度合値が有意に大きいことが確認された。独立変数その1要因の主効果に有意差ではなく有意傾向が観察されたのが「し/シ」「せ/セ」「く/ク」の3文字であり、そのうち「く/ク」はカタカナの丸さ度合値の方がひらがなよりも大きい傾向があることが確認された。そして独立変数その1要因の主効果に有意差が確認されなかったのが「け/ケ」「た/タ」「へ/へ」「り/リ」の4文字であった。よってこれらの結果より、多くの文字において、ひらがなの方がカタカナよりも丸さ度合値が有意に大きい値を示しており、ひらがなよりもカタカナの方が丸さ度合値が有意に大きいという文字は存在していなかったといえた。さらに、直線的なひらがなはその丸さ度合値が低く、曲線的なカタカナはその値が高めに表示されていることも確認できたため、この丸さ度合値は、我々がひらがなおよびカタカナから感じる印象を適切に数値化したものだといえよう。

4. 提案手法の具体的な応用例

前節での実験結果より、「ひらがなはカタカナよりも丸っこい」ことを客観的に示すことができる「丸さ度合値」の妥当性を確認することができたといえる。この丸さ度合値および文字から抽出された曲率を利用することで、著者は以下のような具体的な研究課題に取り組むことを検討している。

4.1 オノマトペにおけるひらがなとカタカナの使用について

オノマトペとは、いわゆる擬音語・擬態語・擬声語などの総称で、一般語彙に比べて臨場感にあふれ、繊細な表現を可能とするという特徴がある。これらオノマトペは、ひらがなで記載されることもあればカタカナで記載されることもある。それらの使い分けについて、例えば、擬音語はカタカナ、擬態語はひらがなで記載すべき、また、擬態語・擬音語ともカタカナで表現すべきという諸説が存在しているが、実際にはそれらの使い分けについての厳密な基準は存在していない²。

著者らはこのオノマトペのひらがなとカタカナの使い分けについて、以下のような仮説の検証を検討している。

- 丸み度合値の高いひらがなは、やわらかい印象のオノマトペの表記に使われる。
- 丸み度合値の低いカタカナは、固い印象のオノマトペの表記に使われる。

これまで著者のうち一人は、オノマトペから感じる印象を数値化するという研究活動に従事しており、第一音節と第二音節を繰り返すXYXY型オノマトペ(例: かちかち, どんどん)の印象を、{大きさ, 柔らかさ, 鋭さ, 躍動感}という四つの属性値として表現する手法を提案している[3]。ここから、ひらがなもしくはカタカナとして記載されたオノマトペにおける文字の丸さ度合値と、数値化されたオノマトペの柔らかさ属性値との関係性を調査することで、上記の仮説の検証が可能となると考えている。この結果は、昨今のオノマトペの仮名表記問題に対して、一石を投じることができると期待される。

さらにこの研究を進めることで、共感覚的形象徴という新たな概念の提案も可能になるのではと考えている。この概念は、共感覚的音象徴[4]という考え方と比較してみると理解しやすい。共感覚的音象徴とは、「言語とは独立した特定の音が特定の感覚モダリティ(視覚, 触覚, 味覚など)と結びついている」という考え方である。共感覚的音象徴の代表例が、Koehlerによるtakete/malumaという無意味語と以下の図7に示す図形との結びつきである[5]。

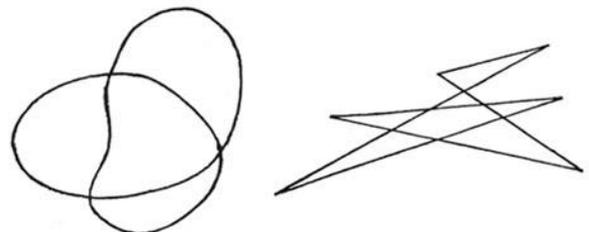


図7 Koehlerの図形

Figure 7 Koehler's two shapes.

具体的には、図6のような二つの図形を実験参加者に見せ、taketeとmalumaという無意味語のうちどちらがどちらの図形に相応しいかを尋ねたところ、90%以上の参加者が角ばった右側の図形にtaketeを、丸い方の図形にmalumaを選択したことを報告した研究であり、様々な言語話者においても同様の結果が成り立つことが複数の研究によって示されている[6,7]。つまりこれは、特定の音と対象における特定の視覚的特徴とが言語と独立に結びついていることを示したものである。

その一方、我々が計画している研究では、特定の「文字

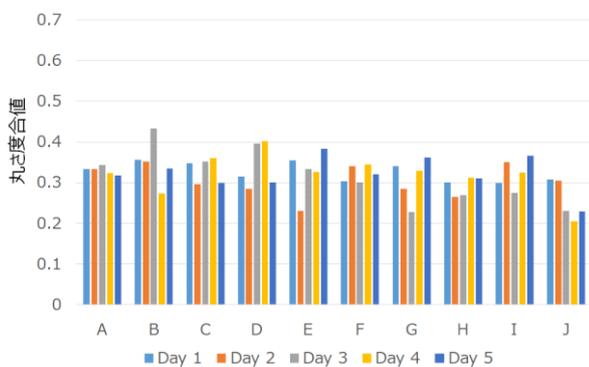
れているが、厳密な規定とは言い難い。

² 記者ハンドブック[2]などでは、「擬音語・擬声語はなるべく片仮名で書くが、平仮名で書いてもよい。」「擬態語は平仮名で書く。ただしニュアンスを出したい場合は片仮名書きしてよいが、乱用しない。」などと説明さ

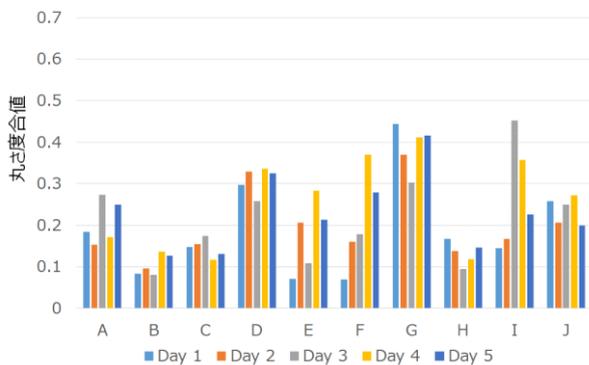
の丸さ割合」と対象における特定の「数値化された印象」(例. 柔らかさという印象値)との結びつきとを検討するものであるため、文字の丸さ割合値という言葉の意味とは完全に独立した「形」象徴が、他のモダリティに与える影響について検討するものである。よって、この研究を進めることで、「形」象徴およびその共感覚性についても議論が可能になると期待される。

4.2 個人差の影響

本研究では、10人の実験参加者から五日間にわたって手書き文字データを採取したため、参加者の「個人差」についても検討が可能である。カタカナにおける丸さ割合値はその値が低いために個人差が出にくいと考え、本稿では、ひらがなに注目した考察を行う。



(上) 「め」の丸さ割合値



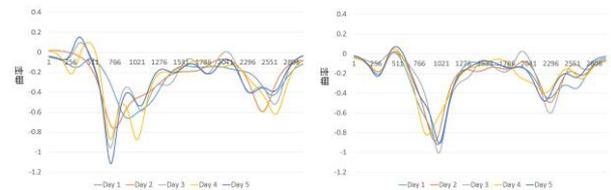
(下) 「も」の丸さ割合値

図8 「め」の二画目(上)、「も」の一画目の丸さ割合値
Figure 8 Roundness value for the 2nd stroke of “Me” (up) and the 1st stroke of “Mo” (down).

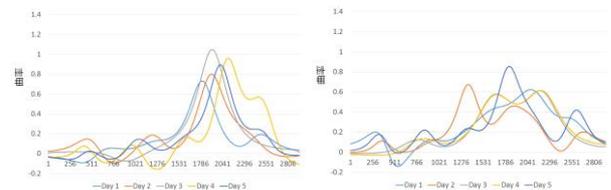
まず、図5に示した丸さ割合値の標準偏差に着目し、その値が0.05よりも小さい文字5種類「へ(0.042)」「ほ(0.043)」「め(0.046)」「や(0.049)」「え(0.042)」,そして、その値が0.1よりも大きい文字4種類「も(0.103)」「ら(0.108)」「う(0.116)」「る(0.107)」に注目した。標準偏差が小さい値を示している文字はその丸さ割合値自体が小さい傾向にあることが想像され、実際に標準偏差が小さい5文字の丸さ割合値の平均は0.195(「へ(0.093)」「ほ(0.190)」「め(0.317)」「や(0.156)」「え(0.219)」,大きい4文字の平均は0.322(「も(0.218)」「ら(0.355)」「う(0.351)」「る(0.362)»)であった。しかしその中でも「め」の丸さ割合値は比較的高い値を示しながらも標準偏差が小さく、また、「も」の丸さ割合値はそれほど大きくない一方、標準偏差が大きいことが確認された。このことから、丸さ割合値の大小にかかわらず、個人差が現れにくい文字、現れやすい文字などが存在していると考えられる。

図8に、「め」(上)「も」(下)における丸さ割合値の算出結果を示す。これより、標準偏差が小さい「め」に関しては参加者間にてばらつきがほとんど見られない一方、標準偏差が大きい「も」に関しては参加者間にて丸さ割合値が大きくばらついていることが見て取れる。ここで示した「も」のように、参加者ごとで曲率の値が大きく変動している文字が存在しているということは、手書き文字における丸さ割合値は個人個人で特有の値を示している可能性があるとも考えられる。

図9に、参加者B(左)およびG(右)が記入した「め」「も」における曲率の遷移を示す。これより、標準偏差が小さい「め」に関しては参加者間にてばらつきがほとんど見られない一方、標準偏差が大きい「も」に関しては参加者間にて丸さ割合値が大きくばらついていることが見て取れる。ここで示した「も」のように、参加者ごとで曲率の値が大きく変動している文字が存在しているということは、手書き文字における丸さ割合値は個人個人で特有の値を示している可能性があるとも考えられる。



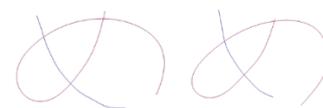
(上) 参加者B(左)およびG(右)が記入した「め」



(下) 参加者BおよびGが記入した「も」

図9 参加者BおよびGの「め」「も」における曲率の遷移

Figure 9 Curvature pattern of the 2nd stroke “Me” and “Mo” of participant B and G.



(上) 参加者B(左). G(右)が記入した「め」



(下) 参加者B, Gが記入した「も」

図10 参加者B, Gが一日目に記載した「め」「も」

Figure 10 Handwritten “Me” and “Mo”

そこで、丸さ度合値を算出する際に用いている曲率の遷移を確認することで、個人差の把握が可能かどうかを検討した。ここではその一例として、参加者 B と G が記入した「め」の二画目と「も」の一画目に注目する。図 9 に参加者 B の「め」「も」の曲率の遷移、および参加者 G の「め」「も」の曲率の遷移を示す。なお、参加者 B および G の記載した「め」「も」の画像情報を図 10 に示す。

まず、図 9 におけるそれぞれの四つの図それぞれを確認すると、両参加者ともに各文字における五日間の曲率の遷移パターンは非常に安定していることが確認できる。実際、3.2 節の二要因参加者間分散分析において独立変数その 2：記述順要因（五水準：1～5 日目）の主効果に有意差が観察されたのも、46 文字中「ち」「ね」の 2 文字のみだけであった。よって、曲率の遷移という情報量は、その個人から安定して抽出できるブレの少ない情報であるといえる。

次に、図 9 の上段に示した両参加者における「め」の二画目の曲率の遷移を比較すると、非常に似たような曲率の遷移パターンを示していることが確認できる。図 10 に示した実際の手書き文字「め」を比較しても、大きな差があるとは言い難い。よって、視覚的に類似した文字においては、その曲率の遷移パターンも非常に類似しているということが理解できる。

そして図 9 の下段に示した「も」の一画目の曲率の遷移パターンを比較すると、大局的には 2000 [index] 周辺をピークとした凸形状といった同様の遷移パターンを示しているものの、細かくみると、曲率の変化のパターンが参加者間で大きく異なっていることが確認できる。図 10 に示した実際の手書き文字を参照しても、これらの文字には大きな個人差が存在しているといえる。よって、視覚的に異なる文字においては、その曲率の遷移パターンも異なっているということが理解できる。

以上の考察は、以下の二点としてまとめられる。

1. 個人内における手書き文字の曲率の遷移パターンは非常に安定している。
2. 視覚的に類似した文字間の曲率の遷移パターンは類似している一方、視覚的に異なる文字間の曲率の遷移には大きな差異が認められる。

このことから、文字を数式化することで得られる曲率という情報に着目することで、個人認証技術や文字認識技術への応用可能性が示唆されたといえる。

4.3 さらに可能性および考慮すべき点

文字を数式化することで得られる曲率の利活用については、上記の二項目以外にも様々な応用を現在検討中である。例えば、「キレイな文字を書く際のお手本として、曲率の遷移パターンを利用することは可能なか」ということ

についての検討を始めている。具体的には図 3 や 9 に示したような曲率の遷移パターンを把握しながら文字を書くことで、キレイな文字を書く人の運筆パターンを体験することができ、結果として、キレイな文字を書くための運筆のリズムやメリハリのようなものを体得できるのではないかと考えている。この件に関連して、いわゆる「キレイ」な文字と「キレイじゃない」文字との違いが、それらの曲率にどう表現されているのかについても解析の準備を進めている。

また、ひらがなおよびカタカナ以外の文字に対しても同様の数式化を施すことで、例えばアルファベットの大小文字と小文字から受ける印象の違いなどを客観的に示すといった研究の実施も検討している。

さらに、数式化した文字から曲率以外の情報を抽出することも検討していきたい。ある対象を数式として表現することの最大のメリットは、それらに対して算術を施すことができるという点だと我々は考えている。よって、「数式化された文字」に対してさまざまな算術を施すことの可能性の模索について、今後は様々なアプローチを検討していきたい。

その一方で、現在の文字の数式化において表現されていないのが、画と画との位置関係である。本稿では、文字を一画一画分解して、それぞれを別箇に扱うことで数式化を実現しているが、一つの文字というものを考えた場合、これら複数の画の位置関係、特にバランスを考えることは非常に重要な課題であると考えている。よって、今後は複数の画の関係性をどのように扱うのかについての客観的方法について検討していきたい。

5. 関連研究

本稿では、文字を平面曲線と捕えた上で、文字のそれぞれの画をフーリエ級数によって数式化し、その数式から曲率を算出し、最終的にその文字の丸さ度合を表現する手法を提案したものである。このアプローチに関連した研究としてまずは、オンライン手書き文字の認識に関する研究が挙げられよう³。これらの研究では、文字を構成する筆点列から何らかの特徴量の抽出を行い、それを辞書データと対応付けることで文字の識別を行うことが一般的である [8]。その特徴点の抽出の際には、Rammer の方法 [9] が多く用いられている。この方法以外にも、複素フーリエ変換 [10]、フーリエ記述子 [11] を用いた方法も提案されている。しかしながらこれらの研究においては、筆点列を数式として表現することは行われていない。また、曲率を用いて文字認識を行う研究は、オフライン手書き文字認識分野において散見されるものの [12]、曲率はあくまでも文字認識にお

³ これに対して、オフライン手書き文字認識という方法もあるが、この方法は文字を画像として処理することが一般的である。

ける特徴量の一つという位置づけとして扱われている。

一般的に「文字認識」とは、文字に現れる個人差をできるだけ排除する方向の研究であるが、それとは逆に、文字に現れる個人差を活かそうという研究も存在している。これらの研究アプローチは、何らかの方法で個人差を把握しているため本研究のアプローチと非常に近いといえる。例えば、個人の筆跡を活かしてフォントを作成するシステムの提案などは、個人差を活かした研究の一例といえる [13]。しかしながらこの研究では、ベクトル量子化によって文字を圧縮した情報表現を対象としている。よって、文字を数式化してそこから計算される曲率に注目するという本研究のアプローチは、これまで前例がなく新規性が非常に高いといえる。

6. おわりに

本研究では、「ひらがなはカタカナよりも丸っこい」ことを客観的に示すために、文字を平面曲線としてとらえた上でそれを数式化した上で曲率を抽出し、その曲率を利用して文字の丸さを表現する「丸さ度合値」を提案した。この丸さ度合値によって、我々がひらがなおよびカタカナから感じる印象を適切に数値化することが可能となった。今後は、この丸さ度合値を利用することで、オノマトペにおける仮名表記についての客観的議論を行うことを予定している。さらに、曲率の遷移パターンに注目することで、手書き文字における個人差の把握、さらには個人認証技術などへの応用も期待される。本研究で提案した、文字の数式化、曲率の利用という二つのトピックにて、今後様々な研究活動を展開していくことを検討している。

参考文献

- 1) 金田一春彦：日本語，岩波書店 (1988).
- 2) 一般社団法人 共同通信社 編著：記者ハンドブック第12版 新聞用字用語集，共同通信社 (2010)
- 3) Komatsu, T.: Quantifying Japanese Onomatopoeias: Toward Augmenting Creative Activities with Onomatopoeias, In Proceedings of the 3rd Augmented Human International Conference (AH12), article No. a-15 (2012)
- 4) Hinton, L., Nichols, J., and Ohara, J. J. (eds.): Sound Symbolism, Cambridge University Press (1994).
- 5) Koehler, W.: Gestalt Psychology: An introduction to new concepts in modern psychology, Liveright Co. (1929).
- 6) Lindauer, M. S.: Size and Distance Perception of the Physiognomic Stimulus: Taketa, Bulletin of the Psychonomic Society, Vol. 26 (3), 217-220 (1988).
- 7) Lindauer, M. S.: The Meanings of the Physiognomic Stimuli: taketa and maluma, Bulletin of the Psychonomic Society, Vol. 28 (1), 47-50 (1990).
- 8) 朱 碧蘭, 中川 正樹：オンライ手書き文字認識の最新動向, 電気情報通信学会誌 Vol. 95 (4), pp.335-340 (2012)
- 9) Ramer, U.: An iterative procedure for the polygonal approximation of plan closed curves, Computer Graphics and Image Processing, Vol.1 (3), 244-256 (1972).
- 10) Granlund, G.H.: Fourier Preprocessing for Hand Print Character

Recognition, IEEE Transactions on Computers, Vol. C-21 (2), 195-201 (1972).

- 11) 大仲 斉, 馬籠 良英：フーリエ記述子を用いたオンライン文字認識, 情報処理学会第46回全国大会, 2-203, 7C-8 (1993)
- 12) 三好 利昇, 永崎 健, 新庄 広：正規化協調型の文字線曲率特徴抽出方法と活字文字認識への適用, 電子情報通信学会技術研究報告.PRMU, パターン認識・メディア理解 110(467), 105-110 (2011)
- 13) Shin, J. and Suzuki, K.: Interactive system for handwritten-style font generation, In Proceedings of the 4th International Conference on Computer and Information Technology, pp. 94 – 100 (2004).