

Title	文字作成支援システムの構成とその応用に関する研究
Author(s)	内尾, 文隆
Citation	大阪大学, 1992, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3088041
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

文字作成支援システムの構成と その応用に関する研究

1991年12月

内尾文隆

序文

本論文は、筆者が大阪大学工学部通信工学科研究生、名古屋商科大学商学部経営情報学教室、大阪大学産業科学研究所電子科学研究部、大阪大学工学部通信工学教室並びに和歌山大学経済学部産業工学教室において行った、文字作成支援システムの構成とその応用に関する研究を5章に分けてまとめたものである。

第1章は緒論であり、本研究の目的と本研究に関連した諸研究の現状を概説し、本研究の位置づけおよび工学上の意義について述べる。

第2章では、文字設計において最も基本である個々の文字の設計を手本文字を用いて支援するシステムを提案する。現在まで高品質な文字を生成するための文字生成手法が数多く提案されてきているが、それら手法には文字を生成するためのパラメータが存在する。しかしこれらパラメータの決定は人手によるところが多く、特に6千種以上の文字種を持つ漢字の場合は文字設計に必要とされる労力が大きな問題となっていた。提案システムは、毛筆楷書文字の生成法である階層分解合成法に用いる筆画パラメータを手書き毛筆文字から半自動的に決定するシステムである。手書きの手本文字をタブレット上にセットし、簡単な特徴点をプロットするだけで、パラメータの決定が行われ文字設計にかかる労力を低減させる。

第3章では、文字設計過程において非常に重要な文字相互バランスの調整支援手法を提案する。文字の相互バランスには種々のものが存在するが、最も重要なバランスに感覚的大きさの調整がある。本手法は従来提案されていた広がり量を、人間の視覚的特性を考慮し、文字の外接凸多角形の領域につ

いて計算を行うよう改良を行っている。さらに、人間が見る文字の大きさが文字の複雑さとも関係があるとの立場から、文字の外接矩形の大きさとストローク長を用いた複雑度を提案する。本手法では、改良を施した広がり量と対数表現した複雑度が線形関係にあることを用いる。2つの書風の毛筆漢字楷書文字に本手法を用い、正規化実験を行い主観評価により有効性を検証している。

第4章では文字設計支援手法を書写CAIシステムに応用するための書写規則の記述法を提案する。書写CAIシステムは従来から提案されていたが、基本的には手本文字画像とのパターンマッチングにより学習者の文字の評価・添削・指導を行っていた。しかしこれらシステムは、手本文字と異なっている部位を指摘できても本当に誤っている部位は指摘できない。本章では、文字の形を美しく書くための決まり（字形規則）を字形を記述するためのプリミティブを用いて表現する。さらに字形規則と学習者の文字の持つ規則を用いて、学習者の文字を評価する手法も提案する。小学1年生の書いた文字を用いて字形評価実験を行い本提案手法の有効性を検証している。

第5章は結論であり、本研究で得られた諸結果を統括的に述べるとともに今後の課題について述べる。

目次

第1章 緒論	1
第2章 手本文字を用いた半自動毛筆文字設計システム	5
— 個別文字の設計支援 —	
2. 1 緒言	5
2. 2 筆画パラメータ	6
2. 3 システムの概要	10
2. 4 パラメータ決定手順	17
2. 5 実験及び検討	19
2. 5. 1 筆画パラメータ既知の文字	20
2. 5. 2 手書毛筆文字	23
2. 6 結言	26
第3章 毛筆文字の感覚的大きさの正規化手法	27
— 文字相互バランスの調整支援 —	
3. 1 緒言	27
3. 2 文字の大きさ	28
3. 3 広がり量を用いた正規	29
3. 3. 1 文字の広がり量	31
3. 3. 2 広がり量を用いた正規化実験	32
3. 4 文字の感覚的大きさを表す2つの特徴量	34
3. 4. 1 文字内部の余白を考慮した特徴量	35

3. 4. 2	複雑度	35
3. 4. 3	特徴量間の関係	36
3. 5	実験および検討	38
3. 5. 1	書風が同一である文字	38
3. 5. 2	書風が異なる文字	41
3. 6	結言	44
第4章	書写C A Iのための書写規則の記述	45
	— 教育への応用 —	
4. 1	緒言	45
4. 2	書写技能の要素と書写C A Iシステム	46
4. 3	字形プリミティブを用いた字形規則の表現	48
4. 3. 1	字形プリミティブ	48
4. 3. 2	字形規則の表現法	50
4. 3. 3	評価例	56
4. 4	文字パターン処理	56
4. 4. 1	文字入力	58
4. 4. 2	特徴抽出	59
4. 5	実験および検討	62
4. 6	結言	65
第5章	結論	67
謝 辞		71
参考文献		73

第1章 緒論

Gutenbergに始まった印刷技術は、コンピュータ技術の発達に伴って筆者自ら文書の作成、レイアウト、印刷までを行えるDTP(Desk Top Publishing)にまで発展してきており、従来の活版を用いた印刷に匹敵するような高い品質の文書を計算機の支援により容易に作成する事が可能となった。

この様なDTPが可能になった背景には、半導体技術の向上によるマイクロプロセッサの処理能力向上や、メモリーの低価格化はもちろんのこと、レーザープリンターに代表される高精細出力装置の開発や文字フォント生成手法の開発などが挙げられる。出力装置としては400dpi(dots per inch)以上の解像度を持ったレーザープリンターも低価格で登場してきており、印刷用としては1000~3500dpi程度のプリンターも開発されている^[4]。文字生成方式について考えてみると、古くから用いられてきた文字を点の集合で表現し文字出力を行うドットマトリックス方式、文字の輪郭を用いて文字を生成するアウトライン方式、または画の骨格線を保持しそこから肉付けを行って文字を生成するインライン方式が開発されてきている^{[1], [6] - [7], [12] - [16]}。ところが、文書が出力されたときの美しさは、出力装置や文字生成方式の性能ばかりではなく、文字フォントがいかに美しくデザインされているかによるところが大きい。しかし文字デザインはデザイナーの手作業により設計されており、そのため設計効率に問題がある。

ところで、文字フォントを設計する場合の基本は個別文字の設計である。個別文字の設計には3種類の方法がある^{[2], [3]}。一つは、計算機と対話し

ながら文字を設計する方法である。2番目は、デザイナーが設計した文字を紙の上に清書し、その文字画像をテレビカメラなどの入力装置を用いて計算機に入力し、対話的なツールを用いて入力時のノイズなどを除去して文字設計を行う方法である。現在、DTPシステムで実装されているフォントは輪郭線座標を記憶し、その輪郭の内部を塗りつぶして文字を生成するアウトラインフォントが主流である。したがってアウトラインフォントの設計では原字が存在する場合は文字の輪郭線追跡を行い、その後対話的に入力時のノイズ、歪を除去すれば設計が完了する。原字を用意すれば比較的簡単に文字フォントを設計することができるため、この方式が主流となっている^{[2]、[4]}。最後の方式は適切な文字生成手法を用いて文字を生成させ、その生成文字画像を基に文字を設計する手法である。生成された文字に対して先ほどと同様に輪郭線追跡を行えばアウトラインフォントの設計が完了する。

文書の表現力を向上させ見やすい文書を出力するためには、書体の種類に対する要求ばかりではなく、同一書体で、太さ、起筆や終筆の形状文字の異なるフォントのファミリーの充実に対する要求も増えてきている。したがって、これまでのようにデザイナーが原字を紙の上に書いていたのでは同一書体であってもフォントファミリーが異なれば最初から原字を書く必要が生じ、文字の設計効率が非常に悪い。したがって、文字の太さや、ストロークの形状をパラメータ化し、文字デザインを容易に変更できる文字生成手法を用いた後者の設計手法が注目されている^[3]。

しかし、いかに文字生成手法を用いた場合でも、最終的には文字設計はデザイナーの手作業で行われる事になる。しかも、英語の94文字と比較して漢字は、JIS第1水準、第2水準合わせても6500文字以上と60倍以上の文字カテゴリーを有するため、文字設計にかかる労力は非常に大きなものとなる。さらに文字設計は個別文字ばかりではなく、文字同志を組み合わせたときの文字間の相互バランスについても考慮する必要がある。したがって漢字につ

いて、個別文字設計や相互バランスの調整を行うとその作業に膨大な労力が必要とされ、日本語書体やフォントファミリーの充実に大きな障害となっている。

以上の観点から本論文では、文字フォント設計にかかる膨大な労力を軽減させるために、文字フォント設計の支援手法について、個別文字設計と文字相互バランス調整の観点から検討を行う。

まず第2章では個別文字の設計支援をとりあげ、文字生成手法として毛筆楷書体の優れた生成方式である階層分解法を用い、毛筆文字生成に必要な各種パラメータを手書き文字手本より決定するシステムについて述べる。本システムでは手書き文字手本をタブレット上に置き、文字を構成する各ストロークの特徴点をプロットする事で、階層分解合成法に必要な各種パラメータを半自動的に決定する。

第3章では文字相互バランスの調整支援として毛筆楷書文字の感覚的大きさを正規化する手法について述べる。本手法では、従来提案されていた広がり量を用いた正規化手法に対して、文字の懐を考慮した広がり量及び文字の複雑度を用いた正規化手法について述べる。

第4章では2章、3章で用いた手法が書写C A Iシステムを構築するための基本構成要素であるとの観点から文字設計支援手法の応用として、書写C A Iシステムについて述べる。従来提案されていた書写C A Iシステムは手本文字パターンと学習者の文字パターンとの単純なパターンマッチングを基本としてきた。そのため、学習に対する説明機能が不足していたり、知的な振る舞いを行わせるための学習者モデルの構築に問題があった。したがって、本章では、書写C A Iシステムを構築するために、書写技能の一つである字形規則をストローク間の関係を表す字形プリミティブの集合で表現する手法について述べる。さらに本表現法を用いた学習者の文字の評価法についても合わせて述べる。

第2章 手本文字を用いた 半自動毛筆文字設計システム

— 個別文字の設計支援 —

2.1 緒言

文字フォント設計の最も基本は個別文字の設計である。第1章で述べたように文字のフォントの設計には、適切な文字生成手法を用いて、文字設計を行った方がフォントファミリーを充実させるためにも有利である。これまでに発表されている文字生成手法は、文字を生成するために必要な各種パラメータが存在する^{[5] - [7], [11] - [16]}。さらに、生成される文字の品質はそのパラメータの値によって左右される。しかしこのパラメータの決定を人間が適切なツール無しで行う場合、多大なマンパワーと熟練を必要とする。また、漢字はそのカテゴリーが数千種と膨大であるため、品質の高い文字を生成するパラメータを得るためには専門的能力と非現実的な程大きな労力が必要となる。

本章では文字生成手法として、毛筆文字を生成する階層分解合成法を用いる。本文生成手法は漢字楷書毛筆字体を44種類の画（ストローク）と5種類のパラメータにより生成するものである。ここで用いるパラメータには、画の始点座標、向き、長さ、太さ、曲度があり、この値が適切か否かで生成される文字の品質が決定される。また、この重要なパラメータの決定は従来は人間が目測で試行錯誤により決定していた。この場合、1文字のパラメー

タ決定に約90分程度の時間とパラメータ調整に熟練が要求されていた。

したがって本章では、個別文字の設計支援として、階層分解合成法に必要なパラメータを手書き文字手本より半自動的に決定するシステムについて述べる。

本システムの特徴を要約すると次に述べる通りである。

- ・毛筆文字を手本とすることにより、階層分解合成法に必要なパラメータを半自動的に決定できる。
- ・システムの操作は、手本文字の各画に対して始点、終点、腹の幅といった直感的に理解できる特徴点をタブレットによりプロットするだけでよく、熟練を必要としない。
- ・人間が目視で試行錯誤によりパラメータを決定する時間に比べて高速にパラメータを決定できる。

次節では、本システムが対象とする階層分解合成法について概説する。

2.2 筆画パラメータ

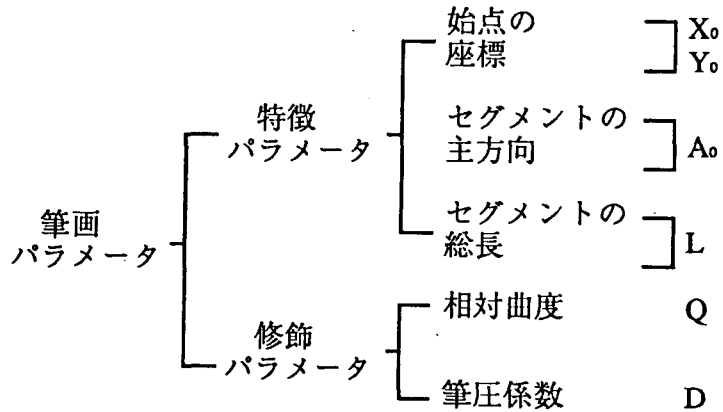
漢字は字種が6千数百種と多い反面、画の形状で分類すると有限種の画の集合で構成されている。張らの提案した階層分解合成手法は、楷書体において、44種類の画のみをうまく変形させながら組み合わせれば文字が生成できることに注目した手法である^{[6], [7]}。

本生成法により文字を生成するためには、まず生成される文字の各画に対して、表2.1に示した44種類の画より適切な画を後述する方法により選択し、筆画コードによりその形状を指示する。次いで、その選ばれた各画を適切に組み合わせ、かつ生成された文字に対して勢いを付加するために筆画パラメータと呼ぶパラメータを適切に設定し、漢字を生成させる。筆画パラ

表2. 1 筆画コード表

code	stroke	number of parameter	code	stroke	number of parameter
1	ノ	6	24	ヰ	6
2	ノ	6	25	ヱ	6
3	ノ	6	26	ヱ	6
4	ノ	6	27	ヱ	9
5	ノ	6	28	ヱ	9
6	ノ	6	29	ヱ	9
7	ノ	6	30	ヱ	9
8	ノ	6	31	ヱ	9
9	ノ	6	32	ヱ	9
10	ノ	6	33	ヱ	9
11	ノ	6	34	ヱ	9
12	ノ	6	35	ヱ	9
13	ノ	6	36	ヱ	9
14	ノ	6	37	ヱ	9
15	ノ	6	38	ヱ	9
16	ノ	6	39	ヱ	9
17	ノ	6	40	ヱ	9
18	ノ	6	41	ヱ	9
19	ノ	6	42	ヱ	12
20	ノ	6	43	ヱ	12
21	ノ	6	44	ヱ	12
22	ノ	6	45	ヱ	12
23	ノ	6	46	ヱ	12

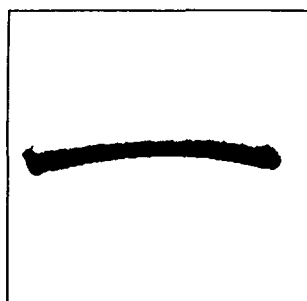
表2. 2 筆画パラメータ



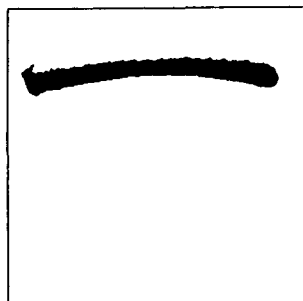
メータには表2. 2に示す5種類が存在し、各々画の始点座標、セグメントの方向、長さ、太さ、曲がりの程度を表している。ここでセグメントとは画の転折点（屈曲点）を含まない曲線と定義する。

図2. 1は筆画パラメータの役割を視覚的に説明するための例である。枠の左上を原点座標とし、枠の大きさが400×400、始点座標(30, 210) セグメントの主方向0.03rad, セグメントの総長320 相対曲度0.2 筆圧係数1.1の文字“一”について筆画パラメータをそれぞれ変動させている。図2. 1より、筆画パラメータを変動させることで文字から受ける印象が大きく変化していることがわかる。

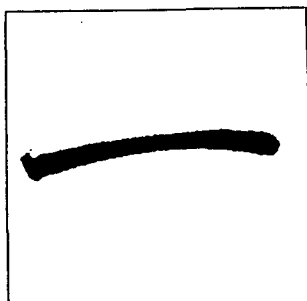
階層分解合成法では、高品質な文字を生成するためにこのパラメータの適切な決定が重要な問題となっている。しかし、従来パラメータの決定には、人間がキーボードから数値として与えて文字を生成し、文字の品質を人間が評価する。その結果、より良いと判断されるパラメータを再度入力するといった試行錯誤の繰り返しにより行っていた。大量の文字パターンを生成する場合、上記の方法ではパラメータの決定に大量の時間と熟練を要し、生産性の点で問題があった。



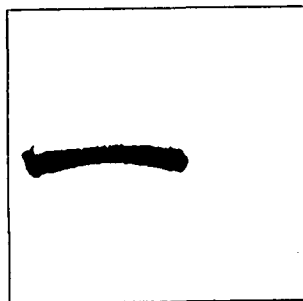
(a) original



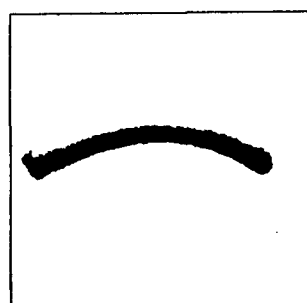
(b) starting point



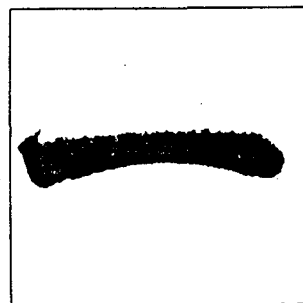
(c) inclination



(d) length



(e) curvature



(f) thickness

図2. 1 筆画パラメータの変動による画の変化

先に述べた筆画パラメータの各値には、それぞれ変域と有効精度が存在する。表2. 3は、筆画パラメータの変域、有効精度およびパラメータを表現するために必要なビット数である。有効精度は実験により求めている。パラメータをこの精度以下で変動させても、人間には画の変化が検知できないことが実験的にわかっている。”永”の文字を例にとると、この文字を生成するために要するデータ量は、表2. 3より323ビットすなわち約40バイトのデータ量である。文字の平均画数は10画程度であるため、1文字あたりの平均データ量を80バイト程度と仮定すると、JIS第1水準の2965文字は約240Kバイト程度の記憶容量があれば記憶可能である。

2. 3 システムの概要

本節では、美しく書かれた手書き文字を手本としてその文字の特徴点（始点、終点、転折点、腹の幅）をタブレット上でプロットすることによりパラメータの決定を行うシステムについて述べる。本システムの構成にあたり次に述べる点について考慮した。

- ・システムの構築が容易でありパーソナルコンピュータ程度の計算機で構成できること。
- ・システムの操作に熟練を必要としないこと。

システムの構成図を図2. 2に示す。

表2. 3 筆画パラメータの精度

パラメータ	変域	有効精度	変域/有効精度	ビット幅 (bit)
筆画コード	1~46	1	46	6
始点座標 X	0~400	4	100	7
始点座標 Y	0~400	4	100	7
セグメントの 主方向	0~2 π	0.01	628	10
セグメントの 総長	0~400	4	100	7
相対曲度	-1~1	0.02	100	7
筆圧係数	0~2	0.02	100	7

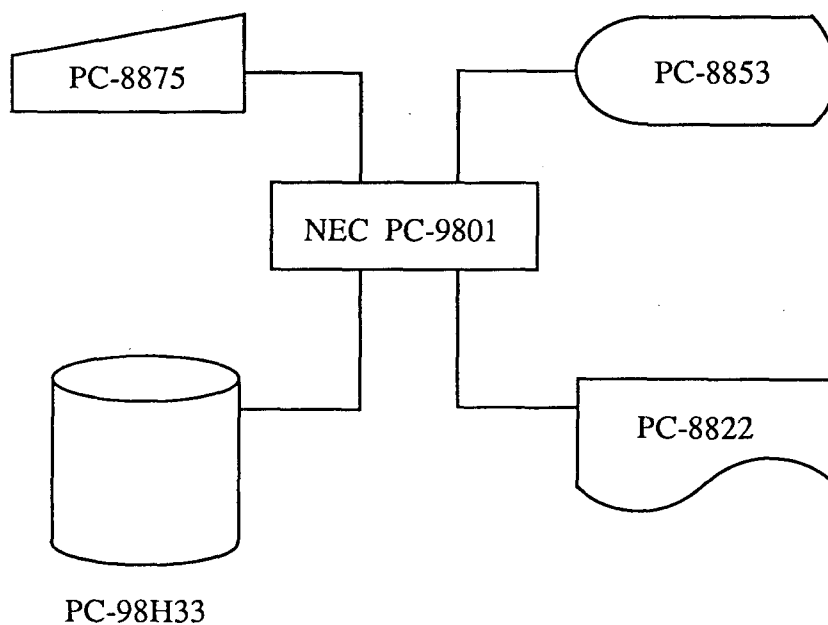


図2. 2 システム構成図

手本となる文字の特徴点は、タブレット上をプロットすることにより座標の形で計算機に入力され、その座標値をもとにパラメータが決定される。システムの記述言語はC言語を用いている。決定されたパラメータはディスク上のファイルに格納され、必要に応じて追加、修正が可能である。

以下に操作手順を述べる。

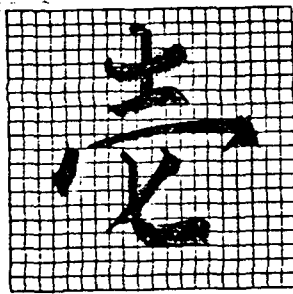
(1) 筆画コードの決定

手本文字の各画に応じた筆画コードを決定する。筆画コードは、手本文字の各画の形状により適切なコードを人間が選択している。この理由は、画の起筆部や終筆部の微妙な形状、画の曲がり方が文字の品質に大きく影響するからである。しかし、筆画コードも次に述べる2種類の手法で比較的簡単に決定を行うことができる。

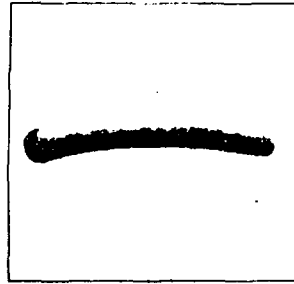
1) 画の形状を用いる

筆画コードの決定は、手本の各ストロークに対して、表2. 1のコード表を参考にし、まず点であるか、画であるのか。または転折点数により候補となる筆画の種類を絞る。次に起筆部と終筆部の形状に着目し、最も適切と考えられる筆画コードを選択する。

具体例として図2. 3に手書き文字において筆画コード4の画を含む文字”意”、筆画コード5の画を含む文字”壺”、筆画コード6の画を含む文字”央”をそれぞれ示し、図2. 4に階層分解合成法による筆画コード4, 5, 6の画を示す。文字”意”の2画目、文字”壺”の3画目、および文字”央”の3画目は転折点の無い画であるから、それぞれ筆画コード表のコード番号は1から26のいずれかであることが分かる。また同様に、手本の画は点ではないのでコード番号4から26のいずれかに候補を絞ることができる。次いで横に延ばす画であること、および終筆部の払い方よりコード4から6の3種類に限定することができる。最後に起筆部の形状を図2. 3と比較す



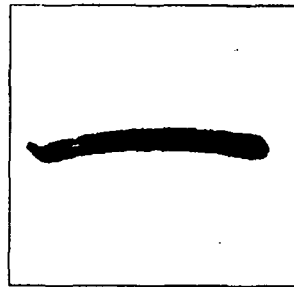
(a) 画コード4の例



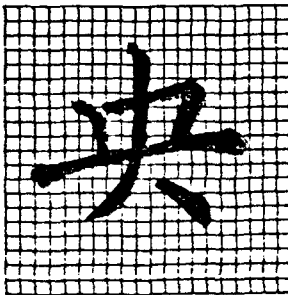
(a) 画コード4



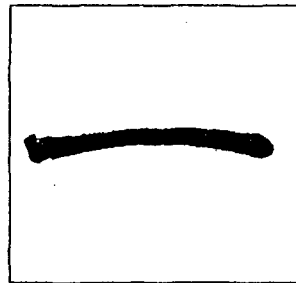
(b) 画コード5の例



(b) 画コード5



(c) 画コード6の例



(c) 画コード6

図2. 3 手書き文字手本

図2. 4 類似画の比較

ることにより”意”の2画目はコード番号4、“𠄎”の3画目はコード番号5、“𠄎”の3画目はコード番号6であることが分かる。

2) 偏や旁などの規則の利用

偏や旁などで同じ部分パターンを持つ文字は、その部分パターンを構成する画にはすべて同じ筆画コードを割り当てることができる。例えば、三水では筆画コードは順番に1, 1, 18であり、同様に口偏では、筆画コードは8, 3 1, 5と決定することができる。このように偏や旁など同じ部分パターンを持つ文字はこの規則を用いて筆画コードを決定することができる。

(2) 手本文字のセット

タブレット上に、文字枠内に書かれた毛筆文字を水平にセットする。手本文字の大きさはタブレットの有効範囲内であれば大きさは無関係である。

(3) 画数と筆画コードの入力

キーボードより手本文字の画数と各画に対応する筆画コードを入力する。

(4) 文字枠の入力

タブレット上での文字の位置と文字枠の大きさを入力するために図2. 5に示す座標原点と枠の右上をプロットする。この操作により手本文字のタブレット上での位置と文字枠の大きさが計算される。以後タブレットより入力される座標は、この座標原点と枠の大きさをもとに座標原点(0, 0)、枠の大きさ400×400の座標系に変換される。パラメータの決定は全てこの座標系をもとに行われる。また、タブレット上の手本文字の大きさは任意であるが、人間がタブレット上をプロットするときに目視による誤差を生むため、手本文字はできるだけ大きいほうが相対的に誤差を小さくできる。

(5) 画ストロークの特徴点座標入力

手本文字の各画にたいして、特徴点座標の入力を行う。特徴点とは、各画の始点座標、終点座標、転折点座標、腹の幅の計4種類である。ここで、腹とは画の各セグメントの行筆部において最も凸な部分とし、腹の幅とは腹の位置でのセグメントの幅とする。また転折点とは画が屈曲している点である。図2. 5に示す画においては、図中の4点をプロットする事により入力操作を終わる。転折点のある画については、図2. 6に示す7点を入力する事により入力操作を終わる。図2. 7はシステムが保有する画において、骨格形状により、一つのセグメント中に腹が2箇所ある例である。この場合、システム側の要求により腹の幅を2箇所入力することが必要となる。

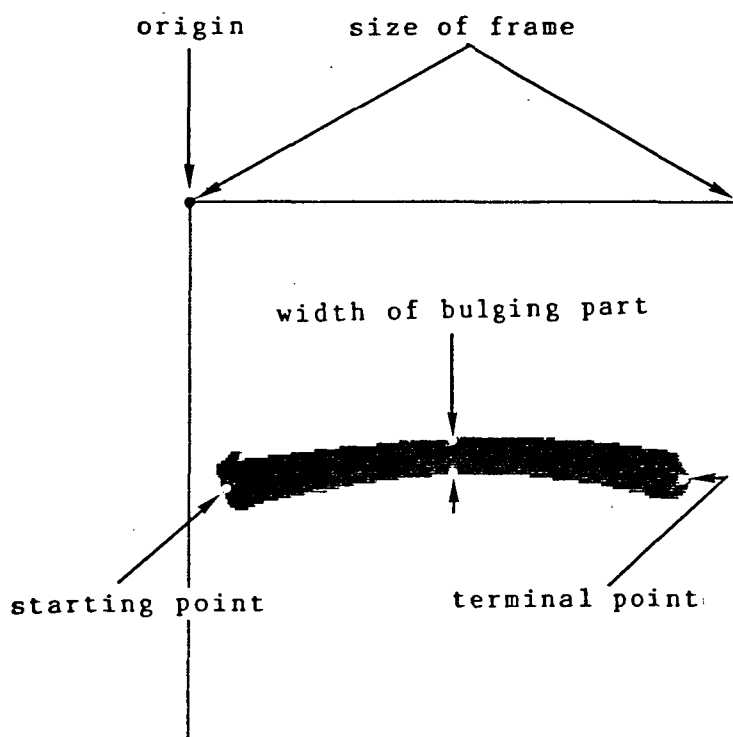


図2. 5 転折点の無い画

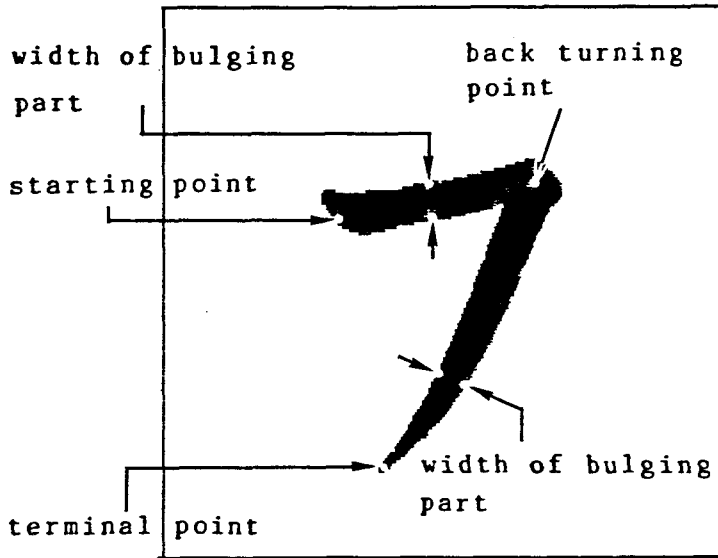


図2. 6 転折点のある画

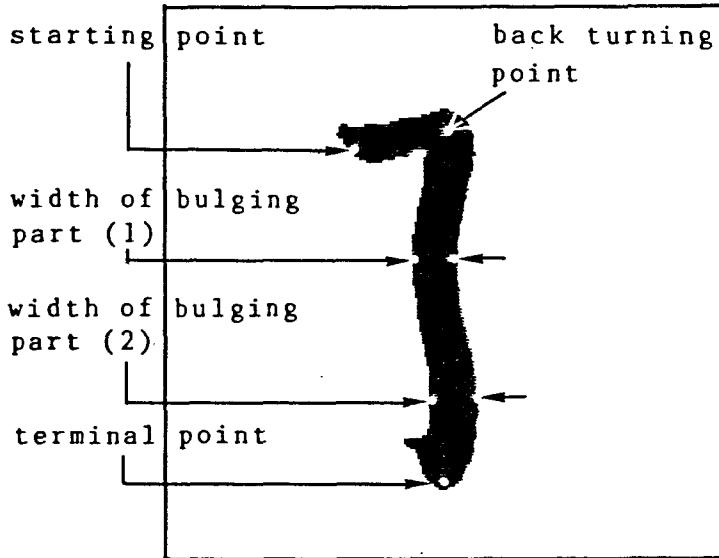


図2. 7 腹が2箇所ある画

この入力操作手順は、入力操作（5）を画数回反復することにより終了する。このように、直感的に理解しやすい特徴点を入力する事により必要な入力操作が行える。

2. 4 パラメータ決定手順^{[9], [10]}

本節では、2. 3節で述べた入力操作により得られた特徴点の座標値を用い、本システムが筆画パラメータを決定する手順について述べる。

(1) 始点座標 X_0, Y_0

入力操作（5）により得られた始点座標は、筆画パラメータの始点座標に対応するように座標系が変換されているため、入力座標をそのまま始点座標とできる。

(2) セグメントの主方向 A_0

入力操作（5）により得られた始点の座標、終点座標の傾きを計算し、それを筆画パラメータのセグメントの主方向としている。

ここで主方向の単位はradを用いる。

(3) セグメントの総長 L

入力操作（5）により得られた腹の幅より、その2点間の中心を求め、それを腹の中心とする。次に腹の中心と始点座標間の距離、および腹の中心と終点座標間の距離を加算しセグメントの総長と近似している。本来このパラメータの意味は始点から終点間の画の弧に沿った長さであるが、楷書体の場合、画の曲がりはそれほど大きくないためこの程度の近似で十分実用になる。

(4) 相対曲度Q

階層分解合成法の筆画生成サブルーチンライブラリーに筆画パラメータの決定手順(1)～(3)で決定されたパラメータを受け渡し、画の骨格を描かせる。このとき、パラメータ決定手順(3)で計算した腹の中心座標を (X_g, Y_g) とし、描かせた画の骨格を構成する要素の各座標値を (X_i, Y_i) とする。ここで i は始点位置から終点位置まで変化する骨格を構成する要素のラベルとする。このとき、腹の中心座標と骨格の座標 d を次式で定義する。

$$d = \min \sqrt{(X_g - X_i)^2 + (Y_g - Y_i)^2} \quad (2.1)$$

この時相対曲度のパラメータを順次変化させながら d を計測する。この手順を距離 d が最小となるまで続ける。このとき Q の変化幅を0.08から0.02まで変化させることにより相対曲度決定の時間の短縮を図っている。

また、腹が2点ある画については腹の中心座標をそれぞれ (X_{g1}, Y_{g1}) , (X_{g2}, Y_{g2}) とし、腹の中心座標と画の骨格の距離を d_1, d_2 を次式のように定義する。

$$d_1 = \min \sqrt{(X_{g1} - X_i)^2 + (Y_{g1} - Y_i)^2} \quad (2.2)$$

$$d_2 = \min \sqrt{(X_{g2} - X_i)^2 + (Y_{g2} - Y_i)^2} \quad (2.3)$$

このとき、腹が一つである画と同様に、相対曲度パラメータを変化させ、 $d_1 + d_2$ が最小となるようにする。

相対曲度決定操作において相対曲度パラメータを変化させるときの最小変化幅は、文字品質とパラメータの決定時間に大きく影響する。2.2節で述

べたように、相対曲度パラメータは、0.02程度変動させても人間には変化が識別できないため最小変化幅は0.02としている。

(5) 筆圧係数D

筆画生成サブルーチンライブラリーに筆画パラメータ決定手順(1)～(4)で決定されたパラメータを受け渡し、肉付けを行いながら画を描かせ、生成した腹の幅を測定する。この実際に描いた腹の幅と、手本より入力された腹の幅とを比較し、両者が一致するよう筆圧係数を増減させる。筆圧係数は、最小変化幅を0.02としている。これは筆圧係数を0.02程度変化させても人間が識別できないためである。

筆画パラメータの決定は以上(1)～(5)の手順を画数回繰り返すことで1文字分の筆画パラメータが得られる。

2. 5 実験及び検討

本システムの有効性を確認するために2種類の実験を行った。第1の実験は、手本として階層分解合成法により出力した文字を用いた場合である。本実験では、手本文字を生成したパラメータは既知であるため、手本文字のパラメータと本システムが決定したパラメータを比較することで有効性の確認を行うことができる。第2の実験は、手本文字として毛筆手書き文字を手本として用いた場合である。本実験では、手本文字をもとに本システムを用いて筆画パラメータを決定し、次にそのパラメータから階層分解合成法により文字を合成する。この手本文字と生成文字を比較することにより本システムの有効性が確認できる。

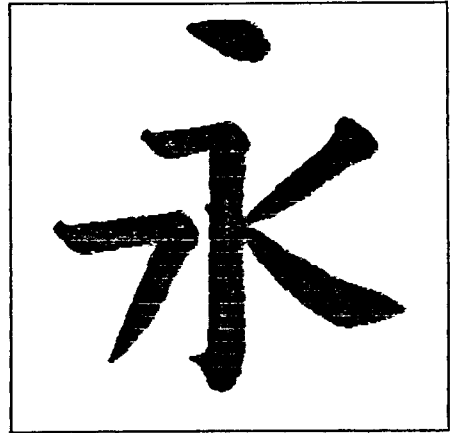
2. 5. 1 筆画パラメータ既知の文字

図2. 8 (a)の”永”, 図2. 9 (a)の”依” は階層分解合成法により生成された文字で、すでにパラメータが分かっている文字である。また、表2. 4, 表2. 5は本システムにより図2. 8 (a), 図2. 9 (a)を用いて決定された筆画パラメータと手本文字を生成した原パラメータとの比較対象表である。図2. 8 (b), 図2. 9 (b)は図2. 8 (a)および図2. 9 (a)を手本としてパラメータを決定し、そのパラメータより生成した文字である。

図2. 8, 図2. 9において手本文字と本システムにより決定したパラメータを用いて生成した文字を比べると、ほぼ満足のできる結果が得られていることが分かる。両パラメータは良く一致しており、図2. 8, 図2. 9 (a), (b)が良く似ている結果もうなずける。



(a) 手本文字



(b) 生成文字

図2. 8 “永” による生成文字の比較

表2. 4 “永” によるパラメータの比較

	筆画 コード	始点 (X0,Y0)	主方向(rad) A0	総長 L	筆圧 D	曲度 Q	主方向1(rad) A01	総長1 L1	曲度1 Q1
手本	1	(170, 25)	-0.30	60	1.30	0.00			
手本より決定したパラメータ		(164, 23)	-0.24	76	1.22	0.00			
手本	33	(130,135)	0.20	75	1.00	0.00	-1.57	230	0.06
手本より決定したパラメータ		(128,135)	0.18	75	1.00	0.02	-1.58	227	0.02
手本	29	(40,225)	0.20	110	1.10	-0.10	-2.05	130	0.20
手本より決定したパラメータ		(43,224)	0.14	109	1.10	0.00	-2.04	132	0.10
手本	14	(325,125)	-2.50	130	1.10	0.10			
手本より決定したパラメータ		(322,125)	-2.50	130	1.10	0.10			
手本	16	(175,195)	-0.55	230	1.00	0.40			
手本より決定したパラメータ		(177,192)	-0.58	213	0.92	0.32			

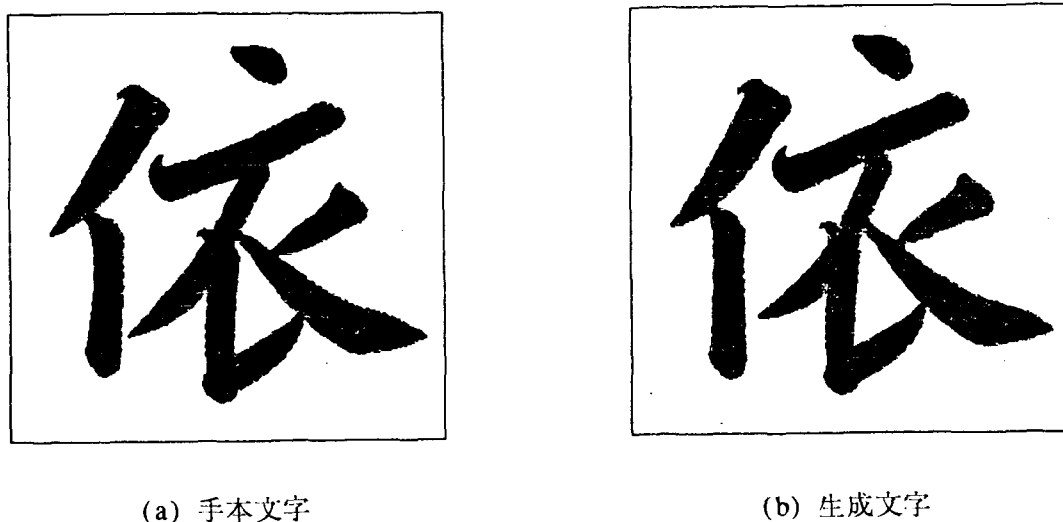


図2.9 “依”による生成文字の比較

表2.5 “依”によるパラメータの比較

	筆画 コード	始点 (X0,Y0)	主方向(rad) A0	総長 L	筆圧 D	曲度 Q	主方向1(rad) A01	総長1 L1	曲度1 Q1
手本	13	(130, 80)	-2.20	145	1.30	0.20			
手本より決定したパラメータ		(129, 82)	-2.21	143	1.30	0.20			
手本	8	(90,180)	-1.60	140	1.10	0.10			
手本より決定したパラメータ		(91,180)	-1.58	144	1.10	0.00			
手本	1	(200, 35)	-0.35	45	1.20	0.10			
手本より決定したパラメータ		(199, 33)	-0.38	49	1.10	0.20			
手本	4	(140,160)	0.40	165	1.00	-0.10			
手本より決定したパラメータ		(141,159)	0.40	168	1.00	0.00			
手本	15	(230,135)	-2.20	210	0.90	0.30			
手本より決定したパラメータ		(229,140)	-2.21	199	0.90	0.40			
手本	39	(200,200)	-1.60	135	1.00	-0.10	0.70	100	-0.30
手本より決定したパラメータ		(201,199)	-1.61	138	1.00	-0.10	0.69	100	-0.30
手本	14	(315,175)	-2.60	85	1.00	0.10			
手本より決定したパラメータ		(318,173)	-2.60	86	1.00	-0.10			
手本	16	(185,195)	-0.60	230	1.00	0.40			
手本より決定したパラメータ		(190,193)	-0.62	229	1.00	0.40			

2. 5. 2 手書毛筆文字

図2. 10, 図2. 11は毛筆楷書手書き文字とその手本より本システムを用いて筆画パラメータを決定し、そのパラメータより階層分解合成法により文字を生成した結果である。図2. 10では網目を入れる事により文字形状の比較を容易にしている。図2. 10と図2. 11において、手本文字と生成文字の比較を行う事により、実際の毛筆手書き文字を手本とした場合においてもほぼ満足できる結果となっている。またパラメータ決定に要する時間は約1分半であり、専門家が対話的にパラメータを決定する時間に比べて約1/60である。

手本と生成文字の細部に注目すると、図2. 11(2)の第2画に見られるように、形状が微妙に異なっている画が見られる。この原因としては次に述べる理由が考えられる。すなわち、階層分解合成法では画の曲がり方(曲線の形状)は予め決まっており、1つのパラメータで制御している。したがって、階層分解合成法が用いる画の曲線の形状と異なる手書き文字を手本として、無理矢理階層分解合成法の画の形状と一致させるように曲がりのパラメータを修正するために、画の形状が手本と異なると考えられる。

また、図2. 10(3), (4)のように全体として画の太さが細くなっている文字もある。この原因として先の例と同様、手書き文字におけるセグメントの太さの変化が階層分解合成法の想定している曲がりかたと異なるために太さに誤差が発生したと考えられる。

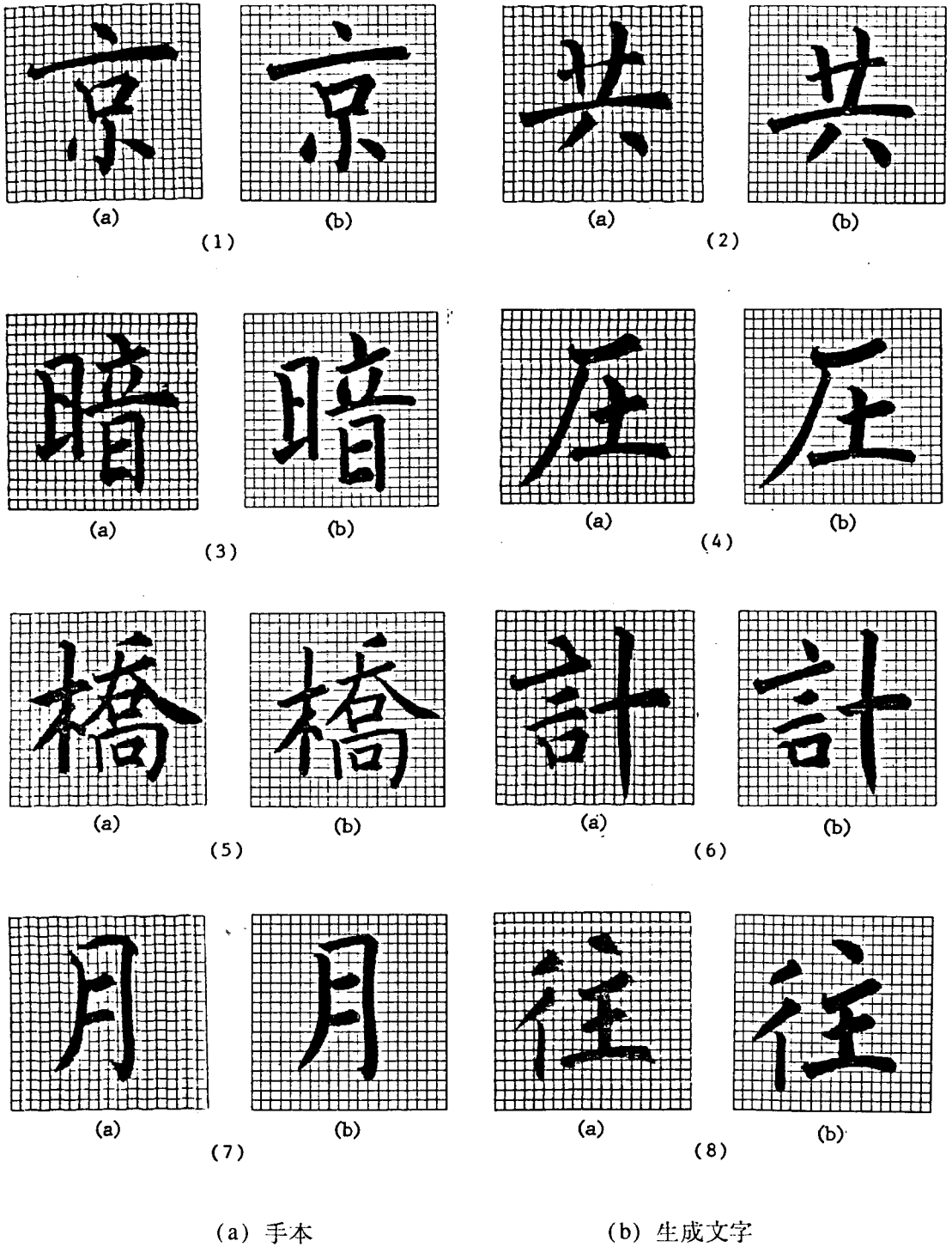
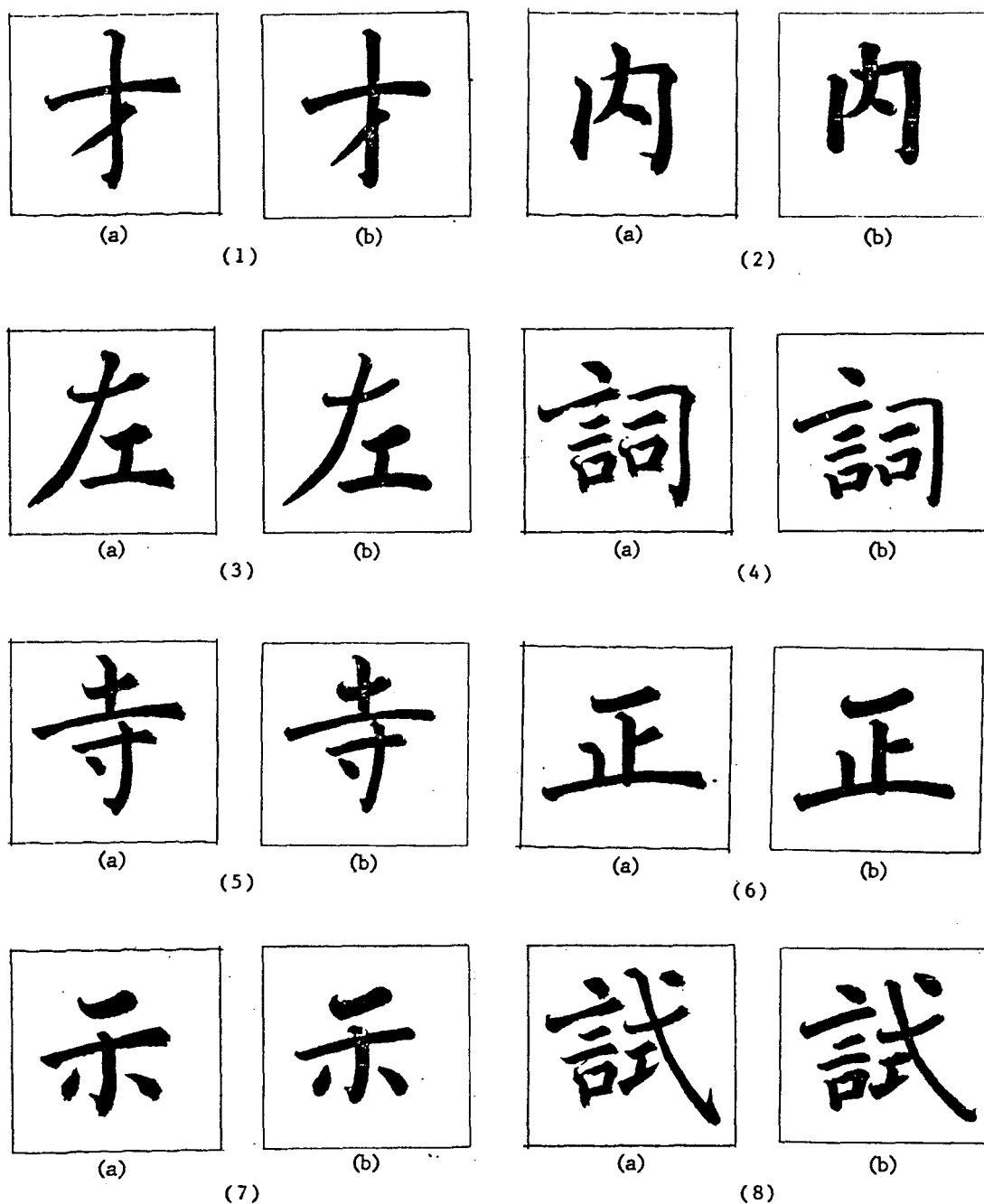


図2.10 手書き文字の例-1



(a) 手本

(b) 生成文字

図2.11 手書文字の例-2

2.6 結言

本章では個別毛筆文字の設計支援システムとして、階層分解合成法を用いた毛筆文字生成に必要な各種パラメータを手書き文字より半自動的に決定するシステムについて述べた。システムの特徴は以下に述べる通りである。

- ・手書き文字手本を用意すれば、手本文字と類似した文字パターンを生成する筆画パラメータを決定できる。
- ・パラメータの決定に必要な操作は、各画の形状を用いて筆画コードを入力する。続いて文字の特徴点として、各画の始点、終点、転折点、腹の幅をタブレットを用いて入力するだけでよく熟練を必要としない。
- ・本システムによりパラメータを決定する時間は1文字当たり約1分半程度であり、人間が試行錯誤により決定を行う場合に比べて約1/60の時間で済む。

第3章 毛筆文字の感覚的大きさの正規化手法

— 文字相互バランスの調整支援 —

3. 1 緒言

文字フォントの設計行程には数多くの行程があるが^[2]、大きく2つの工程に分けることができる。ひとつは個々の文字を設計する工程であり、もうひとつは文字相互間のバランスをとる工程である。前者は計算機への入力装置が発達してきているため、2章で述べた手法やアウトラインフォントで用いられるような輪郭線追跡法を用いれば^[4]、高品質な文字手本を用いることで、その手本から得られる特徴点をもとに同程度の品質を持った文字も生成可能である。しかし文書として出力結果の美しさを考えた場合、個々の文字の美しさも重要であるが、それ以上に文字同士の調和をとることが重要である。

毛筆文字について考えてみると、手本となる毛筆文字を書家に書いてもらう場合、第1、第2水準合わせて6千数百ものカテゴリが存在するため、書家の気分の変化や疲労のために文字の形状や文字同士の調和のとりかたが変化することが多い。これに基づいて文字フォントを設計し文書を作成すると、文字同士の調和が乱れ全体として見苦しい文書となる。従来文字間のバランスをとる工程はほとんどが熟練者（デザイナー）が手作業で行っているため、文字カテゴリの多さも手伝って多大な労力を必要とする。この調和

をとる作業に4年の歳月を費やしている報告すらある^[17]。したがってこの調和をとる作業を機械化できれば文字フォントの設計効率は飛躍的に改善される。

文字同士の調和をとるべき要素としては、種々のものが考えられるが、重要な要素として文字列を構成する文字同士の見かけの大きさ(感覚的大きさ)が揃っていることがあげられる。文字の大きさに関しては、古来より書道規則の一つとして取り上げられており、小大大小法と呼ばれている^[32]。この規則は「大きく見える字は小さく、小さく見える字は大きく書け」と述べられているが、表現自体が感覚的大きさを計測できる事を前提としているため非常に抽象的である。書道規則を計算機で取り扱える形にするためには、定量化が必要不可欠である。さらにこのような書道規則の解析が進めば、書写のCAIの基本的技能である文字の大小の指導とも対応する。同時に人間が文字の美しさを知覚する機構の解明への一歩にもなる^[23]。

本章では以上のことを考慮して、毛筆文字の感覚的な大きさの正規化に有効と考えられる評価指標について述べる。また見かけの大きさを揃える手法の自動化を試み、実験結果も示す。

3. 2 文字の大きさ

文字の大きさを本章では図3. 1のように2種類に分類する。物理的大きさとは従来から工学的に用いられてきた大きさである。例えば手書き文字認識の分野では、手書き文字は文字枠を設定しても色々な大きさで書かれる。しかし重ね合わせ的手法を用いる場合、辞書の大きさと認識すべき手書き文字の大きさが異なると、パターンマッチングを取ることが不可能である。したがって、なんらかの方法で文字の大きさを揃える必要がある。



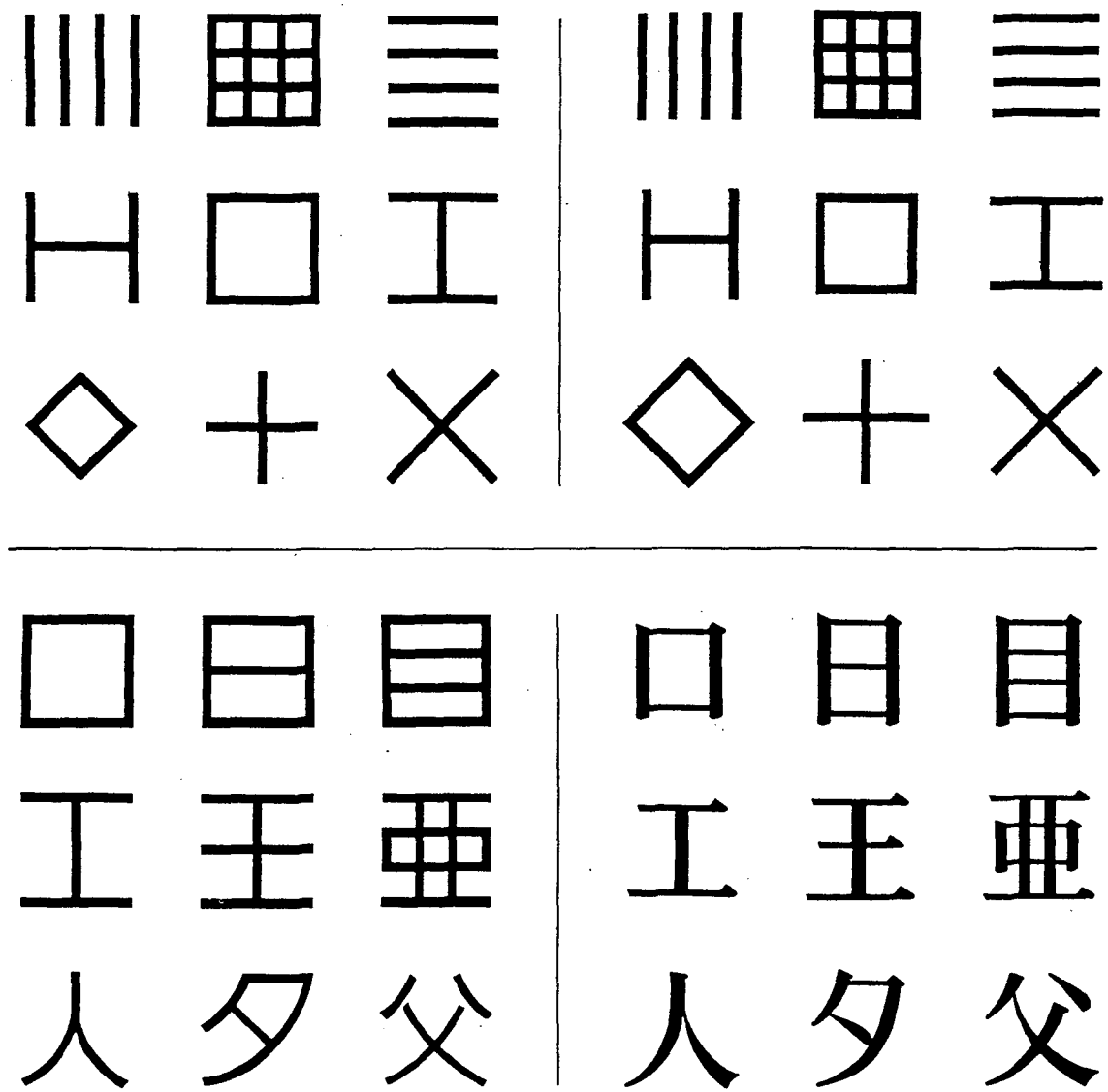
図3. 1 大きさの分類

一般的に用いられる方法は、文字を最小矩形で囲み、その大きさが同一となるように手書き文字を拡大縮小する手法である^[19]。この場合大きさを比較するための文字は辞書に登録されている文字と手書き文字というように同一カテゴリーの文字同士を対象としている。

一方、文字デザイン（レタリングやタイポグラフィー）の分野では、文字間の間隔であるスペーシングと共に文字の大きさ合わせが重要な問題となる。図3. 2 (a)は記号、文字をある矩形枠に一杯に書いた例である。一方図3. 2 (b)はデザイナーが視覚的な大きさを揃えるために大きさを調節した例である。図3. 2にあるひし形を両者で比較するとその大きさが異なっているのがわかる。また文字“口”や文字“亜”でも両者の大きさが異なっている。本章で述べる感覚的大きさとは文字認識で用いる同一カテゴリー同士の文字の大きさではなく、図3. 2 (b)のように異なる文字カテゴリーにおいて、同じ大きさに見える文字の大きさを指す。

3. 3 広がり量を用いた正規化

「文字の感覚的な大きさ」を示す指標として、吉村、飯島は片仮名文字の設計のために広がり量 σ_1 を提案している^{[18], [20]}。そこで3. 3. 1では吉村らの提案した広がり量について述べ、また3. 3. 2では広がり量を用いて毛筆楷書体の感覚的大きさの正規化を行った実験結果について述べる。



(a)物理的大きさ

(b)感覚的大きさ

図3. 2 大きさの比較^[26]

3. 3. 1 文字の広がり量

従来の研究で、文字の大きさについて研究された論文は大半が、同一カテゴリの文字同士の大きさを比較している。異なるカテゴリ同士の文字の感覚的大きさを研究した例として、吉村、飯島の研究がある。吉村らの研究は、日本電子工業振興協会の郵便仮名文字分科会における、ラインプリンタによる片仮名印字字体制定に参加した時の研究結果である。この研究において目標として次の2点が挙げられている。

- ・機械読みとりに有利な字体であること
- ・人間にとって読み易く、自然な字体であること。

吉村らは、見かけの大きさに関係する量として広がり量 σ_1 を提案しており、それは重心 (a_x, a_y) を用いて次式のように定義されている。

$$a_x = \frac{\iint x f(x, y) dx dy}{\iint f(x, y) dx dy} \quad (3.1)$$

$$a_y = \frac{\iint y f(x, y) dx dy}{\iint f(x, y) dx dy} \quad (3.2)$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\iint \{(x - a_x)^2 + (y - a_y)^2\} f(x, y) dx dy}{\iint f(x, y) dx dy}} \quad (3.3)$$

但し、 $f(x, y) = \begin{cases} 1 & (\text{黒領域}) \\ 0 & (\text{白領域}) \end{cases}$

積分範囲は文字を包括する領域である。

3. 3式より明らかなように広がり量 σ_1 は、黒領域（文字部分）の2次元分布における重心からの標準偏差に相当し、かつ文字の拡大縮小に対して比例関係にある。すなわち文字を縦横に2倍に拡大すれば σ_1 も2倍になる

という性質がある。この性質を利用すれば、文字の感覚的大きさの正規化を広がり量を用いて行う場合、正規化するための拡大・縮小倍率に、正規化の基準とする広がり量からの倍率をそのまま用いることができるという利点がある。

3. 3. 2 広がり量を用いた正規化実験

広がり量 σ_1 を感覚的な文字の大きさと看做した場合、広がり量の正規化能力を調べるために毛筆文字の正規化実験を行った。図3. 3は代表的な漢字について、文字の広がり量 σ_1 が文字”永”の広がり量と等しくなるように、各文字を拡大縮小した例である。サンプルに用いた文字は画数や、形状に偏りがないように注意している。

図3. 3の各文字例から、広がり量 σ_1 による正規化のみでは漢字についての感覚的大きさを揃えるのに十分ではないことがわかる。例えば、正規化の基準とした”永”と他の文字を比較すると、”関”,”選”などは少し小さく、また”工”,”夕”などは少し大きく感じられる。

以上の結果より、吉村らの提案した広がり量のみでは楷書体漢字の正規化には不十分である。この原因として次にあげる2点が考えられる。

- (1) 人間は文字の大きさを黒領域だけではなく、周辺や内部の白領域をも包括した一種の場の広がり（ここでは文字の勢力範囲と呼ぶ）によって感じている。すなわち内部に白領域を取り込んだ文字は、外側に大きな影響を与える。したがってこのような文字は大きく見えるため小さく書く必要がある。しかし吉村らの提案した σ_1 は、文字領域のみしか考慮しておらず、文字の周辺や内部に広がる勢力範囲を無視している。

選一学長
代永関二
第会議夕
丁回口工

図3.3 正規化例

- (2) 感覚的な文字の大きさと文字の複雑さが関係することは経験的に知られている。すなわち、画数が多く複雑な文字は大きめに書くことで、また画数が少なく簡単な文字は小さめに書くことで文字の大きさのバランスをとることができる。吉村らが対象として扱った片仮名は、各カテゴリーが、簡単な文字ばかりであるため、複雑さを考慮しなくてもさほど影響はなかった。それに対して、漢字は、カテゴリー数が片仮名に比べて数千種と非常に多く、複雑さも簡単なものから複雑なものまでバラエティーに富んでいる。そのため、漢字について感覚的な文字の大きさを揃えるためには、新たに複雑度も考慮しなくてはならない。

の2点が考えられる。さきにあげた図3. 3の”工”, ”夕”は(1)の要因により実際に人が感じるより小さく評価されたため大きめに正規化を施され、また”関”, ”選”は要因(2)により実際より大きく評価されたため小さめに正規化されている。次節ではさきに挙げた2つの要因を考慮した特徴量を新たに提案する。

3. 4 文字の感覚的大きさを表す2つの特徴量^{[21], [31]}

本節では3. 3. 2で述べた、漢字楷書文字に対しても有効な特徴量を新たに提案する。特徴量は経験則を反映するという意味で、(1), (2)の2つの要因のそれぞれに特徴量を割り当てることを考える。このとき感覚的大きさが揃っているという条件のもとで、2つの特徴量に存在する関数関係を見いだす事ができれば有用である。数多くの特徴量を検討した結果、次に述べる特徴量を用いるのが最も良好な結果を得ることが判明した。次節では各特徴量について述べる。

3. 4. 1 文字内部の余白を考慮した特徴量

前節の要因(1)は経験的に「文字の大きさの感じはフトコロ(字に抱かれる空白)の面積と形によって決められる」と考えられている^[26]。このことは、文字の感覚的大きさを正規化するためには、吉村らの用いた広がり量のように黒領域のみに注目するのではなく、文字のフトコロをも考慮した特徴量を選択する必要がある事を示している。文字のフトコロも同時に評価するために山崎らが文字の外形評価に用いた、文字の外接凸多角形内部を塗りつぶした図形を考える^[22]。すなわち、ここでは多角形の内部にある空白(白領域)も、文字を構成する領域であると考え、黒領域と白領域を区別することなくすべて黒領域であると考え事に相当する。この領域が文字の勢力範囲であると考え、この勢力範囲の広がり量 σ_2 を新たに感覚的な文字の大きさを表す尺度の1つとして用いる。ここで評価尺度の一部として3. 3式を用いるのは3. 3. 1で述べたように正規化のための拡大縮小倍率が容易に求まるからである。

3. 4. 2 複雑度

σ_2 は文字の外形のみを取り扱っているため外接凸多角形内部のストロークの複雑さは考慮されていない。すなわち外形が同じであれば、複雑な文字であっても簡単な文字であっても同等なものとして扱われている。3. 3. 2節で述べた要因(2)のように、感覚的な文字の大きさは文字の複雑さも大きな要因であることが経験的に知られている。そのため、感覚的な文字の大きさを揃えるためには、広がり量だけでなく複雑さも考慮し、複雑な文字は大きめに、逆に簡単な文字は小さめに調節することが必要になってくる。この複雑さには種々の定義が考えられるが、ストロークの太さに影響を受けな

い特徴量が望ましい。複雑度として種々の特徴量を検討した結果、各ストローク長の総和と文字を囲む矩形の長辺の長さを用いて3.4式のように複雑度 C を定義するのが最も有効であることが分かった。

$$C = \frac{\sum S_n}{\max(X_w, Y_w)} \quad (3.4)$$

S_n : n 番目のストロークの長さ

$X_w = x_{\max} - x_{\min}$

$Y_w = y_{\max} - y_{\min}$

3.4.3 特徴量間の関係

あらかじめ書家により感覚的大きさを揃えた文字サンプル22文字についてそれぞれ σ_2 , C を求め、結果をグラフにしたものが図3.4である。

書家により文字の大きさを揃えることについて、次の点に注意した。本来感覚的な文字の大きさは、ストロークあるいはストロークの組合せが惹き起こす錯視の影響も受ける。例えばある文字の上下に”八”の文字を書いたとすると、”八”は末広がりであるために”八”上の文字は少し大きく下の文字は少し小さく感じる。また同様に右上がりに書く文字はその右に書く文字より大きく見える。しかしその影響は小さいため、本章では前後左右の文字による感覚的文字の大きさの変化までは取り扱わない。

文字の大きさを揃えるときには大きさを揃える文字の周りに基準文字”永”を配置し、基準文字と大きさが等しくなるように文字の大きさを揃えている。

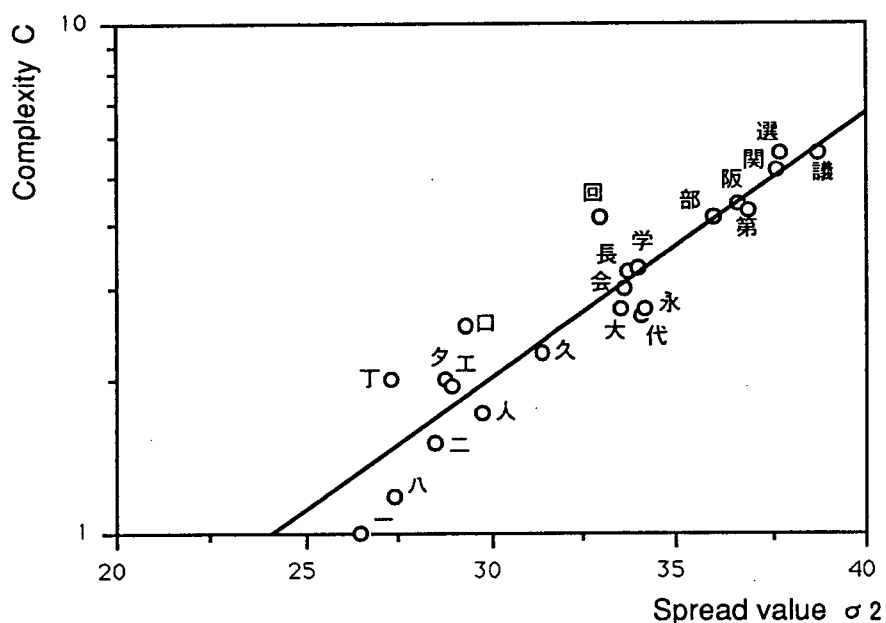


図3. 4 広がり量と複雑度

複雑度を表す軸に対数目盛りを用いると、ほぼ直線で近似するのが妥当なように見える。 σ_2 とCの相関係数は0.93であり強い相関のあることがわかる。このグラフは、複雑度の大きな文字は広がり量も大きくする必要があるが、複雑度の小さな文字は広がり量を小さくする必要があることを示している。これは経験的な事実と一致しており、本特徴量の有効性を示している。また、 σ_2 は文字の拡大・縮小に比例する特徴量であるのに対し、Cは文字の骨格の形状が決まれば一意に決まる文字の大きさに不変な量である。そのため、文字を拡大・縮小すれば文字に対応する点はグラフ上を水平に移動する。先の相関関係を一つの基準と考えれば文字の感覚的大きさの正規化は、正規化される文字が図3. 4の直線上にのるように文字を拡大・縮小すればよい。

3. 5 実験および検討

本手法の有効性を確認するために、2種類の実験を行なった。1つは図3. 2の正規化の基準となる直線を導出した文字と同じ書風（筆記者が同一の文字であることに相当する）の文字セット104文字について正規化を行なった。もう1つは、書風の異なる（筆記者が異なることに相当する）文字セット教育漢字881文字について正規化実験を行なった。

3. 5. 1 書風が同一である文字

図3. 2に示した正規化の基準となる直線を導出したものと同じ書体、同じ書風の文字セット104文字について正規化を行なった。図3. 3, 図3. 4は正規化を行なった結果である。図3. 3と比較して、広がり量 σ_1 のみではうまく正規化できなかった”関”, ”選”, ”工”, ”夕”についても良好な結果が得られており、本手法の有効性が分かる。

困一永億科火花荷過會
回海界各格學幹閑起議
久究牛玉空經月犬元口
工告再才算事次辭識祝
出信人正西青設干選總
村太代大第谷知注丁長

圖3.3 正規化例-1

塚挨搦床層窮更樓之唐
夕欲理里立良力北連老
能白八癸百部文報本日
通天田電登土同二日入
審閉御迎

図3. 4 正規化例-2

3. 5. 2 書風が異なる文字

さらに本手法の有効性を確認するために書風が異なる文字について、書家による主観評価実験を行なった。実験は電総研手書き文字データベース ETL-8で用いられているものと同じ文字種881文字を用いた。また比較のために本手法で感覚的な大きさを正規化した文字と吉村らの広がり量 σ 1を用いた手法で正規化した文字双方について実験を行なった。ここで用いた文字の書風は、正規化の基準となる直線を導出した文字とは異なる。主観評価は書家2名（上海書画社作者，日展入選者）に各手法での正規化文字について基準文字と比較して、その評価結果を次に示す(1)～(5)までの5段階に評価してもらった。

- (1)大きすぎる
- (2)我慢できるが少し大きい
- (3)ちょうど良い
- (4)我慢できるが少し小さい
- (5)小さすぎる

評価実験に用いるテストシートは図3. 5に示すように基準文字が評価文字の上下左右のいずれかに必ず位置するよう注意している。ここで基準文字としては、図3. 4のグラフを導出した時と同じ文字”永”を選んだ。評価結果を表3. 1に示す。

表3. 1において、評価値(3)すなわち”ちょうどよい”と答えた文字は本手法の場合84.1%, 89.7%であるのに対して吉村らの手法は51.3%, 51.5%と本手法の有効性がわかる。また表3. 1において評価値(4)又は(5)と答えた結果は本手法が13.2%, 9.3%であり、これに対して吉村ら

永 貯 丁 永
 帳 張 永 朝
 永 町 腸 永
 調 長 永 鳥

図3. 5 テストシート例

表3. 1 評価結果

被験者		評価値				
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
A氏	本手法	0.0%	2.7%	84.1%	13.2%	0.0%
	広がり量 $\sigma 1$	0.3%	1.9%	51.3%	46.3%	0.2%
B氏	本手法	0.0%	1.0%	89.7%	9.3%	0.0%
	広がり量 $\sigma 2$	0.0%	1.0%	51.5%	47.5%	0.0%

の手法において評価値（4）又は（5）と答えた結果は46.5%,47.5%と小さく感じる文字が半数近く占めることが分かる。これは吉村らの手法が文字の2次元的分布のみに注目しており、文字の感覚的な大きさに重要な影響を持つ文字の複雑さを全く考慮していないため、複雑な文字が小さく見えたことが原因であると考えられる。3. 3. 2でも述べたように、複雑な文字は少し大きめに、それとは逆に簡単な文字は少し小さめに書くことで文字同士の大きさのバランスを取らなければならない。

本手法を用いて正規化を行なった文字で書家2人が同時に大きいと感じるか、又は小さいと感じた文字は表3. 2にあげた文字である。大きいと感じた文字にはその構造に共通点が存在する。すなわち文字の最も外周に長いストロークが存在することである。例えば文字”画”には文字下部に三方を囲むストロークと上部に長いストロークが存在する。

小さいと感じる文字は形状における特徴は無いが、複雑度がほぼ中央の値をとるものが多い。図3. 4に見られるように正規化の基準となる直線と感覚的大きさを揃えた文字との関係は、複雑度により特徴付けられる。すなわち、複雑度が比較的大きな文字は直線と良く一致するが複雑度がほぼ中央の文字は直線から離れる文字も存在する。また比較的小さい文字は、直線とあ

表3. 2 失敗文字

	育	引	液	花	荷	覚	完	汽	技	究	級
	京	供	近	訓	計	件	犬	減	故	交	行
小さく感じた文字	採	災	作	散	仕	使	支	試	資	似	式
	従	述	承	消	状	深	政	説	投	忒	父
	復	文	変	冷							
大きく感じた文字	画	旧	西	百	富						

まり一致しない。この事に対する合理的な解釈として次のような事が考えられる。すなわち、複雑な文字は文字領域内でのストロークが多いために文字領域内での黒画素の量が多く、文字と外接凸多角形の内部を塗りつぶしたもののとの差が少なくなり、文字の構造的な影響が少なくなるためと考えられる。逆に複雑さが減少するにつれて複雑さ以外に文字の構造上の影響が徐々に現われてくるため直線から離れると考えられる。

3. 6 結言

文字の広がり量と複雑度を用いて文字の感覚的な大きさを正規化する手法を提案した。本手法を広がり量と複雑度の関係を導出した文字セットと同じ書風の文字104サンプルについて実験を行い、良好な結果を得た。さらに同じく楷書体で書風の異なった教育漢字881文字についても実験を行い、書家による主観評価を試みた。その結果84~90%の文字について有効性を確認した。

第4章 書写C A Iのための 書写規則の記述

— 教育への応用 —

4. 1 緒言

本章では、2章、3章で述べた個別文字設計支援及び相互文字バランスの設計支援手法の応用として、文字を美しく書く書き方を指導する書写C A Iシステムを取り上げる。書写C A Iシステムの開発はこれまでにいくつか報告されてきている^{[22], [27] - [30]}。山崎らのシステムや陳らのシステムは手本文字を画像として保有しており、学習者の文字は、手本文字画像とパターンマッチングされ、手本文字と異なる部分を添削、指導していた。しかしこれらシステムでは、文字の画像の差異は検出できても指導の理由を説明することは不可能であり指導上の問題となっていた。この欠点を改善するために、山本らはC A Iシステム内に書写技能を明示的・宣言的に表現し、学習者の文字に対して添削の理由を説明するために用いた。しかし山本らのシステムも、基本的に手本文字画像と学習者文字画像との単純なパターンマッチングを用いており、手本文字と学習者の文字の相違を知識に対する違反と意味づけているのみであった。したがって指導の方法は学習者に手本文字の模写をさせ、その差を矯正する臨書の形態を取っている。

書家が指導を行う場合、ただ単純に手本パターンとの相違を指導するのではなく、書写規則にかなった正しい文字の書き方を指導している。したがっ

て手本文字と多少異なっても正解とし、不必要な指導は行わない。このような指導を行うためには、文字画像の単純なマッチングを行うのではなく、「文字を美しく書くためのコツ」をルールで表現し、そのルールを用いて評価、指導を行うことが有効であると考えられる。また学習の効率化を図るために知的な動作を行う書写C A Iシステムを考えた場合、ルールの形で表現できれば、学習者モデルの構築に従来からの人工知能的手法を用いる事が可能である^[39]。

以上の背景から、本章では前章までに述べてきた文字設計支援システムの応用として書写C A Iシステムを考え、従来から提案されてきた書写C A Iシステムに欠けている書写規則の表現法のうち、文字形状を表す文字の点画の組立方（字形規則）の表現法について述べる。さらに字形規則を用いた添削・指導法について説明する。

4. 2 書写技能の要素と書写C A Iシステム

書写学習の目的は文字を正しく、美しく、速く書くことにある。書写の学習は技能の修得であるため、実際の学習は書家による練習文字の提示、練習、添削、助言、練習の繰り返しで行われる。この指導の中心内容は個々の文字で異なり、また書家の長年の経験と勘にたよった指導を行うため、指導方法が曖昧であるように思われるが、合理的、効率的な学習を行うためには体系化された教育を行う事が重要である。この体系化のために神谷は次に示すように9つの要素をあげている^[34]。

- | | | |
|----------|----------|-------|
| (1)姿勢・執筆 | (2)用具・用材 | (3)用筆 |
| (4)筆順 | (5)字形 | (6)配列 |
| (7)文字の大小 | (8)速さ | (9)形式 |

CAIシステムを構築するためには、これら整理された要素を用いて構築するのが良い。しかし、姿勢・執筆の計算機への入力は、装置が大がかりになったり、学習者への違和感を与える可能性が大きい。また用具・用材は練習過程で指導するものではなく、練習前に指導すべき内容である。したがって書写CAIシステムでは書写技能の要素の(3)から(9)までについて考える必要がある。

従来提案されてきた伝統的なCAIシステムに対して、知的な振る舞いをする知的CAIについて研究が行われている^{[24], [25]}。一般的な知的CAIシステムの構成は図4. 1のようなシステムが提案されている。

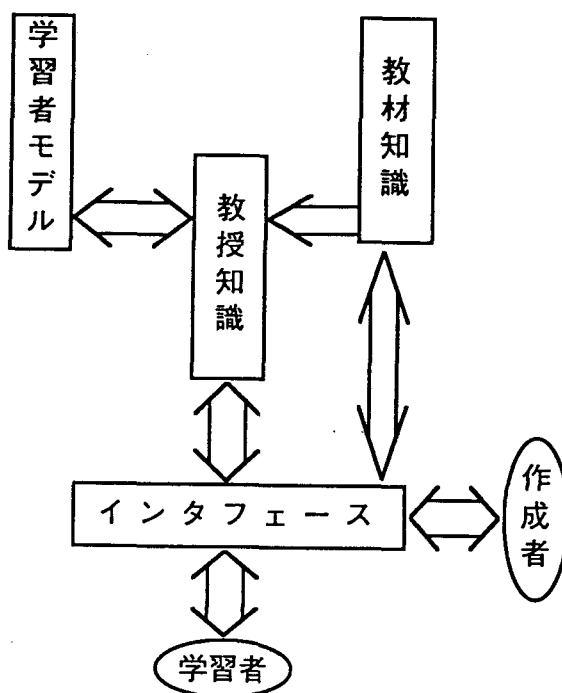


図4. 1 知的CAIシステム

図4. 1に示すシステムでは、教授内容についての知識（教材知識）と学生の教材に対する理解状態を表す知識（学習者モデル）を用いて、どの様に指導を行うか指導戦略を教授知識を用いて決定する。このように知的CAIシステムを構築するためには多種類の知識が必要となる。しかしこのように、CAIシステムに知的な振る舞いをさせるためには、これら書写要素を規則の形で表現する必要がある。すなわち、何らかの表現法で、書写技能の要素を表現し、学習者の文字の評価、添削、説明ができなければならない。

先にあげた書写技能で、従来から提案されてきたCAIシステムでは書写要素(4),(8),(9)については一応の成果を得ており^{[22], [27] - [28]} 実用的には従来手法を用いてルール化も可能である。また(6)については文字の配列を定量的に評価する手法も提案しており^[38]、(7)については第3章で定量化手法を述べている。したがって知的な書写CAIシステムを考えた場合、書写要素(5)の字形について表現法を考える必要がある。

次節では字形を規則の形（字形規則）で表す事を考え、その表現法について述べる。

4. 3 字形プリミティブを用いた字形規則の表現

4. 3. 1 字形プリミティブ

書写CAIシステムに専門家(書家)と同等の能力を備えさせるためには、書家が学習者の文字に対してどの様な添削を行い、さらにどの様な助言を与えたかを分析し、学習者が書いた文字パターンと字形規則とを関連付けて、システムを構築する必要がある。

実際の書家の添削指導を観察したり、書道テキストについて調査を行ったところ、指導内容には文字に関係なく共通に用いられる言葉が存在する事が

判明した^[33]。例えば「この画とこの画の間隔は等しく」、「この画とこの画は平行に」などの言葉である。例えば文字”日”では「横画の間隔を等しく書く」、文字”移”では「ならんだ斜めの画はそれぞれ平行に書く」と指示される。これらの言葉は文字を美しく書くための「コツ」を表すものである。即ち、これら添削時に現れる言葉は書写規則を構成する枠組みと考えられる^[36]。このような言葉が用いられる理由としては、以下に述べる2点が考えられる。

- ・芸術ではなく、書写として書く場合は文字図形として整っていることが必要である。
- ・言葉として表現し相手に理解させるためには、図形的性質を（均等、平行など）を利用した方が学習者は理解しやすい。

本章では、上記の様な言葉を字形規則を表現するための基本的な構成要素と考え、字形プリミティブと呼ぶ。さらに、正しく整った文字に適用される規則をこの字形プリミティブを用いて表現する手法を提案する

^[35]、^[37] - ^[38]。このようなプリミティブを用いると、書家と同様の説明機能を実現する事も可能である。

書家へのインタビューや添削・指導の過程を詳細に検討した結果、書写C AIシステムに有効と考えられるプリミティブとして表4. 1にあげる5種類を選んだ。

表4. 1 字形プリミティブ

プリミティブ名	内容
位置	中心, 端点を揃える, 交わり方 接し方
方向	右上がり, 水平, 平行
長さ	長さを均等に
間隔	間隔を均等に
曲がり	曲がり具合

実際の字形規則は、これら字形プリミティブの集合で表す。すなわち、与えられた手本文字、または学習者の文字の点画の組み合わせをプリミティブを基に分析し、次いでその特徴を字形プリミティブで置き換えることで表現する。

4. 3. 2 字形規則の表現法

入力された学習者の文字は16方向の方向コードに分類され、曲がりには方向コードをもとに直線近似される。分類されたセグメントごとに番号をつけ、書写規則として表現する。以下にプリミティブごとの表現法について説明する。ここでセグメントは転折点を含まない曲線である。また、表現中で示した略号は次の通りである。

(略号)

segment_i_j: ラベル付けされたj画目の第iセグメント

例) two_3

3画目の第2セグメントを表す

position: 図4. 2に示す始点 (sp), 終点 (ep), セグメント内の位置 (a-e) で表す。

direction: 図4. 3に示すように、始点から終点へ方向 (0-15) を16方向に等分割したラベルで表す。

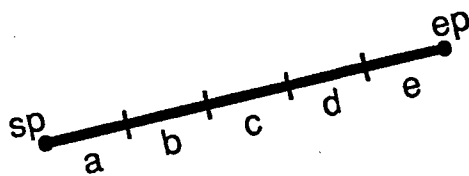


図4. 2 セグメント位置

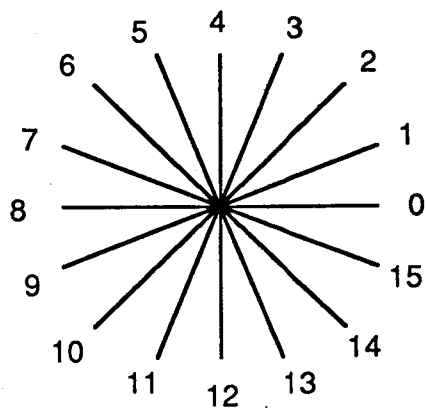


図4. 3 16方向

(1) 位置

位置に関する規則としてセグメントとセグメントとの「交わり」, 「接し方」, 画の「端点位置」, 「セグメント方向」がある。各規則は次のように表現される。

交わり：

[cross,[position_{i-segment_{j-k}},position_{i-segment_{m-n}}]].

接し方：

[contact,[position_{i-segment_{j-k}},position_{i-segment_{m-n}}]].

X方向の中央揃え：

[center(X),[segment_{i-j},segment_{k-l},...
,segment_{m-n}]].

Y方向の中央揃え：

[center(Y),[segment_{i-j},segment_{k-l},...
,segment_{m-n}]].

端点揃え：

[align(position),[segment_{i-j},segment_{k-l},...
,segment_{m-n}]].

(2) 方向プリミティブ

方向は、セグメントが始点から終点に向かう方向を図4. 4に示す16方向で表す。16方向を用いた事で「少し右上がり」といった角度も表現する事が可能である。

セグメント方向：

[direction,[segment_{i-j},segment_{k-l},...,segment_{m-n}]].

(3) 間隔プリミティブ

間隔プリミティブはセグメント間の間隔が等しいセグメントの組で表現される。表現法は以下のとおりである。

セグメント間の間隔の等しい組：

[interval,[[segment_{i_j},segment_{k_l}],...
[segment_{m_n},segment_{o_p}]].

(4) 長さプリミティブ

長さプリミティブは均等にしなければならないセグメントの組で表現される。

長さの等しいセグメントの組：

[length(eq),[segment_{i_j},segment_{k_l},...,segment_{m_n}]].

(5) 曲がりプリミティブ

曲がりプリミティブは漢字の曲線部分や払いを表現する。曲がりには様々な形状が存在するが、次に述べる理由で折れ線近似を用いて表現している。

- ・漢字はひらがなほど曲度が大きくないため折れ線で近似してもそれほど形状に歪が生じない。
- ・曲がりを言葉で説明する場合に書家が実際に使う言葉は、「この画の払いはこの方向に払う」、「この曲線はこのセグメントとこのセグメントとのなす角に注意なさい」などおおまかな形状を角度に変換して説明する事が多い。さらにこのような説明を行った方が学習者に理解し易い。

したがって本プリミティブでは図4. 4のようにストロークの曲がりを方向プリミティブと同様に16方向にコード化されたセグメントの集合とする。

曲がり：

[[direction_m, direction_n],[segment_{i_j}, segment_{k_l}]].

各文字は(1)～(5)の表現を用いて最終的に図4. 5に示すようにのように書写規則として表現される。図4. 5では”名”という文字が規則として表現されている。各文字には文字カテゴリーを決める文字フィールド、手本文字か学習者文字かを定める属性フィールドが存在する。ここで規則は書家とのインタビューにより作成している。

図4. 5より2画目の第1セグメント、5画目の第1セグメント及び6画目第1セグメントを水平に書くこと。さらに部分パターンである”口”に特徴的な4画目第1セグメント終点、5画目第2セグメント及び6画目第1セグメントの接し方が記述できている。

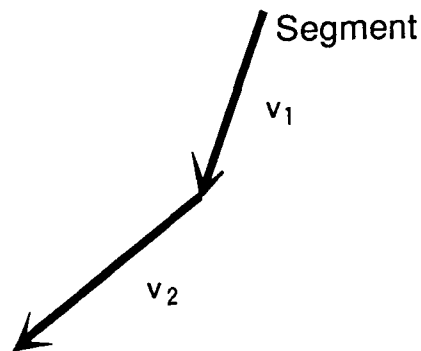


図4. 4 曲がり



(a) 手本文字

```

character(名,手本,
  [[10,[two_2,one_5,one_6]],
  [0,[one_2,one_5,one_6]],
  [15,[one_3]], [13,[one_4]], [11,two_5]],
  [[contact,[sp_one_2,b_one_1],[ep_one_3,b_two_2],
  [sp_one_4,sp_one_5],[sp_one_6,e_one_4],
  [ep_two_5,e_one_6]]],
  [[[10,9],[one_1]]]
).
```

(b) 字形規則

图4.5 表現例

4. 3. 3 評価例

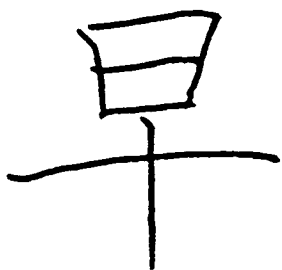
練習文字の評価は手本文字から得られる字形規則を練習文字が満たすかどうかを調べる事で行う。図4. 6は文字”早”についての評価例を表している。図4. 6(b)は手本文字と字形規則を表し、図4. 6(a)は小学1年生の書いた文字とその文字が満たしている字形規則を示している。書家は図4. 6(a)の実線部分に対して点線で示すような添削を行った。さらに学習者の書いた文字で不足している規則は、次の2点を修正するように示している。

- ・ 2画目第1セグメント, 3画目, 4画目, 5画目は間隔を等しくしなさい。
- ・ 5画目と6画目は互いにセグメントの中央で交差させなさい。

以上の結果より規則の比較によって書家と同じ評価を行っている事がわかる。

4. 4 文字パターン処理

本C A Iシステムの構成図は、図4. 7のようになっている。座標系列はタブレット(PC-8875)から47ポイント/秒, 10ポイント/mmの精度で入力され、ワークステーション(NWS-3860)で処理される。次節から入力された座標系列から字形プリミティブへのパターン処理について述べる。



[12,[one_1,one_6]]

[11,[two_2]]

[0,[one_2,one_3,one_4,one_5]]

[center(x),

[one_2,one_3,one_4,one_5,one_6]]

[contact,[ep_one_1, a_one_5]]

[contact,[sp_one_4, e_one_1]]

[cross,[c_one_5, b_one_6]]

[[one_2, one_4], [one_4, one_5],

[one_5, one_6]]

[12,[one_1,one_6]]

[11,[two_2]]

[0,[one_2,one_3,one_4,one_5]]

[center(x),

[one_2,one_3,one_4,one_5,one_6]]

[contact,[ep_one_1, a_one_5]]

[contact,[sp_one_4, e_one_1]]

[cross,[c_one_5, c_one_6]]

[[one_2, one_4], [one_4, one_5],

(a)手本

(b)学習者の文字

図4. 6 評価例

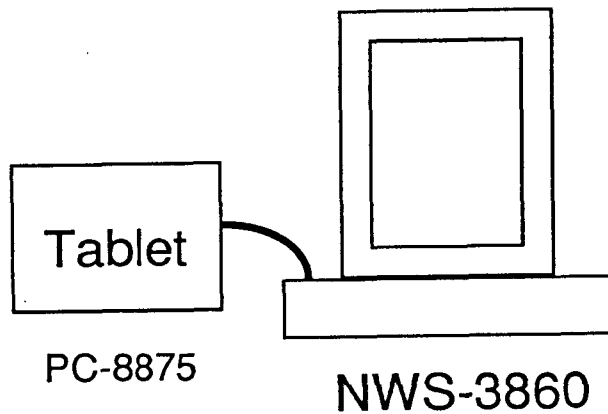


図4. 7システム構成

4. 4. 1 文字入力

一般にタブレットから得られる座標は手振れ、量子化誤差などの影響で雑音が混入している。この雑音の影響を取り除くために、前処理として平滑化を行っている。タブレットから入力された座標を (x_i, y_i) 、平滑化処理後の座標を (X_i, Y_i) とすると平滑化処理は式4. 1で表される。

さらに文字入力時の誤差を少なくするため、学習者の文字は2.5cm四方の文字枠に書かせ、それを10cm四方に拡大した文字の上をタブレットでなぞる。

4. 4. 2 特徴抽出

漢字は直線部分が多いため入力された文字データは、まず16方向にコード化されたセグメントに分割される。各セグメントのセグメント長が短いとプリミティブ抽出に悪影響を及ぼすため、セグメント長については閾値を設け、それ以下の場合にはセグメントの統合を行う。閾値は種々の実験の結果文字の大きさの2%とした。

以下セグメント化されたデータより各プリミティブへの変換手法について説明する。

(1) 位置プリミティブ

位置プリミティブには「中心を揃える」、「端点を揃える」、「交わり位置」、「交接位置」の特徴を表す。各セグメントは図4. 2のように始点(sp)、終点(ep)および内部を直線距離で5等分した位置(a-e)で、交点、接点の位置を検出する。中心は、セグメントの中心がX方向、Y方向について等しいかどうかで検出する。端点及び中心位置は文字枠の大きさに対して5%以内の誤差であれば揃っているとみなす。

交点は、各セグメントが直線で近似されているため、2本の直線の交点で求めることができる。図4. 8(a)のようにセグメント同士が両セグメントの端点内で交点を持つ場合、交点が存在することがわかる。

また、接点は図4. 9のように両セグメントの距離を計り閾値以下の時に接しているとしている。閾値は入力文字の線の太さから2.5mmとしている。

(2) 方向プリミティブ

方向プリミティブは各セグメントの方向を図4. 3で示す16方向の方向コードで表現する。方向コードの分割数は対象とする学習者のレベルに応じ

て変化させることができる。すなわちまだあまり文字を書いたことの無い学生に対しては8方向程度で十分であろうし、高度な学生に対しては方向コードの分割数を増やすことで、細かい指導も可能である。

(3) 長さプリミティブ

長さプリミティブは、長さの均等を表す。長さのプリミティブは始点、終点間の直線距離を用いる。これは、以下の理由による。

- ・漢字が曲線よりも直線で構成されている場合が多い
- ・長さの比較は曲線よりも直線のセグメント同士で比較する

長さのプリミティブも文字枠の大きさに対して5%以内の誤差であれば均等とみなす。

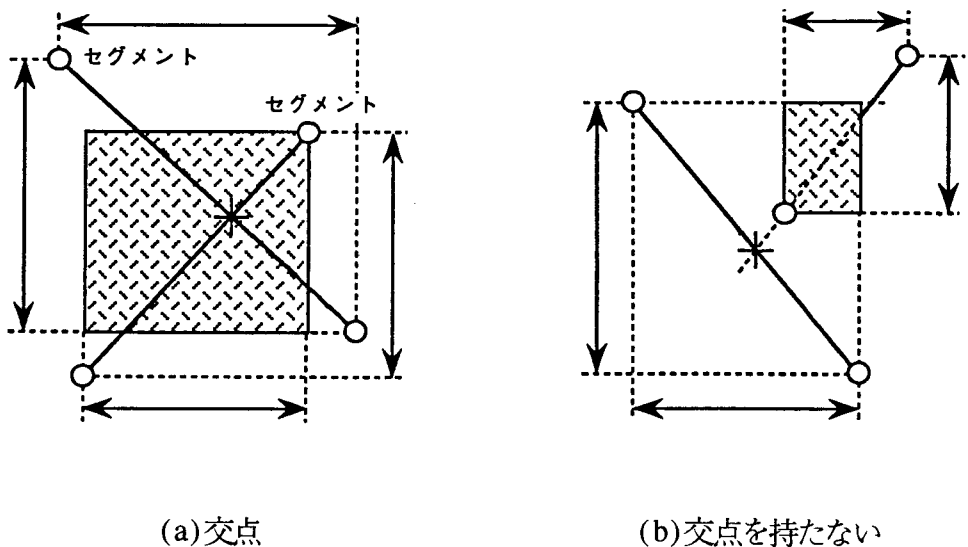


図4.8 交点検出

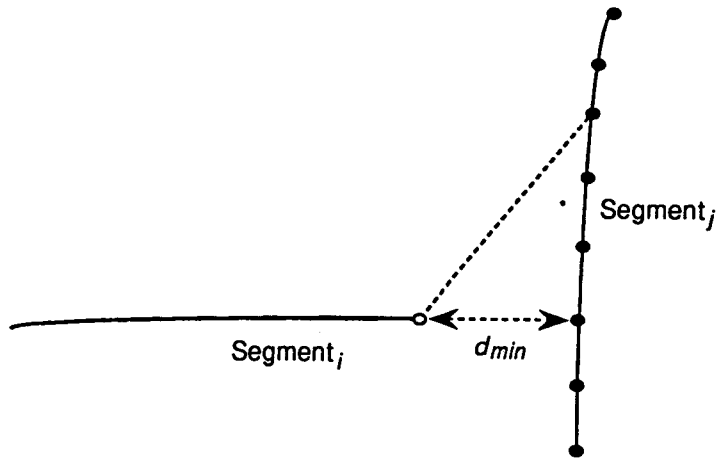


図4. 9 接点検出

(4) 間隔プリミティブ

間隔プリミティブは、セグメント間の間隔を表す。書写の指導に必要な間隔はセグメント間の間隔が均等かどうかである。間隔はセグメント間の最小距離を求めている。

(5) 曲がりプリミティブ

曲がりは4.3.2で述べたように図4.4に示した折れ線近似で求める。入力された曲線は、セグメントの方向と同様に16方向にコード化される。そして一つのセグメントを方向コード化された線素の組み合わせとして求める。

4. 5 実験および検討

本手法の有効性を確認するために、小学1年生2人に小学1年生で学習する76文字について、評価実験を行った。

表4. 1に実験の結果を示す。

表4. 1 実験結果

被験者	適切な評価	不適切な評価
学習者A	79 (82%)	23 (18%)
学習者B	218 (84%)	41 (16%)

書家が正しい評価を行っていると判断した規則は学生Aでは76文字中に対して79個所の修正を要求しており、全体の82%を占めている。また学生Bでは218個所に対して好ましい評価を行っており、84%の有効性を得ている。

不適切な評価、すなわち好ましくないまたは不足した修正を行った原因には大きく分けて次の3種類がある。

- (1) 外形を考慮に入れる必要がある
- (2) 評価が厳しすぎる
- (3) 書風として許される

図4. 10は(1)の例である。図4. 10(a)は不足しているルールが無い、すなわち修正すべき箇所がないと判断された文字である。しかし、書家は第1画目を短いと判断して添削修正をほどこしている。これは第1画目の長さが全体のバランスから決定されており、この画の長さが文字の勢いを決める重要なポイントになっているためである。この対策としては文字おまかな形状である外形を考慮することが必要であると考えられる。

書家は学習者の能力を直感的に判断し、たとえ規則が不足していても、学習者の能力が低いと判断した場合は全ての悪いところを修正するのではなく、文字の一部しか修正を行わない事がある。したがって、(2)の問題を解決するためには学習者モデルを用いて学習者の状態を判断し、能力の低い学生には高度な規則の検出は行わない、又は特徴抽出の動作を甘くするなどフィードバック、さらには規則に難易度を付け、その難易度に基づいた指導内容の制御を行うなどの対処が必要である。

(3)の例として図4. 11の文字”九”があげられる。文字”九”の1画目は、真っ直ぐ書く書風と少し曲げる書風と2種類存在する。原因(3)については、書風の数だけルールを保有する事で対応は可能である。本手法は手本画像を用いないため、この様に複数の書風に対応する事も可能である。

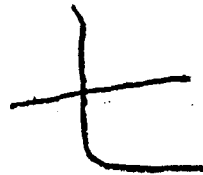
A handwritten Japanese character '七' (Seven). The character is composed of a vertical line on the left, a horizontal line across the middle, and a short horizontal line on the right. The vertical line is slightly curved, and the horizontal lines are not perfectly parallel, indicating a failure in the writing process.

図4. 10 失敗例

A handwritten Japanese character '九' (Nine). The character is composed of a vertical line on the left, a horizontal line across the middle, and a curved line on the right that loops back to the horizontal line. The character is written in a more fluid, cursive style compared to the one in Figure 4.10.

図4. 11 異なる書風

4. 6 結言

本章では、文字設計支援システムの応用として書写CAIシステムを取り上げ、システム構築に欠かせない字形規則の表現法及びその表現法を用いた学習者文字の評価手法について述べた。

本章で提案した表現法は、書家が文字の添削時に用いる言葉を字形規則表現のための要素（字形プリミティブ）と考え、そのプリミティブを用いて字形規則を表現する。プリミティブは文字の幾何学的特徴が基本となっているため、文字からの特徴抽出に簡単な手法を用いる事ができる。

本手法を用いて、小学1年生2名の書いた小学1年生で学習する76文字について評価実験を行った結果、82%および84%規則について、学習者の文字が満たすべき書写規則を正しく指摘する事ができた。

第5章 結論

文字フォント設計を効率的に行うために、文字の設計行程が個別文字の設計と文字相互バランスの調整の2つに分割されるという観点から、それぞれの行程で設計支援を行う文字設計支援システムの構成について述べた。さらに文字設計支援で得られる成果が、書写教育で行われる基礎技能に対応しているという考え方に立ち文字設計支援システムの書写C A Iシステムへの応用について述べた。本論文で得られた諸結果をまとめると以下ようになる。

まず文字設計の第1段階である、個別文字設計の支援としては、少ないパラメータで美しい毛筆文字を生成できる階層分解合成法を用いる。第2章では、階層分解合成法による文字生成手法に必要な筆画パラメータを毛筆で書かれた入力文字から決定するシステムについて述べた。このシステムでは、まず毛筆文字手本をタブレット上にセットし、文字を構成する各画の筆画コードを画の形状を用いて判断し入力すると、文字枠の大きさ、各画の特徴点である始点、終点、転折点、腹の幅をタブレットでプロットするだけで、筆画パラメータを決定できる。このシステム操作は、熟練を必要とせず、またパラメータ決定の時間を約1/60に低減させることが確認された。

第3章では、毛筆文字設計の第2段階として必要な文字の相互バランス調整のうち、最も重要な主観的な大きさによる文字正規化手法について述べた。この方式は、従来用いられていた文字領域（黒領域）のみを考慮した広がり量に対し、文字の外接凸多角形の内部領域を全て文字領域として文字の懐を考慮した広がり量を特徴量とする。さらに文字の感覚的大きさは、文字の持つ複雑さとも関係するとの経験則から、文字の全ての画の長さを考慮した複

雑さも特徴量として用いた。感覚的大きさが揃っている文字について、この2つの特徴量を計測し、複雑さを対数軸にとると、両者が1次式の関係にあることを見いだした。この関係を用いて書風の異なる文字2種類について実験を行った。直線を導出した文字と同じ書風の文字について正規化を行い、目視評価を行ったところ良好な結果を得た。さらに書風の異なる文字について、教育漢字881字について正規化実験を行い、書家2名による主観評価実験を行ったところ、84%、90%の文字について感覚的大きさの正規化を正しく行っている事を確認した。

第4章では、2章、3章で述べた毛筆文字設計支援システムの応用として書写CAIシステムを取り上げた。2章のシステムを用いれば文字の点画の組立が計算機に入力でき、さらに3章で述べたシステムを用いれば、書写技能の一つである文字の大小の評価ができる。しかし書写CAIシステムとして手本文字の表現法及び学習者の書いた文字の評価手法が必要となる。したがって第4章では文字の点画の組立方である字形規則の表現法と字形の評価手法を提案した。本手法では、従来の手本文字画像を用いた字形の表現及び文字評価手法と異なり、字形プリミティブを用いて字形規則を表現する。本プリミティブは、書家が学習者に添削や指導を行うときに用いる言葉を基本にしており、点画間の位置、長さ、間隔、接続関係、曲がりの6種類である。また、幾何学的な特徴を用いているため定量化が比較的簡単である。提案手法は字形規則を本プリミティブの集合で表現する。さらに学習者の文字が正しい字形規則を満たしているかどうかで学習者の文字を評価する手法を提案した。小学1年生で学習する漢字76文字に対して、小学1年生2名が書いた文字を本手法で評価したところ、それぞれ82%、84%の部位について書家と同様の判断を下し、本手法の有効性を確認できた。

以上のように、本論文で提案した手法が計算機に用いる毛筆文字フォントの設計支援に有効であり、さらに提案した支援システムが書写CAIシステ

ムにも応用可能であることを示した。

最後に本研究における今後の課題について述べる。

まず第1に主観量の定量化がまだ数多く残っていることがあげられる。第3章では文字相互のバランスとして文字の感覚的大きさを取り上げた。しかし、文字を設計するためにはこれ以外にも文字線の太さ、ストロークの間隔、文字配置など定量化すべき多くの主観量が存在する。これまでも文字デザインの分野では文字設計の指標として種々の特徴量が存在するが^{[4], [26]}、これは特徴量というよりも傾向を表す程度のものでしかなく、文字フォント設計に利用できるような特徴量はまだ十分開発されているとは言えない。これらの特徴量が十分に揃えば、数種類の文字を用意するだけで、残りの文字を自動的に設計する事も可能になろう。

第2に書写CAIシステムを考えた場合、字形規則の獲得があげられる。書写CAIシステムの性能は規則の質と量で決まる。しかし、規則の記述を全ての文字に対して行うのは多大な労力を伴う。したがって書家の書いた手本文字から自動的に字形規則を獲得するような支援システムが必要になってくる。4章で述べた記述法は、幾何学的特徴を用いているため自動的にその特徴を抽出することも可能である。しかし、抽出された規則は全てが訳に立つ訳ではなく不必要な規則も含まれている可能性がある。したがって、手本を数種類入力することで自動的に必要な規則を選択するようなシステムが必要である。

第3に書写技能の表現能力の強化があげられる。4章では、書写技能として、幾何学的構造を用いた字形規則の表現法について取り上げた。しかし、書写技能には外形、配列などまだまだ定量化すべき書写技能が存在する。これら技能が定量化され書写技能として表現されると、書写CAIシステムも書家と同様な指導が可能になると考えられる。さらにこのような規則が集積されると自動的なフォント設計へとつながって行く。

文字の設計支援、さらにはその応用としての書写CAIシステムは、まだ完全にデザイナーや書家の肩代わりをさせるまでには至っていない。本当に専門家の代わりを果たすシステムを開発するためには、視覚心理学、大脳生理学など人の視覚特性を含めた幅広い研究が必要であろう。

謝 辞

本研究の全過程を通じ、懇切なる御指導、御鞭撻を賜った大阪大学工学部通信工学教室手塚慶一教授に心より御礼申し上げます。

本研究の遂行及び本論文作成に際し、直接御助言、御教示を賜った大阪大学経済学部真田英彦教授、同大学大学院言語文化研究科中西暉教授に深く感謝する。

また、大阪大学工学部通信工学教室において御助言、御教示を賜った、大阪大学工学部通信工学教室倉藺貞夫教授、森永規彦教授に厚く御礼申し上げます。

大阪大学産業科学研究所在職中から現在に至るまで、終始有益な御助言、御討論を頂いた大阪大学北橋忠宏教授に心から感謝する。

本研究を遂行するに当たり、数多くの御助言、御指導を頂いた上海工業大学張憲栄教授に深謝する。

筆者が和歌山大学勤務以来、日頃御指導、御支援を頂いている同大学経済学部竹内昭浩教授、小島敏宏教授、山本紀徳教授、飯尾要教授に心から感謝する。

筆者が大阪大学工学部通信工学教室手塚研究室研究生、および助手としての在職中に適切な御助言をいただいた岡田博美助教授、神戸商船大学井上健助教授、大阪大学馬場口登講師、山本幹助手、大川剛直助手、戸出英樹助手、後藤嘉代子技官には心より感謝する。

また本研究を遂行するに当たり北村義弘博士（現、シャープ株式会社）、神戸商船大学田中直樹助教授には御世話になった。特に曾建超博士（現、日

新電機工作)、大阪府立大学工学部黄瀬浩一助手、玉田誠氏(現、富士通システム統合研究所)、中塚哲志氏(現、シャープ株式会社)、樋口敏也氏(現、日本放送協会)、上林俊郎氏(現、日本IBM)、梁海声氏(現、ダイナテックインターナショナル)、下森大志氏(現、東芝)、乾寿智氏、小野和重氏には研究の細部について熱心に御討論いただいた。

本研究を進めるにあたり、書家の杉本昭夫氏、魚返普子氏には実験に御協力、御助言をいただいた。

大阪大学産業科学研究所在職中には立命館大学小川均助教授、平井誠助手(現、松下電器産業中央研究所)には種々の面で御世話頂いた。

本論文執筆にあたり、終始あたたかく見守り、励ましてくれた両親に心から感謝する。

ここに記して、以上の方々に深く感謝の意を表する。

参考文献

- [1]村山：“DTPの現状と動向”，情報処理学会誌，Vol.31,No.11，
pp.1483-1494(1990).
- [2]上原：“フォント関連技術の現状と課題”，情報処理学会誌，Vol.31，
No.11,pp.1570-1580(1990).
- [3]Richard Rubinstein: “Digital Typography”
Addison-Wesley Publishing Company(1988).
- [4]Peter Karow: “Digital Formats for Typefaces” ，
URW Verlag(1987).
- [5]H.Tominaga,H.Kida,K.Hosokawa: “On a methos for generating
kanji character patterns” ,Proc. of 3rd USA-JAPAN Computer
Conference,pp.127-132(1978).
- [6]張，真田，手塚：“漢字楷書毛筆字体の計算機による生成”，
電子通信学会論文誌，Vol.J67-D,No.5,pp.599-606(1984).
- [7]張，真田，手塚：“階層分解合成法による隷書体の生成”，
電子通信学会論文誌，Vol.J68-D,No.8,pp.1489-1496(1985).
- [8]内尾，張，藤谷，真田，手塚：“漢字楷書毛筆字体生成パラメータ決定
システム”，昭和59年電子通信学会総合全国大会，1593(1984).
- [9]内尾，張，真田，手塚：“漢字楷書毛筆字体生成用パラメータ半自動決
定システム”，電子通信学会，PRL84-35(1984).
- [10]内尾，張，真田，手塚：“階層分解合成法に用いる筆画パラメータの
半自動決定システム”，電子通信学会論文誌，Vol.J69-D,No.6，
pp.893-903(1986).

- [11]坂元, 高木: “高品質明朝体ひらがな・カタカナフォントの
計算機による生成”, 電子通信学会論文誌, Vol.J68-D, No.4,
pp.702-709(1985).
- [12]杉田, 阪本, 島, 塚本: “マルチフォント漢字合成器”,
電子通信学会技術研究報告, PRL81-103(1982).
- [13]西川, 長田: “文字ドットパターンのデータ圧縮方式”,
昭和60年電子通信学会総合全国大会, 1560(1985).
- [14]島, 中村, 戸倉: “ひらがなつづけ字出力”,
昭和60年情報処理学会31回全国大会, 7H-8(1985).
- [15]塩野, 吉村, 真田, 手塚: “筆軸の3次元に制御された筆触関数を用
いた毛筆漢字パターンの生成”, 電子情報通信学会論文誌,
Vol.J72-DII, No.1, pp.76-84(1989).
- [16]寅市, 関田, 森: “高品質文字フォントの自動圧縮”,
電子情報通信学会論文誌, Vol.J70-D, No.6, pp.1164-1172(1987).
- [17]永井: “毛筆フォント紹介”, 飛龍, 98, pp.28-29(1986).
- [18]吉村, 山崎, 飯島: “文字図形の重心と広がりについて”,
情報処理学会論文誌, Vol.9, No.5, pp.277-284(1986).
- [19]塩野, 馬場口, 真田, 手塚: “方向性マッチングによる常用手書き文
字認識”, 電子通信学会論文誌, Vol.J63-D, No.5, pp.402-409(1980).
- [20]吉村, 飯島: “文字字体の一設計法”, 情報処理学会論文誌,
Vol.11, No.3, pp.135-143(1970).
- [21]F.Uchio, T.Higuchi, T.Kitahashi, H.Sanada, Y.Tezuka:
“A Method for Normalizing the Appearance Size of Brush-
written Chinese Characters”, Proc. of RASTER IMAGING
AND DIGITAL TYPOGRAPHY'89, pp.144-153(1989).
- [22]山崎, 井口, 桜井: “オンライン文字認識手法を用いた書写学習シス
テム”, 電子通信学会論文誌, Vol.J65-D, No.10, pp.1211-1218(1982).

- [23]曾, 井上, 真田, 手塚: “毛筆文字デザインエキスパートシステムのための書道知識の解析とルール化の考察”, 情報処理学会論文誌, Vol.29, No.2, pp.160-168(1988).
- [24]大槻, 山本: “知的CAIのパラダイムと実現環境”, 情報処理学会誌, Vol.29, No.11, pp.1255-1265(1988).
- [25]Etienne Wengner: “Artificial Intelligence and Tutoring System”, Morgan Kaufmann Publishers.Inc(1987).
- [26]佐藤敬之輔: “改訂版 日本字デザイン” 丸善(1959).
- [27]山崎, 井口, 桜井: “文字の微細構造に着目した書写学習システム”, 電子通信学会論文誌, Vol.J67-D, No.4, pp.442-449(1984).
- [28]山崎, 山本, 井口: “筆記速度分析を導入した書写CAIシステム”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J70-D, No.11, pp.2071-2076(1987).
- [29]陳, 小沢, 北川: “計算機を用いた書道練習システムの試作”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J71-A, No.9, pp.1742-1749(1988).
- [30]山本, 山崎, 井口: “書写技能を組み込んだCAIシステム”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J72-D-II, No.9, pp.1493-1500(1989).
- [31]内尾, 樋口, 北橋, 真田, 手塚: “毛筆楷書文字の感覚的大きさの一正規化手法”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J72-D-II, No.10, pp.1650-1656(1989).
- [32]藤原楚水: “図解楷書辞典”, 省心書房(1983).
- [33]柳瀬翠風: “楷書造形の秘密” 自費出版(1979)
- [34]神谷葵水: “書写教師のための25章”, 日本習字普及協会(1974).
- [35]上林, 内尾, 中西, 手塚: “書写規則を用いたCAIシステム”, 1990電子情報通信学会秋季全国大会, SA-8-1(1990).
- [36]内尾, 上林, 中西, 手塚: “書写CAIシステムのための書写規則の記述”, 電子情報通信学会技術研究報告, ET90-137(1991).

- [37]曾,井上,内尾,中西,真田,手塚：“書家添削モデルを用いた毛筆漢字添削システム”，電子情報通信学会論文誌,Vol.J73-D-II,No.2, pp.183-190(1990).
- [38]上林,内尾,中西,手塚：“側抑制モデルを用いた配字手法に関する一検討”電子情報通信学会春季全国大会,D-468(1989).
- [39]乾,上林,内尾,中西,手塚：“書写C A Iにおける指導モジュール”，電子情報通信学会春季全国大会,A-313(1991).