

人工的悪筆文字作成による手書き文字評価の研究

渡邊 洋一・猿田 和樹

我々は、手書き漢字の特徴を概形特徴と詳細特徴の総合としてとらえ、「悪筆－良筆」を客観的に予測する手法について検討してきた。その結果、的中率90.8%という高い精度で判別予測が可能な手法を開発するとともに、文字の概形的歪みや特に中心部の詳細特徴の錯綜が読み手の評価を下げることを明らかにした（渡邊・猿田，2003）。文字の品質評価法はコンピュータによる文字認識技術が開発されて以来いくつか提案されているが（例えば、加藤・横澤，1992）、我々の手法の特徴は、(a)指定された枠の中に指定された用具で丁寧に筆記された字体ではなく比較的自由に筆記された書体を対象としたことと、(b)概形（大局的）特徴と詳細（局所的）特徴の総合という人間の情報処理に対応するアプローチをとったことにある。

しかしこの手法は、95文字という限られた文字サンプルに依存したものであり、未だ一般化するには至っていない。予測の精度を上げ信頼性の高い客観的指標を求めるためには、極めて多数の手書き文字サンプルについて検討するのほひとつの方法であるが、決して効率の良い方法とは言えない。本報告は、悪筆文字を人工的に作成し文字評価・認識の研究に適用した結果である。多様な手書き文字パターンを人工的に生成することができれば、多量のサンプル収集の手間を省くことができると同時に、関係要素を統制することにより人間の読みのプロセスについて定量的に検討することも可能となると考えられる。我々は、既存の字体を、これまでに得られた人の判読基準に基づいて論理的に変形する方法をとった。この手法が成功すれば、人の自然な筆記に近い良筆文字・悪筆文字を作成でき、将来的には悪筆文字を良筆文字に変形することも可能と考えられる。

数量化理論による悪筆度合の定量化

我々が開発したのは、特に文字のバランスに着目した概形の特徴と、文字を構成する線の詳細な特徴を総合して定量的指標を導くものであった（渡邊・猿田，2001）。

具体的には、数量化理論第Ⅱ類を適用していくつかのアイテム（変数）内のカテゴリーに良筆・悪筆をもっとも良く分離させる重みづけ係数を求めた。図1に概形特徴の抽出図式を、表1にアイテム・カテゴリーの係数とレンジ・偏相関係数等を示す。表1の各アイテムの該当するカテゴリー係数の総和がその文字パターンのサンプル数量とよばれる。

表1 数量化理論第Ⅱ類によるアイテム・カテゴリ数量とレンジ・偏相関係数

アイテム	カテゴリー	頻度	カテゴリ係数	レンジ	偏相関係数
1. 縦横比	0.7未満	5	-0.84	1.04	0.40
	1.3未満	72	0.20		
	1.3以上	18	-0.56		
2. 左右比	0.8未満	24	0.14	0.19	0.11
	0.8以上	71	-0.05		
3. 上下比	1.2未満	85	0.07	0.67	0.24
	1.2以上	10	-0.60		
4. 対角比	0.9未満	34	-0.22	0.34	0.19
	0.9以上	61	0.12		
5. 総ドット数	70画素未満	33	-0.37	0.56	0.30
	70画素以上	62	0.19		
6. 点・線の長さ	点・線が短すぎか長すぎ	37	-0.25	0.41	0.24
	点・線に問題はない	58	0.16		
7. 線の揺らぎ	線が波打ったり曲がっている	29	-0.11	0.15	0.08
	線はなめらか	66	0.05		
8. 省略	点・線が省略	22	-0.58	0.76	0.31
	省略はない	73	0.18		
9. 交差・接触	点・線が不要な交差・接触	21	-0.42	0.54	0.28
	不要な交差・接触はない	74	0.12		
10. 連続	点・線が連続している	26	-0.56	0.77	0.35
	連続はない	69	0.21		
相関比		0.64			
重相関係数		0.80			

(渡邊・猿田 (2001) より)

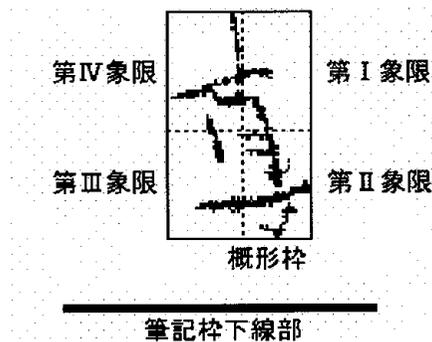


図1 概形特徴の抽出図式

この値で任意の文字パターンの「悪筆度-読みにくさ」が示される。ここで、縦横比とは、図1に示す、文字に外接する長方形の縦の長さ／横の長さであり、以下、この長方形を縦横2等分した4つの象限内の文字の黒地部分（文字を構成する点・線の占める部分）の面積の比である。左右比は（第Ⅲ象限＋第Ⅳ象限）／（第Ⅰ象限＋第Ⅱ象限）、上下比は（第Ⅰ象限＋第Ⅳ象限）／（第Ⅱ象限＋第Ⅲ象限）、対角比は（第Ⅰ象限＋第Ⅲ象限）／（第Ⅱ象限＋第Ⅳ象限）で

ある。ただし、パターンの大きさに対応する総ドット数については、先の研究では文字の実寸を1mm平方のセル単位で表したが、今回はパソコンのディスプレイ表示とし、64×64画素に正規化したパターンを用いたので厳密な検討からは除外することとした。

人工的悪筆文字の生成

表1から、文字概形の左右比・上下比などの過小・過大がバランスを崩し文字評価の低下を招くことがわかる。そこで、表2に示すように、文字を描いた64×64画素の正方形を、一辺の長さが対辺の1/2の台形に変形する措置を講じた。表2に、全面均等に黒地が分布するとした場合の格子パターンの模式図と各変数の理論的变化を示した。ここから、概形枠の台形変形という単純な線形変形でも、文字の特徴に様々な影響の及ぶことがわかる。まず変形により全般的に大きさが縮小する。左右比・上下比という概形特徴に影響するのは当然として、表2の格子パターンの交点が示すように、パターンの構成要素間の距離が変化する。これにより、文字を構成する線の相対的長さも変化するとともに線密度が変化し交差接触の様相も変化することが予想される。

具体的に材料としたのは、文字概形の分類に基づき、①比較的均等な構造から2文字（国・圃）、②縦並列構造から2文字（折・列）、③横並列構造から2文字（志・安）、④偏った構造から2文字（近・庄）、⑤複合構造から2文字（議・熊）の計10文字をHG正楷書体PROで描いたものを用いた。10文字×5（原形+変形4種）で50文字になる。

図2に原形と変形パターンを示す。活字体の中では比較的手書き文字に近い書体として楷書体を用いたわけだが、現実の文字は理論的パターンとは異なり黒地部分が全面均等に分布する

表2 台形変形の理論的効果

変形	概形	縦横比	左右比	上下比	対角比	大きさ
正規		1	1	1	1	1
上半		1	1	0.71	1	0.75
下半		1	1	1.40	1	0.75
左半		1	0.71	1	1	0.75
右半		1	1.40	1	1	0.75

(注) 正規とは正楷書体PRO原形を指す

	均等構造		縦並列構造		横並列構造		偏った構造		複合構造	
正規	国	囿	折	列	志	安	近	庄	議	熊
上半	国	囿	折	列	志	安	近	庄	議	熊
下半	国	囿	折	列	志	安	近	庄	議	熊
左半	国	囿	折	列	志	安	近	庄	議	熊
右半	国	囿	折	列	志	安	近	庄	議	熊

図2 楷書体とその変形文字パターン

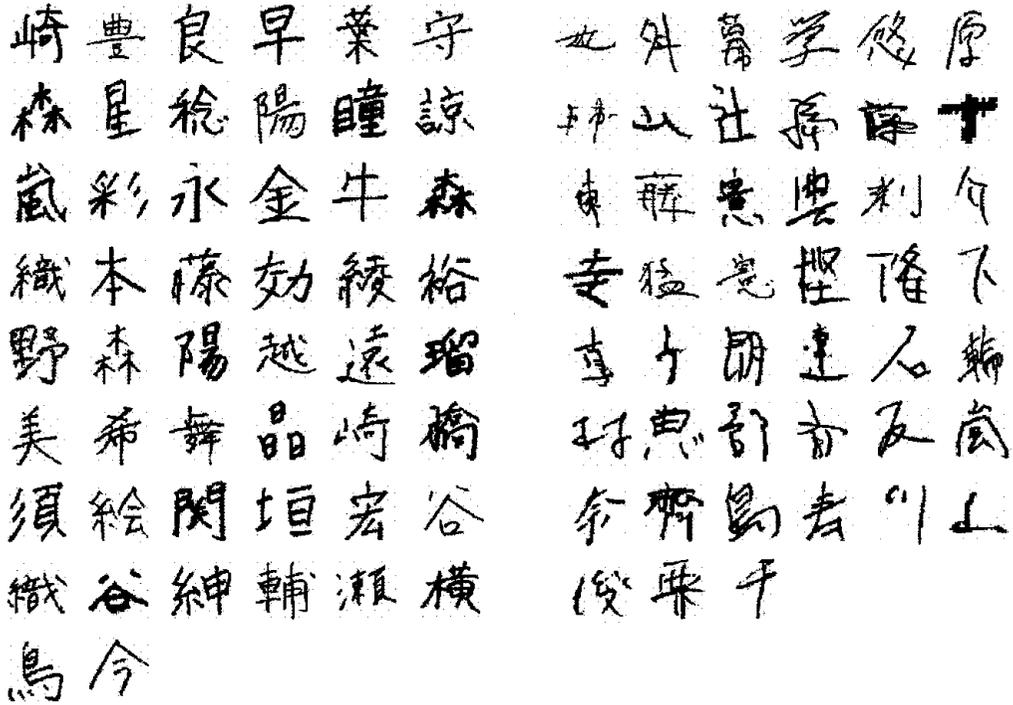
のは希なので（「国」，「囿」はその例として加えた），様々な変化が生じている。原形ですでに線の接触が見られるパターンもある。さらに変形により，新たに接触していると見えたり，線端のカザリが線の歪みと知覚されるパターンも生じることが見てとれる。

文字評価実験

材料とした文字パターンをパソコンの画面に提示して「読みやすさ」の評定を求めた。

この際，人工的変形文字だけでは，変形規則の予測が容易であるため，手書き漢字と混ぜて提示した。手書き漢字については，渡邊・猿田(2001)で収集した，良筆と評価された50文字と悪筆と評価された45文字の計95文字を活字体に合わせて64×64画素に正規化したものを用いた。ただしこの際，傾きや線の変形は行わず，文字に外接する64×64画素の正方形に大きさを揃えるにとどめた。この正規化後の95パターンを図3に示す。

手続き：練習試行の後，手書き漢字と人工的に生成した漢字，合計145文字を1文字ずつランダムに提示して読みやすさの評価を求めた。2秒間の待機時間の後警告音を提示し，その1秒後に漢字を3秒間提示した。提示後画面で指示される評価基準に基づいて，「とても読みやすい」を+5，「とても読みにくい」を-5とする11段階で，読みやすさの評定を口頭で報告するよう求めた。ただし拡大表示のため，文字線縁の輪郭（斜線部のギザギザなど）は評価に加えないよう注意した。（同時に眼球運動も記録したが，その分析については本報告では割愛する。）
装置：刺激提示にはパソコンとソフトウェアSuperLab1.7を用いた。視距離約53cmのディスプレイに提示された漢字は，縦横14.5cm，視角にして約16度の大きさであった。



a. 良筆：33名の観察者中過半数が読みやすいと判定した手書き漢字

b. 悪筆：33名の観察者中過半数が読みにくいと判定した手書き漢字

図3 手書き文字パターン（外接する64×64画素の正方形に正規化）

被験者：大学生17名。

実験の結果と考察

1 変形の効果

楷書体の変形パターンと手書き良筆文字・手書き悪筆文字のグループごとにみた、17名の被験者の平均評定結果は図4の通りである。総じて楷書体と手書き漢字との差は歴然としている。むしろ正規化して楷書体と混合して提示したために、手書き漢字全体の評価が低下し、手書き文字間の差異が圧縮されてしまった可能性が考えられる結果となった。

楷書体内で比較すれば、文字変形の効果は表2から理論的に予測できる通りである。楷書体およびその変形パターンの平均評定値についての分散分析とチューキーのHSD検定による多重比較の結果を表3に示す。いかなる台形変形も原形に比べて評価を下げ、特に下側を半分に変形した場合の低下が顕著である。左右の変形については、平均評定値間に統計的な有

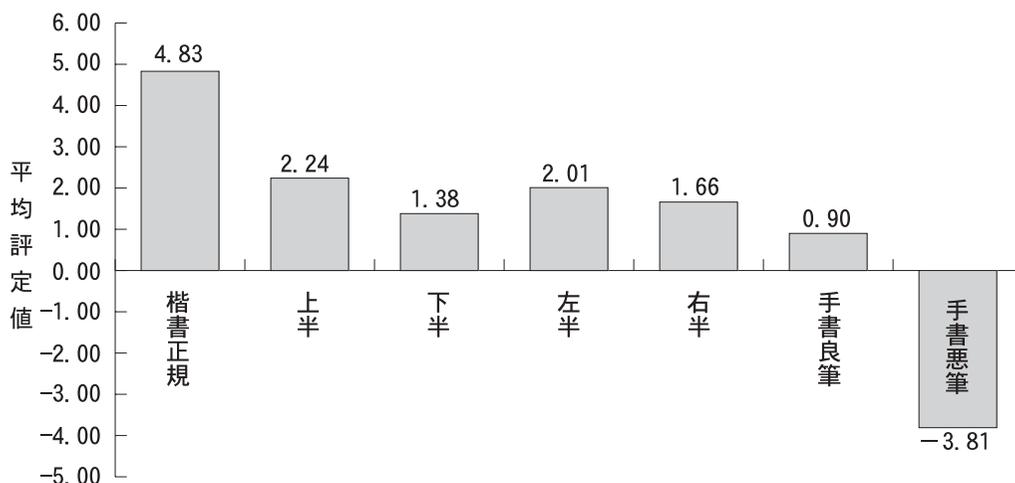


図4 読みやすさの平均評定値

表3 楷書体原形・変形パターンの平均評定値についての分散分析と多重比較
分散分析表

変動因	SS	df	MS	F
変形	1,305.5	4	326.37	129.1
被験者	1,286.2	169	7.61	3.0
誤差	1,709.5	676	2.53	
全体	4,301.2	849		

平均値間の多重比較

	正規	上半	下半	左半
上半	2.59*			
下半	3.45*	0.86*		
左半	2.82*	0.23	-0.63*	
右半	3.17*	0.58*	-0.28	0.35

*は5%レベルで有意差

意差はない。

2 数量化理論第Ⅱ類による判別予測との対応

図5は、先の数量化理論第Ⅱ類の分析から、総ドット数のアイテムを除いて求めた、楷書体・手書きすべての文字パターンのサンプル数量と今回の評定値との対応を示したものである。

本来、アイテムをひとつ削除した条件で再度数量化理論第Ⅱ類を実施すべきとも考えられるが、サンプル数量は単純な線形和であり、1アイテム分削除してもサンプル数量間の相対的關係には影響しないと考えられた。

相関係数は0.70であり、正規化しない手書き文字について得られた的中率90.8%（渡邊・猿田, 2001; 2002a）から考えられる結果よりも明らかに劣っている。

これは、紙面上の文字評価とCRT画面上に拡大表示された文字の評価という提示方法の違いと、前述の通り、楷書体に合わせて手書き文字を正規化したために、本来読み評価に影響

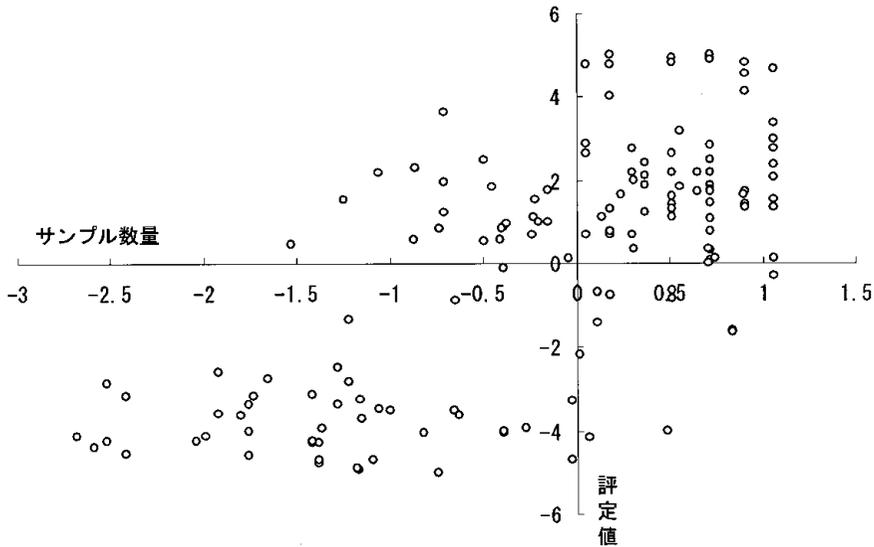


図5 数量化理論第Ⅱ類による予測と評定結果

の大きかった総ドット数（大きさの要因）を変数に加えなかったことが大きな理由と考えられる（表1参照）。コンピュータによる文字認識では、前処理の過程で、紙面のかすれや汚れを除去するとともに文字列から個別の文字を切り出し正規化することが多い。文字のサイズや傾きは認識上は不必要あるいは有害な要因とみなされるからである。その意味で工学的には正規化は例外的な処理ではないが、その有無で評価が異なるようでは一般的に通用させるには不十分な方法といわざるをえない。

3 数量化理論第Ⅰ類による文字評価予測

正規化しない手書き文字の良筆・悪筆を判別する目的で開発した方法では、活字体と手書き文字が混在したときの読み評価予測の精度はそれほど高くなかった。

しかし今回の評価実験では、個別の文字ごとに17名の被験者による読みやすさの平均評定値が得られている。そこで、これを外的基準(目的変数)として、数量化理論第Ⅰ類を適用して定量的に予測することができるか検討した。

数量化理論第Ⅰ類は、質的データを用いて、数値データの場合の重回帰分析に相当する分析を可能とする手法である。読み書き能力を示す正解点数あるいは正解率を、調査対象者の性別・年齢・学歴・職業などの質的アイテムから推定しようという発想から生まれた手法という（駒沢他, 1998）。

$$\langle \text{予測量} \rangle = X_1 + X_2 + \dots + X_j + \dots + X_m$$

ただし、

$$X_j = \sum_{k=1}^{l_j} \delta_{(jk)} \chi_{jk} \quad \text{で}$$

$$\delta_{(jk)} = \begin{cases} 1 : C_{(jk)} & \text{に該当} \\ 0 : C_{(jk)} & \text{に非該当} \end{cases}$$

ここで、 $C_{(jk)}$ は j 番目のアイテム X_j 中の k 番目のカテゴリーを表す。

l_j はアイテム X_j のカテゴリーの数を表す。

χ_{jk} がアイテム X_j の (重みづけ) 係数である。

このときに、上式の左辺の予測量と右辺の総和との相関がもっとも高くなるように各アイテムの係数を求めるのである。今回は評価実験の結果として得られた「読みやすさ」の平均評定値を外的基準（上式の予測量）とするのであるから、得られた各アイテムの係数から逆に「読みやすさ」評定に対する寄与の度合を分析することもできる。とりあえず今回は、読みやすさに関係することが明らかな先の数量化理論第Ⅱ類の分析と同じアイテム・カテゴリーを用いて実施した。

楷書体およびその台形変形パターン合計50文字と手書き文字良筆と悪筆の合計95文字、総計145文字を9アイテム19カテゴリーで表し、平均評定値を外的基準とする数量化理論第Ⅰ類の分析を実施した結果を表4に示す。

重相関係数0.83という結果は、上式左辺の予測量と右辺の合成変量との相関係数が0.91に

表4 数量化理論第Ⅰ類によるアイテム・カテゴリー数量とレンジ・偏相関係数

アイテム	カテゴリー	頻度	カテゴリ係数	レンジ	偏相関係数
1. 縦横比	0.7未満	8	-0.63	0.90	0.21
	1.3未満	111	0.21		
	1.3以上	26	-0.69		
2. 左右比	0.8未満	24	-0.34	0.42	0.09
	0.8以上	121	0.07		
3. 上下比	1.2未満	120	0.07	0.42	0.09
	1.2以上	25	-0.35		
4. 対角比	0.9未満	94	0.20	0.57	0.16
	0.9以上	51	-0.37		
5. 点・線の長さ	点・線が短すぎか長すぎ	54	-1.69	2.70	0.54
	点・線に問題はない	91	1.00		
6. 線の揺らぎ	線が波打ったり曲がっている	42	-0.99	1.40	0.33
	線はなめらか	103	0.41		
7. 省略	点・線が省略	24	-0.63	0.76	0.13
	省略はない	121	0.13		
8. 交差・接触	点・線が不要な交差・接触	69	-0.34	0.65	0.19
	不要な交差・接触はない	76	0.31		
9. 連続	点・線が連続している	35	-1.22	1.60	0.29
	連続はない	110	0.39		
重相関係数	0.83				

なることを示し、かなり高い精度といえる。

それぞれのアイテムをみていくと、カテゴリごとの寄与の方向が表1の数量化理論第Ⅱ類とやや異なっている。概形特徴、つまりここでは文字のバランスの評価への寄与の度合が先の研究とは様相が異なる。これは楷書体の変形文字がそれなりに概形に歪みをもっていたにも関わらず読み評価はそれほど下がらなかったことによると考えられる。また、レンジや偏相関係数などから、アイテムごとの重みが先の研究結果とは異なることがわかる。今回もつと偏相関係数が大きいのは線の長さの長短であり、ついで線の揺らぎ（歪曲）の有無、線の連続の有無となっている。文字の概形がほぼ同じ大きさの場合には、主としてこれらの要因が文字の読みやすさに影響することを示している。これらは活字体と手書き文字を区別する要因ともいえる。楷書体と手書き文字を同時に扱ったことから、これらの変数の重みづけが大きくなったと考えられる。楷書体と手書き文字の何らかの基本的な相違を捉え切れていないと思われ、今後検討したい。

考 察

活字体の文字の概形枠を台形に変形したパターンを用いることで、概形のみならず詳細な特徴まで変えることができ、しかもその読みやすさを高い精度で予測できることが確かめられた。

文字の概形特徴に着目した文字認識研究には輪郭線やバランスに着目したものが他にもある（木村ら, 1999; 堀ら, 1999; Kuo-Chin Fanら, 2002）。しかしこれらは、工学的に認識精度を上げることが目的で人間の認識システムとの対応は一切考慮されていない。またすでに倉掛ら（1991）は手書き文字を原形として人工的な変形パターンを用いて文字評価の研究を報告している。しかし、手書き文字の変形傾向を学習して変形パターンを作成するという優れた試みをしているが、類似性判断実験とアルファベットを材料としたコンピュータ文字認識システムの評価が主で、残念ながら人間の認識系についての言及がほとんどない。

今回の研究から、概形の歪みは同時に線の長さなど文字の詳細な特徴も連動して変容させ、読みやすさに影響することが明らかになった。このことは手書き文字についての日常的観察からも裏付けられよう。文字全体が小さければ、線分どうしが密着し交差・接触の部分も増え、その文字固有の詳細特徴の検出を妨げることになろう。一部の部首あるいは線を強調して長く大きくすれば、文字全体の概形もいびつなものとなる。我々の、概形特徴と詳細特徴を総合するアプローチが間違っていないことがあらためて示されたと考えられる。

悪筆・良筆の判別から一步踏み込んで、評定値を定量的に予測すべく実施した数量化理論第Ⅰ類の結果は、先の研究と同じアイテム・カテゴリを用いても高い精度で予測できることを示した。このとき、寄与の大きな変数は線の長短や、線の歪み、連続といった、手書き文字特

有と思われる詳細特徴であった。

井上ら（1984）は広告用を含む印刷字体を材料として文字の印象を分析し、素直さ、魅力感、力量感、新鮮さ、丸み感の5つの要因で文字の品質を評価できるとした。これを受けて手書き文字のイメージを研究した三好ら（2000）によると、印刷文字と手書き文字とでは、魅力感を除く4つの因子が共通しているが、手書き文字は文字種固有の変動が大きいとされた。ここで共通して最も寄与の大きい「素直さ」として集約された形容詞には、「解りやすい」、「安定した」、「くせない」、「均一な」、「読みやすい」、「見やすい」などが含まれる。一方、印刷字体の評価では含まれるが手書き文字の評価では含まれないとされた「魅力感」とは、「粹な」、「リズムカルな」、「芸術的な」、「好きな」、「面白い」などの形容詞との相関が高い。

行場ら（1985）は、パターン知覚の文脈において、無教示のまま形を提示すると「良い－悪い」という評価は形態的簡潔性因子に強く規定されるが評価的意味の関与もないがしろにできないと注意を促している。井上らの「魅力感」とはまさにこの評価的意味に当たるが、手書き文字認識時にこの要因が関与しないとは考えられない。我々が手書き文字評価を因子分析した研究でも、それぞれ「読みやすさ」、「見やすさ」に相当する因子とともに「うまい－下手」に相当する因子を見いだした（渡邊・猿田，2002b）。毛筆文字の鑑賞は極端な例かもしれないが、手書き文字評価に感性的意味が関与することは十分考えられる（古性ら，2001）。まして今回は、楷書体と手書き文字を混在させてランダムに提示する実験状況であったため、「読みやすさ」評価に多次元の要素が入った可能性が大きい。そのような状況下でなお、評価点を高い精度で予測できたことは、いまだ問題は多いものの我々の手法の精度を高める意義を示したものと考えられる。

今のところ、我々が用いた変数の中で、詳細特徴である「線の長短の過不足」、「線のゆらぎ」、「線の省略」、「線の交差・接触」、「線の連続」は、人間の判定に基づくものである。それぞれ局所的判定で判定者による変動は少ないが、寄与の大きい変数であるだけに安定した指標とする必要があるのはいうまでもない。現在、空間周波数分析などの手法により客観的・物理的指標による代替の可能性を検討中である。パソコンの普及による文字手書き機会の減少や、ブラウン管から液晶・プラズマ表示など文字提示媒体の急速な変化など、文字認識の研究はいまだ解決しなければならない問題が山積している（たとえば、氏家ら，2003）。文字の読みやすさの評価手法の精度を上げるとともに、単独文字から署名などの文字列へと対象を拡大するべく検討を急ぎたい。

（注1）本研究で用いた文字変形プログラムについては山形大学大学院社会文化システム研究科の丸山和良君の協力を得た。ここに記して感謝いたします。

（注2）本研究の一部は東北心理学会第57回大会（2003年8月，東北学院大学）で発表された。

文 献

- 古性淑子・平野光一・中村公計・小谷一孔 2001 感性情報に基づく毛筆漢字文字の美的評価, 電子情報通信学会技術報告, IE20001-55, PRMU2001-75, MVE2001-54, 81-88.
- 行場次朗・瀬戸伊左生・市川伸一 1985 パターンの良さ評定における問題点—SD法による分析結果と変換構造説の対応—, 心理学研究, 56, 2, 111-115.
- 堀桂太郎・根本孝一・伊藤彰義 1999 文字の輪郭線に着目した手書き漢字の特徴抽出—外郭局所的輪郭線特徴と外郭局所的モーメント特徴—, 電子情報通信学会論文誌 D-II, J 82-D-II, 2, 188-195.
- 井上正之・鎧沢勇 1984 文字形態から受ける印象と品質評価要因の検討, 電子情報通信学会論文誌, J67-B, 3, 328-335.
- 加藤隆仁・横澤一彦 1992 手書き文字品質の定量評価, 電子情報通信学会論文誌 D-II, J 75-D-II, 9, 1573-1581.
- 木村義政・秋山照雄・森稔・宮本信夫・若原徹・小倉健司 1999 拡張外郭方向寄与度特徴と輪郭特徴を用いた手書き漢字/非漢字のハイブリッド認識, 電子情報通信学会論文誌 D-II, J 82-D-II, 12, 2271-2279.
- 駒沢勉・橋口捷久・石崎龍二 1998 新版パソコン数量化分析, 朝倉書店.
- Kuo-Chin Fan, Wei-Hsien Wu, and Meng-Pang Chung 2002 A Symmetry-Based Coarse Classification Method for Chinese Characters, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part C: Applications and Reviews, 32, 4, 522-528.
- 倉掛正治・石井健一郎 1991 変形文字パターンを用いた手書き文字認識系の評価, 電子情報通信学会論文誌 D-II, J 74-D-II, 9, 1208-1216.
- 三好正純・下塩義文・古賀広昭・内村圭一 2000 感性語による手書き文字のイメージ類似度評価, 電子情報通信学会技術報告, HCS2000-14, 1-8.
- 氏家弘裕・佐川賢 2003 視覚機能に基づく可読性評価, 応用物理, 72, 5, 578-581.
- 渡邊洋一・猿田和樹 2001 悪筆の構造—手書き漢字の読みやすさの定量化—, 電子情報通信学会技術報告, HIP2001-76, 57-62.
- 渡邊洋一・猿田和樹 2002a 悪筆文字の定量化とその構造, 山形大学紀要(人文科学), 15(1), 85-97.
- 渡邊洋一・猿田和樹 2002b 手書き漢字認識と眼球運動—倒立提示による検討—, 電子情報通信学会技術報告, HIP2002-49, 37-41.
- 渡邊洋一・猿田和樹 2003 悪筆文字の認識と高精度化に関する研究, 平成12年度～平成14年度科学研究費補助金(基盤研究B(1))研究成果報告書.

Artificially Generated Poorly Handwritten Kanji Letters and their Legibility.

WATANABE Yoichi, SARUTA Kazuki

We generated a set of artificial poorly-handwritten kanji letters. These artificial letters were generated by modifying a circumscribed rectangle of a block letter into a trapezoid. This simple linear modification of a global feature caused simultaneous modifications of local features of letters. And we examined the legibility of these artificial 40 letters, original 10 letters and 95 handwritten letters. Seventeen university students rated the legibility of these letters, one of which was presented randomly at a time on a CRT display. To analyze the above data, we adopted Hayashi's Quantification Method I: A multi regression analysis for categorical data with 9 variables. As a result, the mean ratings of legibility corresponded very well to the prediction by these variables. The multiple correlation coefficient was 0.83. Partial correlation coefficients of variables suggested that the excess or insufficiency and the distortion of component lines affected the legibility strongly. In conclusion, this simple modification method of letters was confirmed to function as an efficient procedure to study letter recognition system.