

視覚の誘導場を用いた手書き文字の左右バランスの評価

長石道博^{*} 押木秀樹^{}**

2003年12月

JCSS-TR-49

^{*}nagaishi@mm.0038.net
<http://www.13.0038.net/~nagaishi>

^{**}上越教育大学 言語系
〒943-8512 新潟県上越市山屋敷町1
oshiki@juen.ac.jp
<http://tegaky.shosha.kokugo.juen.ac.jp/oshiki/index.html>

Copyright (c) 2003 M. Nagaishi & H. Oshiki. All Rights Reserved.

日本認知科学会
事務局
〒464-8601 名古屋市千種区不老町
名古屋大学大学院 人間情報学研究科 認知情報論講座内
Phone: 052-789-4747
FAX: 052-789-4752
jcass@jcass.gr.jp

概要

視覚の誘導場が手書き漢字の左右バランスを定量評価する指標として妥当なことを示した。視覚の誘導場は、図形の周辺に静電場のような場を仮定して、いろいろな視知覚現象を説明する心理学的概念である。最近、この誘導場を用いて図形や文字のバランス、印象などの感性評価ができることが示されている。書字において、漢字の場合、偏と旁など左右バランスが文字を整え、読み易くするため重要である。視覚の誘導場は、この左右バランスを評価する指標として注目されている。本報告は、指標として視覚の誘導場の複雑度が、実際に書かれた手書き文字の左右バランスを主観評価した結果が説明できるか検証した。その結果、誘導場の複雑度と主観評価結果の相関は高く、左右バランスを評価する尺度として有効なことが示された。

視覚の誘導場を用いた手書き文字の左右バランスの評価

長石道博， 押木秀樹

1. はじめに

字形を整えること，そしてその字形を的確に評価することは，主として書写・書字学習の場面や、フォントのデザインの場面などで必要とされている。児童・生徒を対象とした書写指導および日本語教育における書字指導では，基礎学力として，ある程度の読み易さを持った字形を書けることが求められている。また，フォントデザインの場面においては，読み易いこと，整った字形であることなどが，フォントの用途によって求められる。書写指導・書字指導では，整った字形や読み易いと感じられる字形の持つ規則性・法則性を明らかにすることが，効率よい指導につながるはずである。また規則性・法則性が明確であれば，それを元にした評価も容易になる。しかし，これらの分野では長年，勘や経験を頼りにした主観的法則性が述べられていても，客観的な分析結果としての法則性が乏しいことが指摘されている。学習内容に適切な字形の法則性を生かし，学習結果（字形）の評価とフィードバックを的確に行うためには，その基礎研究として「整った字形」「整った字形を書く人の感性」を明らかにすることが必要である。また基礎研究で得られた規則性が，効果的なものであれば，フォントの設計場面や字形の評価にも用いることができるであろう。

字形を整える上で，特に偏と旁という「左右」から構成される漢字において，部分形の整え方は重要である。部分形のバランスを捉える手段として，工学的文字認識で使われる外接矩形がある。しかし，外接矩形のサイズのみではバランスを充分説明できない。

最近，図形の周りに静電場のような場を仮定し，パターン認知などの視知覚現象を説明する心理学的概念である横瀬の視覚の誘導場[1]が注目されている¹。図1は誘導場の例である。太い線分は図形であり，その周辺に等高線状に分布しているのが誘導場の等ポテンシャル線で，中央から外に行くほど場の強さは弱くなり飽和値に達する。視覚の誘導場の存在妥当性は多くの心理実験で確認されており[6]，生理学的にも誘導場の存在を示唆する報告がされている[7][8][9]。

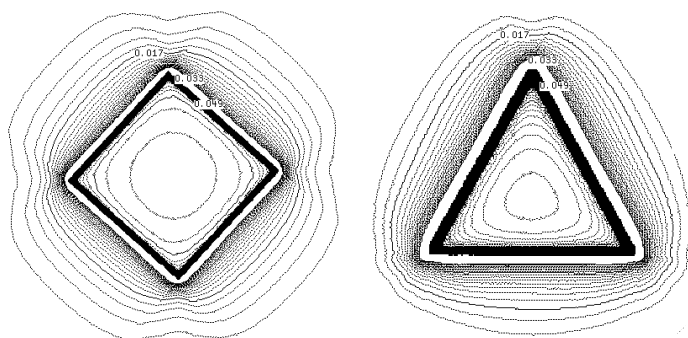


図1 視覚の誘導場の例

視覚の誘導場は，漢字の整え方の原理の1つとして有効と考えられる。平行は文字周辺に分布する誘導場を字座と呼び，誘導場の分布形状で文字の整え方を捉える方法を提案している[2][3]。そして，押木らは「左右」から構成される漢字について，実際に誘導場を求め，等ポテンシャル面の対称性と文字の左右バランスの主観評価に相関性があることを示した[4]。しかし，この方法は「左右」から構成される漢字のバランス評価に合わせたもので，適切な等ポ

¹横瀬は心理実験で測定した誘導場を「心理的ポテンシャル場」と区別して呼ぶ場合がある[1]。一般には「視覚の誘導場」と呼ばれている。本論文では「視覚の誘導場」と統一する。

テンシャル面のポテンシャル値の決め方や対称性の計測方法には汎用性がない。

さて、視覚の誘導場は、文字だけでなく図形、画像の形状の良さ、配置のバランス、印象の強さなどの感性評価が可能なが示されている。これまで、誘導場による感性評価は対象ごとに評価方法が考えられていた。しかし、長石は評価対象の誘導場の等ポテンシャル面について複雑度を求めれば、文字をはじめとしたいろいろな図形、画像の感性評価が可能であることを示した[5]。

押木らが検討した文字の左右バランスは、漢字の整え方の要素の1つである。左右バランス以外の要素の考慮も必要である。誘導場の複雑度はいろいろな図形、画像に対し感性評価が可能で一般性が高いため、左右バランスを含めたいろいろな漢字の整え方の評価方法として有効と考えられる。実際、文献[5]では少数の低解像度の文字データについて、誘導場の複雑度が手書き文字の左右バランスの評価に有効であることが部分的に示されている。

そこで、本論文は、まず、押木らが行った「左右」から構成される漢字の左右バランスの主観評価結果[4]が複雑度で説明できるか解像度の高い文字データを用いて詳細に検討した。そして、誘導場の複雑度が漢字の整え方の評価方法として有効であるかどうか考察した。

2. 視覚の誘導場による文字バランス評価

2.1 デジタル画像における視覚の誘導場の計算

最初に、白黒2値のデジタル画像における視覚の誘導場の求め方を説明する。パターンの外郭を構成する画素を正電荷1の点電荷と仮定し、それらがつくるクーロンポテンシャルの集積から、デジタル画像における誘導場の分布を計算する[11]。図2(a)のように n 個の点列から構成される曲線 $f(s)$ によって点 P に視覚の誘導場が形成されるとする。点 P から曲線 $f(s)$ 上の点 i までの距離を r_i とおくと、点 P における誘導場の強さ M_p を次のように定義する。

$$M_p = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{1}{r_i} \quad (1)$$

図2(b)のように、曲線が複数ある場合、点 P における誘導場の強さは個々の曲線が点 P につくる誘導場の和になる。この時、誘導場は図形の外郭のみ寄与する[1]ため、(1)式は点 P から見える部分のみ和をとるという制約条件がつく。例えば、図2(b)において、曲線 $f_3(s)$ と曲線 $f_2(s)$ の一部は、曲線 $f_1(s)$ に遮られて点 P から見えないので、和はとらない。

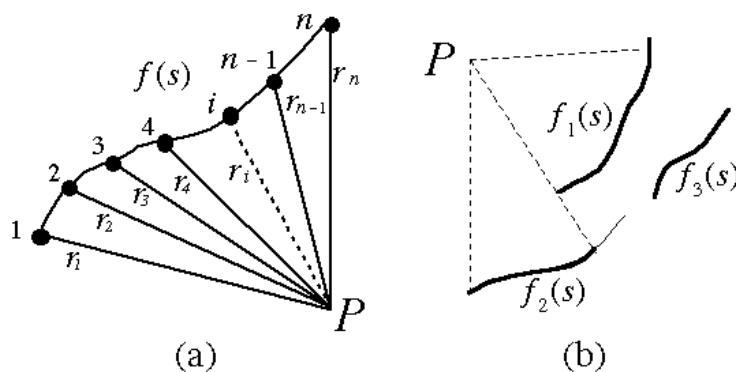


図2 デジタル画像における視覚の誘導場

図3(a)は(1)式で計算した誘導場の例である。図3(a)の「場」の分布の形状・強さ、特に「A」の頂点付近の分布が他より鋭角な特徴は、横瀬が行った四角形や三角形など、図形の角付近に関する誘導場の分布の心理実験結果[1]と一致する。図3(b)は、遮蔽条件がなく「A」を構成する画素全てを電荷1の点電荷と仮定した静電場の例であるが、「場」の分布は全体的に丸く心理実験結果と異なる。また、この遮蔽条件がないと、例えば、誘導場による文字切り

出しが困難になる[11]．このように，遮蔽は誘導場を特徴づける上で重要である．

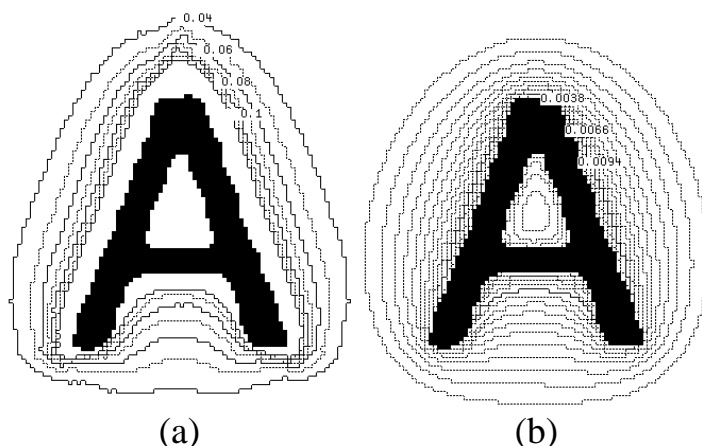


図3 誘導場と静電場の違い

2.2 文字バランスの評価

2.2.1 パターンの「良さ」

次に誘導場がパターンの「良さ」の指標になり得ることを説明する．この「良さ」とは，例えば「左右」から構成される漢字の偏と旁の左右バランスや，漢字としての形が調っているなどパターンが良い状態であることを示す広い概念である．ゲシュタルト心理学では，簡潔でエネルギーが低いものを「良い」と考えている[12]．横瀬は文字などのパターンの「良さ」が誘導場の分布と関係が有ることを示唆している[1]．そこで，この誘導場の性質に着目し，パターン類似性が定量的に説明できる誘導場の認識モデルが提案されている[10]．そして，手書き文字を含めたいろいろなパターンについて，誘導場の認識モデルの有効性が示されている[13]．このことから，誘導場の分布からパターンの「良さ」を定量化できると考えられる．

また，誘導場による手書き文字切り出しでは，出来るだけ円形の誘導場の分布が，個々の文字であるという仮定により切り出しが可能である[11]．更に，この手書き切り出しの原理を応用して，複数の文字が集合した文字列の読み易い状態を決められることが示されている[14]．これらの報告より，読み易い文字というような，「良い」と判断されるパターンの誘導場の分布は，円のような簡潔な形状になる傾向があると考えられる．

そして，誘導場による橋梁のアーチライズのバランス[6]，安定した写真のレイアウト[16]の評価では，局所的に誘導場が強い部分があるのではなく，誘導場の分布がパターン全体で平均化されている状態が良いとされている．これを誘導場の分布の形状で捉えると，やはり凹凸が少ない円や楕円のような分布になっている状態が美しく，バランスがとれていると言える．以上から，ゲシュタルト心理学におけるパターンの良さは，そのパターン（またはパターンの集合体）の醸し出す誘導場の分布形状に対応し，円に近いほど「良さ」も高いと考えられる．

2.2.2 複雑度による文字バランスの評価

対象パターンの誘導場の分布形状の記述は，誘導場の等ポテンシャル線の複雑度を用いる．複雑度は図形の形状を把握する工学的尺度として知られており，パターン計測などで良く利用されている[17]．複雑度を指標に手書き文字の切出し[11]，パターンの良さの評価が可能である[5]．ある等ポテンシャル線の閉曲線を構成する点の個数を周囲長 l_i ，閉曲線の内側に存在する画素総数を面積 S_i とすると，複雑度 C_i は次式で与えられる[17]．

$$C_i = \frac{l_i^2}{S_i} \quad (2)$$

式(2)より，複雑度の単位は無次元である．複雑度は図形が円に近いと最も小さな値をとる．図形に凹凸が多く複雑

になるほど大きな値をとる[17]．したがって、良いパターンほど円に近いので、複雑度が小さい値をとるパターンは良いと判断できる．

偏と旁から構成される漢字の場合、偏または旁の大きさを変えると、漢字全体としての左右バランスが変化する．そこで、漢字全体の誘導場について複雑度を求めた場合、偏と旁のバランスが良い場合は複雑度が小さく、逆にバランスを欠いている場合は複雑度が大きくなると考えられる．

3. 実験

3.1 検証データ

押木らが行った「左右」から構成される漢字の左右バランスの主観評価[4]で実際に被験者に呈示した画像データを用いた．文字画像例を図4に示す．図中の数字は文字データのサンプル番号である．なお、文献[5]で使用した文字画像データは、押木が web²で一部公開している解像度の低い画像である．今回は実際に文献[4]の主観評価に使用された解像度の高い画像データにより検証を行う．主観評価は図4の例を含め 18 字種を用いた．サンプル番号 1 から 11 は手書き文字で、基本の楷書であるサンプル番号 6 の偏または旁の大きさを縦方向のみ変化させている．大きさの変化の程度とサンプル番号の対応を表1に示す．比較対象として、サンプル番号 12 はゴシック体、13 は明朝体、14 は教科書体の活字も用意した．したがって、 $18 \times 14 = 252$ サンプルの文字が実験で使われた．



図4 左右バランス評価に用いた文字画像例

表1 手書き文字サンプル番号と大きさの変化の対応

サンプル番号	左部（偏）拡大					元サンプル	右部（旁）拡大				
	1	2	3	4	5		6	7	8	9	10
拡大率	150%	140%	130%	120%	110%	100%	110%	120%	130%	140%	150%

3.2 誘導場への変換と複雑度の計算

最初に、押木らが行った誘導場による文字の左右バランス評価方法を説明する．まず、図5のように漢字の誘導場を計算し、文字全体を包む（文字画素の近傍ではない）ポテンシャル値 0.05 から 0.06 までの等ポテンシャル面を抽出する³．そして、等ポテンシャル面の重心 G を中心に x 軸方向の対称性を調べる．具体的には重心 G を通る破線 AB で等ポテンシャル面を折り曲げ、左右の面積の重なり具合から対象性の程度を判定する．破線 AB よりも右部分の面積が大きい場合は正、左部分の面積が大きい場合は負の値をとる．この方法は、計測する等ポテンシャル面によりバランス評価が変わる可能性が高い．また、抽出した重心を基準に x 軸で対象性を判定しているため、文字の回転に評価値が依存する．このように各種測定の基準の取り方に影響を受ける評価方法と考えられる．

² <http://tegaky.shosha.kokugo.juen.ac.jp/oshiki/ronbun/hent95/ht95.htm> (2003)

³ 押木らの誘導場の計算方法[4]と(1)式の方法は異なるため、同じ大きさのパターンでもポテンシャル値の範囲は多少異なる．

次に複雑度による文字の左右バランス評価方法を説明する．まず，図4の文字画像を 64x64 ドットの大きさ，解像度は 72dpi に変換後，(1)式を用いて誘導場を計算し複雑度を求めた．複雑度は各等ポテンシャル面ごとに式(2)より求める．誘導場の計測は誘導場の強さ 0.01 (誘導場の等ポテンシャル面が画像の外枠に接触しない限界) から 0.399 (文字画素の近傍付近) まで，0.001 ステップで行う．そして，全等ポテンシャル面の複雑度の平均を，押木らが行った左右バランスの心理評定と比較した．このように複雑度による評価方法は広範囲の等ポテンシャル面の状態が反映されており，測定の基準位置などの依存性が少ない評価方法と考えられる．

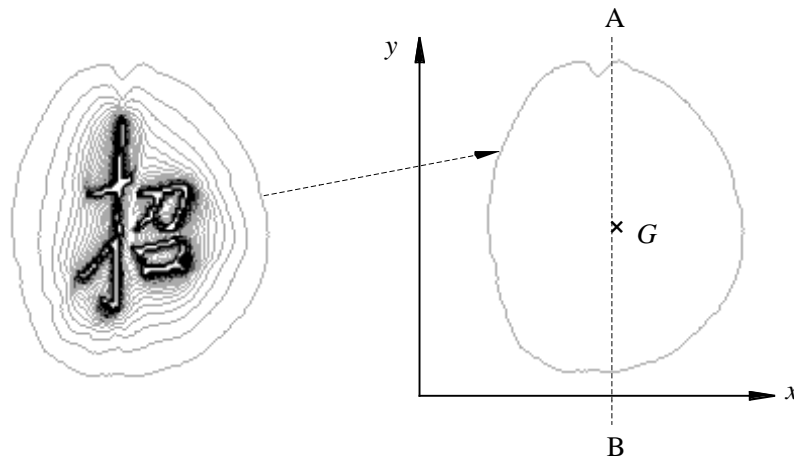


図5 押木らの誘導場の計測法

3.3 比較した主観評価データの扱い

押木らが行った主観評価方法の概要とそのデータについて簡単に説明する．主観評価はサンプル文字を見て，偏(左部)または旁(右部)が大きいかどうかを図6のように-6 から+6 まで 13 段階で評価する．評価は 252 サンプルを無作為に並べ 1 サンプルごとに評定を行う主観調査 A と，1 字種 14 サンプルを一列に並べ各サンプルを評価する主観調査 B の2つの方法を 70 名の被験者について行った．その結果，主観調査 A と B の結果の相関係数が 0.96 と極めて高く，呈示方法による評価結果の違いは少ないと考えられる．そこで，主観調査 A と B の結果の平均を誘導場の複雑度の平均と比較する．

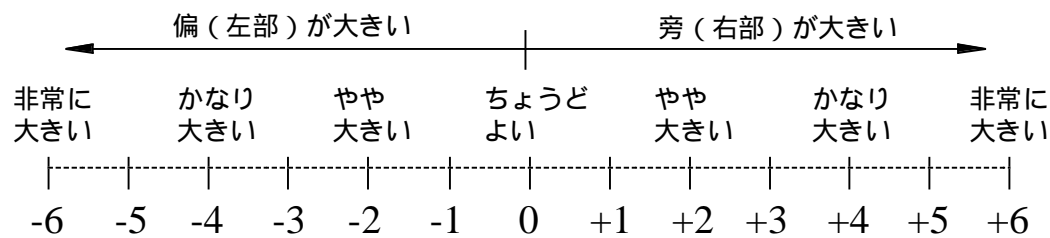


図6 主観評価の段階

4. 実験結果

図7は，縦軸に誘導場の複雑度，横軸に文字左右バランスの主観評価値をとって複雑度と主観評価値の相関関係を示した例である．図中の数字は相関係数である．偏(左部)が大きい場合，主観評価はマイナスだが，図7では，左右の区別をせず主観評価の絶対値をとっている．また，複雑度も左右の区別をせず各文字サンプルに対して求めた誘導場の複雑度をとった．

図8は、縦軸に誘導場の複雑度、横軸に文字の左または右バランスの主観評価値をとって、左右バランスを区別した場合の複雑度と主観評価値の相関関係を示した例である。相関は左バランスと右バランスに分けてとった。左バランスは図4のサンプル1から5、右バランスは図4のサンプル7から11を比較した。図8では、偏(左部)が大きく主観評価がマイナスの場合、複雑度もマイナスをつけて比較をした。

表2は、全字種について左右バランスを区別しない、および区別した場合の左または右バランスの複雑度と主観評価値の相関係数を示した表である。

表2および図7、図8から、相関係数は平均で0.7-0.8程度と強い相関がある。更に、表2および図8から、左右を区別すると平均で相関係数は0.8程度と高くなっている。左右を区別すると相関係数が高くなる傾向がある。例えば、図7(e)の「和」は、左右区別をしないと相関係数0.51と低いが、左右を区別すると図8(e)のように相関係数0.96(左バランスのみの相関)、0.80(右バランスのみの相関)と高くなる。また、図7(a)「誌」、(b)「暖」などのように左右を区別しない場合、左右を区別した場合でも相関係数が高い例がある。

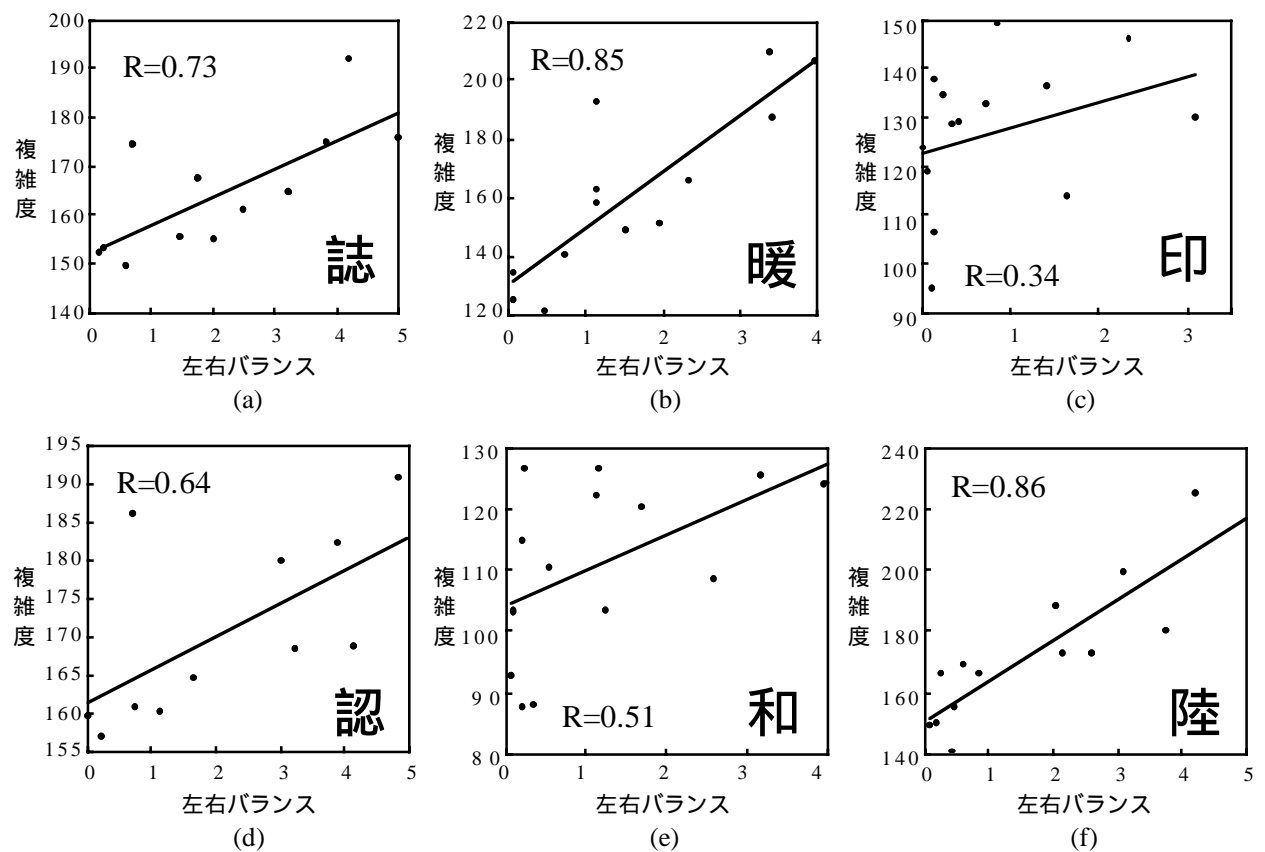


図7 誘導場の複雑度と文字左右バランスの相関(左右区別なし)

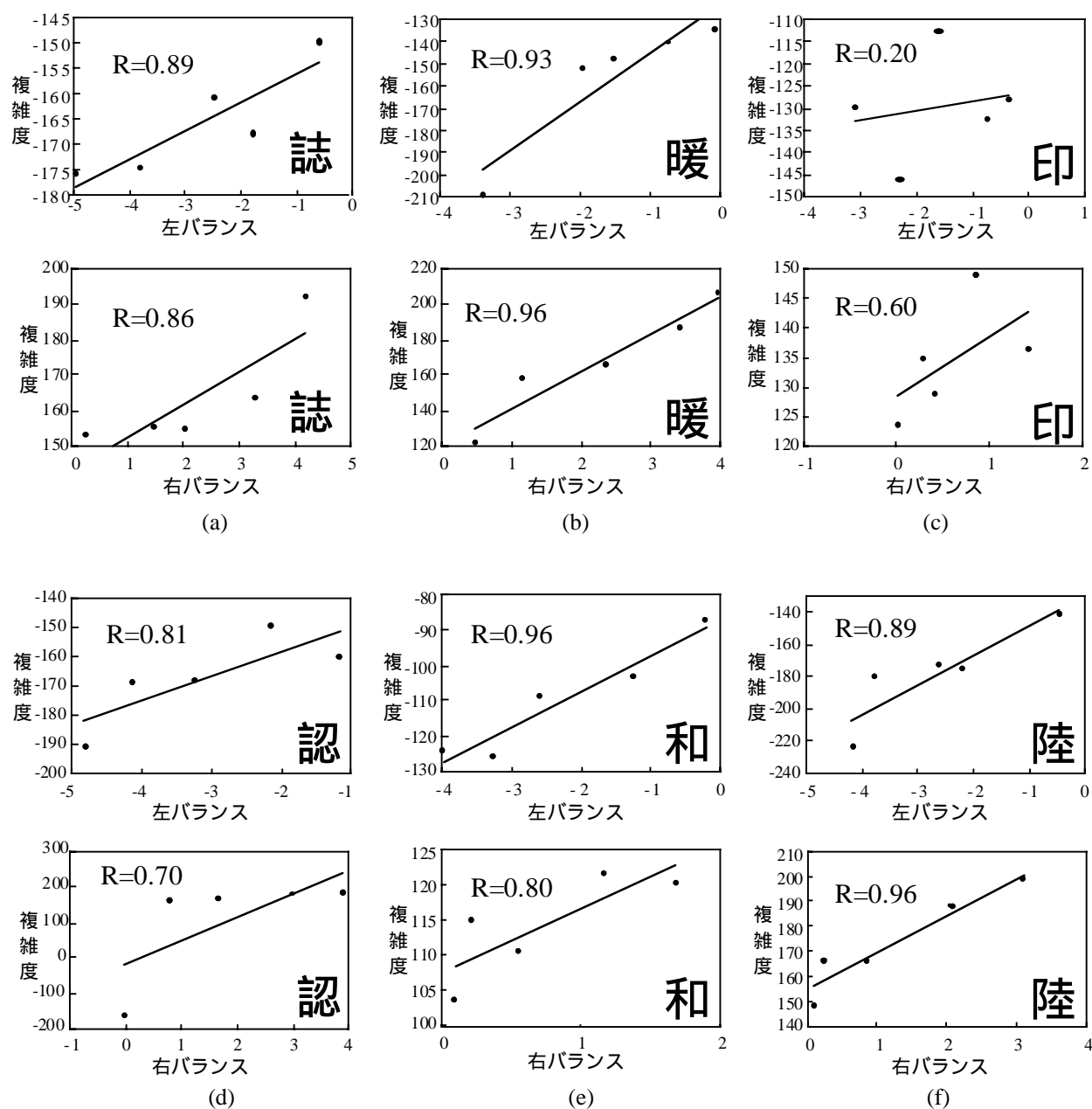


図8 誘導場の複雑度と文字左右バランスの相関 (左右区別)

表2 誘導場の複雑度と左右バランス主観評価の相関係数

文字種	左右同一	区別 (左バランス)	区別 (右バランス)
持	0.72	0.80	0.88
誌	0.73	0.89	0.86
打	0.75	0.94	0.76
認	0.64	0.81	0.70
柱	0.79	0.88	0.52
植	0.76	0.36	0.85
招	0.67	0.65	0.68

和	0.51	0.96	0.80
暖	0.85	0.93	0.96
唱	0.77	0.43	0.80
陸	0.86	0.89	0.96
陸	0.76	0.76	0.98
敗	0.84	0.83	0.89
政	0.51	0.96	0.56
研	0.77	0.98	0.93
眼	0.35	0.53	0.82
部	0.76	0.92	0.77
印	0.34	0.20	0.60
平均	0.68	0.76	0.80

5. 考察

表2および図7, 図8から, 相関係数は平均 0.7-0.8 程度と強い相関がある. また, この相関係数は押木らが行った誘導場の対象性の方法の相関係数 (0.7 程度) [4]と同等程度以上の相関の強さである. このことから, 誘導場の複雑度は手書き漢字の左右文字構成部分のバランスを評価することが充分できると考えられる. したがって, 誘導場の複雑度を用いて, 書字の整った状態をより正確に機械的に判断することが可能になると考えられる.

図7の左右バランスを区別しない場合と, 図8の左右をバランスと区別した場合と比べると, 左右を区別した場合も相関係数が高くなっている傾向が見られる. これは, 文字を構成する左右の部分が左右対称に影響を与えるのではないことを示している. すなわち, 同じ比率で左部または右部が小さい場合を比べた時, 双方のバランスがかなり異なっており, 必ずしも左右を同じに考えることができないことを示している. 確かに漢字は左右対称ではなく, 右部が小さめになる文字 (図7 (e)の「和」など) や, 逆に左部が小さめになる文字 (「招」など) があること, あるいは右上がりの横画から生じる字形の右上がりの構成などが, 非対称性に関係していると考えられる. ただし, 図7 (c)の「印」の左バランスの例のように, 左右バランスを区別しても, 区別しない場合に比べ相関が高くなる場合もあるので, 今後, 誘導場の分布や字画構成の関係, 実際の書かれ方などを詳細に照合して, 非対称性の原因を検討する必要がある.

誘導場の複雑度は, 文字以外のパターン, レイアウトの感性評価が可能な汎用的な評価尺度である. 今回, 左右の文字構成部分のバランスが評価できることが明らかになった. このことから, 文字のバランス以外に, 手書き文字の品質評価などいろいろな書字, 字種の文字形態の良さも評価できる可能性があると考えられる. 例えば, 文字の品質評価[18]が可能になれば, 誘導場はいろいろな文字の状態について総合的に定量評価できることになるので, 書字学習の上で有用性の高い指標に成り得ると考えられる.

6. まとめ

いろいろなパターン, 画像の感性評価が可能である, 文字全体の誘導場の等ポテンシャル線の複雑度の平均が, 漢字の整え方の指標として有効かどうか検証を行った. その結果, 押木らが行った「左右」から構成される漢字の左右バランスの主観評価結果が説明できることが示された. また, 押木らが提案した誘導場の分布の対称性を利用した評価方法と同等以上の評価が可能であることが示された. 以上から, 誘導場の複雑度は漢字の整え方の指標として, 有効な指標の1つと考えられる.

誘導場の複雑度は, 今回検証を行った文字以外に, 一般的なパターン, レイアウトの感性評価が可能な汎用的な評価尺度である. したがって, 文字のバランス以外に, 手書き文字の品質評価など, 書字形態の良さも評価できる可能

性出てきたと考えられる．今後，誘導場の複雑度で文字の品質評価が可能か検証を行う予定である．

参考文献

- [1] 横瀬善正 「形の心理学」, 名古屋大学出版会 (1986)
- [2] 平形精一 「字形要素による学習漢字の分類<I>」, 書写書道教育研究, Vol.4, pp.64-74 (1990)
- [3] 平形精一 「字形要素による学習漢字の分類<II>」, 書写書道教育研, Vol.5, pp.34-42 (1991)
- [4] 押木秀樹, 岡本正行 「左右の部分形から構成される漢字の外形に関する研究(1) - 縦方向の大きさに関する感覚と要素 -」, 書写書道教育研究, Vol.10, pp.51-60 (1996)
- [5] 長石道博 「視覚の誘導場による感性評価」, 認知科学, Vol.10, No.2, pp.326-333 (2003)
- [6] 深水義之 「図形認知モデルの構築と橋梁への応用に関する基礎研究」, 東京大学 博士(工学)論文 (2001)
- [7] 本川弘一 「視覚の中枢機序 - Pattern 認識の問題を中心として -」, 生体の科学(東京・医学書院), Vol.18, No.3, pp.139-150 (1967)
- [8] Kaji, S., Yamane, S., Yoshimura, M., Sugie, N. 「Contour Enhancement of Two-dimensional Figures Observed in the Lateral Geniculate Cells of Cats」, *Vision Research*, Vol.14, pp.113-117 (1974)
- [9] 内山道明(代表) 「統合の場としての脳 知覚系 - 行動系の統一的理解への基礎的研究」, 昭和58年度科学研究費補助金一般研究(A) 研究報告書, 研究番号56410001, pp.13-30 (1984)
- [10] 長石道博 「視覚の誘導場モデルを用いたパターン認識時の心理実験結果の検証」, テレビジョン学会誌, Vol.50, No.12, pp.1965-1973 (1996)
- [11] 長石道博 「視覚の誘導場を用いた手書き文字の切出し」, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J76-D-II, No.9, pp.1948-1956 (1993)
- [12] 行場次朗, 箱田裕司 編著 「知性と感性の心理 - 認知心理学入門 -」, 福村出版 (2000).
- [13] 長石道博 「視覚の誘導場モデルによる手書き文字の文字品質評価と心理実験結果との比較」, 映像情報メディア学会誌, Vol.53, No.8, pp.1176-1182 (1999).
- [14] 長石道博 「視覚の誘導場による読み易い和文文字列表示」, 映像情報メディア学会誌, Vol.52, No.12, pp.1865-1872 (1998).
- [15] 翁長洋子, 深水義之, 吉田登美男, 白石照美 「アーチライズの見誤りと心理ポテンシャルの関連について」, デザイン学研究, Vol.43, No.2, pp.77-84 (1996).
- [16] 巖壮志, 八村広三郎 「視覚ポテンシャルを用いる図形の最適配置」, 情報処理学会第46回全国大会, 9C-8(1993).
- [17] 長谷川純一, 輿水大和, 中山晶, 横井茂樹 「画像処理の基本技法 技法入門編」, 技術評論社 (1986).
- [18] 加藤隆仁, 横澤一彦 「手書き文字品質の定量評価」, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J75-D-II, No.9, pp.1573-1581 (1992)