

Title	文字認識手法を用いる書写学習システムの研究
Author(s)	山崎, 敏範
Citation	大阪大学, 1984, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/1660
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

文字認識手法を用いる書写学習システムの研究



山 崎 敏 範

1984年1月

文字認識手法を用いる書写学習システムの研究

山 崎 敏 範

1984年1月

略 語 表

C A I (Computer Aided Instruction 又は Computer Assisted Instruction)

コンピュータ支援による教育で、教師の機能の一部をコンピュータで実現するもの。生徒は、あたかも教師に対するように、端末と対話しながら学習を進めていく。

C A D (Computer Aided Design)

設計・製図などにコンピュータを利用する技術。

C M I (Computer Managed Instruction)

授業分析、学習診断などの教育評価のためにコンピュータを利用し、指導法の改善に役立たせるもの。

S P 表 (Student -Problem Table)

得点マトリックス(行方向に生徒、列方向に問題)の各要素を、行方向の上から合計得点の高い(上位)生徒(Student)の順番に、列方向の左から正答率の高い(やさしい)問題(Problem)の順番に並べ換える。S P 表は、広く授業分析、学習診断に利用されている。

P L A T O (Programmed Logic for Automatic Teaching Operation)

イリノイ大学CERL (Computer -Based Education Research Laboratory) で開発された代表的なC A Iシステムで、1960年P L A T O - Iシステムとして一台の端末から出発し、現在はP L A T O - IVシステムで、全米に1200台以上の端末が配置されている。P L A T Oは強力なネットワーク機能をもち、原則として24時間運転しており、端末同志の電子郵便、計算サービス、ゲームなど多目的な使用も可能である。

内 容 梗 概

本論文は、筆者が主として大阪大学基礎工学部制御工学科において行なった、美しく整った文字を書くための、オンライン文字認識手法を使った書写学習システムに関する研究をまとめたものである。

整った字で読みやすく論旨の通った文を書くことは、教育すべての基本となる大切なものである。本研究のねらいは、人間形成の基盤となる義務教育課程における書写学習のための有益なシステムを実現することにある。

第1章には、書写学習の持つ意義を教育的な社会背景との関連で述べ、本研究の必要性を述べる。さらに、研究の展開に当たって、必要な課題、背景などについてその位置づけを行なう。

第2章では、オンライン文字入力システムと教育漢字データベースについて述べる。まず、オンライン文字入力装置、特にタブレット・タイプの現状と問題点を、主として書写学習システムのマン・マシン・インターフェースの観点から検討する。オンライン文字入力時の雑音除去のための一般的な前処理法を明らかにしたのちに、入力文字サイズとタブレットの分解能の関係を説明する。ついで、ペンのストローク操作に起因する入力雑音を分析してその処理方法を明らかにする。時系列な文字データ列を主としてメモリ容量の観点から決定し、文字データの正規化法を述べる。これらの入力手法を使って、教育漢字、ひらがな、カタカナの標準字体データベースの内容と作成法を明らかにする。

第3章では、書写CAIシステムの概要を述べる。義務教育現場での書写学習の内容と指導法を明らかにし、工学的な観点から、書写学習過程と文字認識過程の相異点を論じ、書写CAIシステムの特長を述べる。ついで、書写学習の視点から漢字の特徴を説明し、その記述法とデータベースへ登録する手法を述べる。

第4章では、漢字の動的特徴である筆順の評価法を述べる。書写学習における筆順の意義との学習法を明らかにしたのちに、入力する練習文字からストロークを抽出する手法を述べ、正しい筆順で書かれているかどうかをオンライン

的に評価する方法を明らかにする。まず、ストロークを点近似で記述したのちに、手本にする標準文字とのマッチング手法により、ストローク間距離を計算する。ついで練習文字の筆順を、ストローク間距離マトリックスにより評価する方法を明らかにする。

第5章では、文字のマクロな形状特徴量の評価法を書写学習の視点から述べる。マクロな形状特徴としては、書写学習における、字くばり、字形、部分パターンの組み立て方を対象にする。まず、文章中の各文字の配置の仕方である字くばりの表現法と、文章つづり方の評価法を述べる。ついで、ひとつひとつの書き方として必要になる文字の概形(字形)、偏、旁などの部分の組み立て方(部分パターン)の評価と書写学習へ適用する方法を説明する。文字を囲む外接凸多角形で字形を定義し、評価する。部分パターンは、各部分の要素であるストローク群の重心位置で表わす。これらの特徴評価と、各ストローク形状評価に基づき、文字をきれいに修正する手法を述べる。

第6章では、文字の細かな部分に注目するミクロな内部構造特徴の評価法とその応用を述べる。書写学習において、各ストロークの曲がり、はねの書き方のような局所特徴、各ストロークの交わり方、接し方の書き方である位相特徴をミクロな内部構造特徴とする。各ストロークの局所特徴評価では、ストロークの時系列座標点列データの角度変化を算出して屈折点を抽出する。位相特徴はストローク端点からの距離を目安として求める。これらの抽出法の妥当性を人間の評価と比較、検討して、書写学習へ適用する方法を述べる。

第7章では、第6章までに説明した各手法を使った、美しい字を書くための書写CAIシステムを述べる。書写のための基礎的技能として、正しい筆順、字くばり、字形、部分パターンの組み立て方、局所特徴の書き方である筆づかい、位相特徴としての点・画の交わり方、接し方がある。本章で、これらの基礎技能の学習例を述べ、システムの評価をする。

第8章は、本論文全体の結びで、本研究によって従来にない新しい形式の書写学習システムが実現できたことを述べ、残された今後の課題について言及する。

目 次

内容梗概

第1章 序論	1
第2章 オンライン文字入力システムと教育漢字データベースの作成	9
2.1 文字入力ハードウェア	9
2.2 オンライン文字入力	11
2.2.1 入力前処理	11
2.2.2 タブレット分解能と文字サイズ, 文字データ構造	13
2.2.3 ペン・ストローク過渡状態特異雑音処理	15
2.2.4 正規化	17
2.3 標準字体教育漢字データベース	18
2.3.1 教育漢字	18
2.3.2 標準字体, 標準筆順	19
2.3.3 文字データベースの作成	19
2.3.4 ひらかな, カタカナ データベース	20
第3章 書写CAIシステム	23
3.1 書写学習システムの概要	23
3.1.1 書写学習	24
3.1.2 書写学習過程と文字認識過程	26
3.1.3 書写CAIの文字入力とインストラクション表示手法	28
3.2 漢字特徴情報データベース	30
3.2.1 動的特徴	31
3.2.2 マクロな形状特徴	31
3.2.3 ミクロな内部構造特徴	34

第4章 筆順評価	39
4.1 標準筆順	39
4.2 入力文字情報からの筆順情報の抽出	42
4.3 ストロークの点近似による文字の表現	44
4.4 ストローク間距離マッチング	45
4.5 ストローク間距離マトリックスによる筆順評価	47
第5章 マクロな形状特徴評価	50
5.1 文章の書き方(字くばり)評価	50
5.1.1 手本文章データベース	50
5.1.2 字くばりの表現法	51
5.1.3 字くばりの評価と文章つづり方の修正	51
5.2 距離情報による字形評価	52
5.2.1 字形の表現法	52
5.2.2 外接凸多角形の抽出	53
5.2.3 入力文字の字形評価	55
5.3 一次のモーメントによる部分パターン評価	57
5.3.1 部分パターンデータベース	57
5.3.2 部分パターンの表現法	57
5.3.3 部分パターン評価による字体の修正	58
5.4 ストローク間距離情報によるストローク形状評価	59
5.4.1 ストローク形状評価と字体修正の視点	59
5.4.2 ストローク間距離評価	59
5.4.3 ストローク形状評価による字体の修正	60

第6章	ミクロな内部構造特徴評価	63
6.1	局所特徴の抽出と評価	63
6.1.1	局所特徴データベース	63
6.1.2	ストローク屈折点の抽出	64
6.1.3	局所特徴抽出精度	71
6.1.4	局所特徴評価と書写学習への適用法	73
6.2	位相特徴の抽出と評価	74
6.2.1	位相特徴データベース	74
6.2.2	ストロークの直線近似による交点抽出	74
6.2.3	端点距離情報による接点抽出	76
6.2.4	位相特徴抽出精度	77
6.2.5	位相特徴評価と書写学習への適用法	79
第7章	美しい字を書くための書写CAIシステム	82
7.1	筆順学習	82
7.2	字くばりの学習	85
7.3	字形学習	87
7.4	部分パターンの組み立て方の学習	87
7.5	字体修正	88
7.6	筆づかいの学習	89
7.7	点・画の交わり方, 接し方の学習	90
7.8	システムの評価	91
第8章	まとめ	96
	謝辞	99
	付録	100

第1章 序論

本論文では、美しく整った字を書くための新しい方式の書写学習システムを述べる。開発する書写学習システムは、オンライン文字認識手法を援用したもので情報化社会にふさわしい教育システムとして期待されるものである。

文字を書くことは日常的で知的な表現活動である。文字は意志伝達のための記号であり、実用的には情報伝達手段の一方法でしかないが、読めさえすれば、どんな字体で書かれていても良いものではない。書かれた文字には細やかな感情や人の心の高さが盛り込まれているといわれる。古くから「読み、書き、ソロバン」といわれるように、書は教育の基本であり、人格さえも表わすものとして重要視されてきた。その昔、中国で国家を支えるための官吏登用試験として名高い科挙では、字をきれいに書くことが大切な条件とされてきた⁽¹⁾。また、わが国では、「書道」というものが生まれ、独自の芸術にまで高め、完成してきた。

わが国では、児童が文字を読み、正しく整えて書くための教育においても、その重要性、学習の難しさから独自の教科として国語科の一分野に書写を設けている。書写は実用的な必要性はもちろんのこと、児童の情操教育にも関連し、芸術的な側面も合わせ持っている。

現在、義務教育現場における児童、生徒の非行、学校の荒廃は大きな社会問題にまでなり、看過することはできない事態になっている。これらの原因の一つとして、児童期における基本的な学習習慣、生活習慣の養成が不足したものであることは一部の識者の指摘するところである。「読み、書き、計算」のような基礎的訓練が不十分なままで多くの知識を与えられた児童は、その潜在能力を引き出されることなく年令を重ねていく。字をくり返し根気よく、ていねいに書くことは、知識獲得の知育教育に役立つだけでなく、指先の運動神経の刺激を通して、脳を活性化するのではないかともいわれている。毎日、朝10分間、静かに机

に向い、ていねいに詩などを書く学習を続けた結果、児童が情緒も安定し、生き生きと変化をしてきたという教育実践の報告もされている⁽²⁾。

書写学習は本来、実技訓練を必要とするもので、多人数一斉授業よりも個別授業によるきめ細かな指導が望ましい。ところで、社会が高度化し、多様化している現在では、学問、教材内容の質、量ともふえており、受験教育体制は一層強化されている。また、非行、生徒指導対策に追われる教育現場では、個別授業による一人一人の生徒の能力を生かすための十分な時間もゆとりもない。知識偏重、偏差値重視といわれる現在の受験教育体制では、書写学習のような、あたりまえで基本的な学習教科までに時間をとることがむつかしく、見落とされがちになっている。

本研究を始めた動機の一つは、書写学習のように基本的で繰り返して学習する必要がある教科の現状認識にある。これらの学習を有効に行なうために、情報工学的手法を利用した新しい教育システムを開発することは、現代の教育における重要な課題である。

情報化社会といわれる現在では、コンピュータ技術は社会の各分野に浸透し、多くのインパクトを与えてきた。教育の分野も例外ではない。教育へコンピュータを利用する試みは1950年代のコンピュータの普及時期以来、いろいろな試みがなされてきた。それらのうちでは、教師の代りとしてコンピュータを利用しようとする試み、すなわちCAI(Computer Aided Instruction)と、教育改善のための教育評価にコンピュータを利用するCMI(Computer Managed Instruction)の二つの大きな流れをあげることができる⁽³⁾。

CAIには、コンピュータの計算、判断、記憶機能を利用したいろいろな形式のものが研究されてきた。

CAI研究の出発は、プログラム学習の教育技法をコンピュータに組み込んで、学習指導の個別化を行なおうとするものであった。すなわち、行動心理学における学習理論(スキナーの刺激-反応-強化の学習指導)に基づく実践的な教育技術をコンピュータで実現しようとする試みである。この種のCAIとして、ドリル

演習問題用CAIが研究されている。例えばワークブックなどをコンピュータに入れて、学習者が端末を使って学習をし、その結果によっていろいろな注意メッセージを出力する。これまでに、算数の四則演算や単語の綴りを練習させるような反復練習教材が多く開発されてきた。

一方、教師の教授活動のシミュレーションとしてCAIをとらえるアプローチ、すなわち説明指導用CAIと呼ばれるものがある。教師が実際に授業を展開するように、コンピュータが生徒の発問に応じたり、助言したりするもので、イリノイ大学のPLATOシステムは規模の大きさ、実用性からもよく知られている^{(4),(5)}。

また、現実には危険で行なうことができない実験や、大規模なシステムの実験、メカニズムの解明などをコンピュータでシミュレートさせて演習をさせる学習システムとしてシミュレーション型CAIがある。各種の技能訓練、模擬運転、操作のためのシミュレータもこれに含まれる^{(6)~(9)}。

ところが、これまでに述べたCAIシステムでは、決められたカリキュラムを自己のペースで学習できる利点はあるが、生徒自身が目標に対して自分の方法で問題を解決するような創造的な教育には適しない。あらかじめ決められた手順に従った受動的な学習になりがちである。

このような欠点を補うものとして、生徒がコンピュータを道具として利用しながら問題の解決に向かう学習法を目指すものとして、プロブレム・ソルビング学習形式のCAIがある。生徒は、自分の学習を自ら展開していく過程で、普通の科学計算の使い方と同じようにしてコンピュータを利用するもので広義のCAIとも考えられる。この形式のCAIは、理工系の科目で実施しやすく^{(10)~(12)}、また、コンピュータ言語は易しく、素人の者でも手軽にコンピュータを使うことが大切になる。最近では、小学校の算数などで使われたLOGOなどの言語が注目されている。

最近では、知識工学、人工知能研究の高まりから、柔軟性のある教師のフィードリングを持つCAIシステムの研究に関心が集まっている。生徒が自由にコンピュータと対話し、指導、助言を受けながら学習を進めるもので、進路指導、カリキ

ユラム・ガイダンスなどの例が報告されている^{(13)~(15)}。この種のCAIは、知能情報処理システムを目指す第5世代コンピュータの研究とも関連するもので、今後の発展が期待されている。

CAIは、生徒がコンピュータを使って学習を進めるものであるが、教師が生徒の得点などの学習結果を収集して、学習進度、達成度により、個々の生徒に適切なアドバイスを与えるための教育評価にコンピュータを利用するものがCMIである^{(5), (16)}。一斉授業において、個々の生徒の反応をオンライン的に計測するためのレスポンス・アナライザーは特に我が国で発達、普及している機器であり、多くの研究が報告されている^{(17)~(19)}。また、演習、試験結果を採点し、小問毎の得点と、生徒の並びを二次元マトリックス・データで記述し、問題、生徒の評価に役立てようとするSP表 (Student-Problem Table) の試みは広く教育現場で適用されている⁽²⁰⁾。

ところで、日本では、伝統的に一斉授業形式を主体にすること、タイプライターのキーボードに対して親しみがないこともあり、現状では、CAIの普及は米国などと比べて遅れている⁽²¹⁾。しかし、大きな問題をはらみ、荒廃しかねない日本の教育の現状のもとでは、個々の能力に応じた、落ちこぼれる者のない教育のためにも、これらの新しい教育システムの検討が急がれる。幸にして、半導体工学、超LSI技術の進歩を背景として、安価で実用性の高いパーソナル・コンピュータが急速に普及してきた。新しい方式に基づいたCAIシステムの開発にとって好ましい状況にあるといえる。

整った字を書く力は実際に書く活動を通じて身につけていくものであるが、ただいたずらに練習を積み上げていくだけでは能率も悪く、効果も期待できない。経験的に知られている基礎的技能にもとづいた系統的、効率的な書写学習こそが大切である⁽²²⁾。

コンピュータを使った書写学習システムでは、

- 1) 実際の書く動作をそのまま入力する工夫をすること、
 - 2) 書写の基礎的技能を情報工学的手法で取り扱うこと、
- が必要になる。

幸いにして、1970年代以降、日本語情報処理システムへの関心が高まるにつれて、漢字を含む日本語文字認識技術の研究が蓄積されている²³。そこでの技術は、さきに述べた、書写学習システムの開発でも利用できるものが多い。本研究でのシステム開発にあたっては、主としてオンライン文字認識手法を利用する。

文字認識技術は情報化社会の花形技術として注目されてきた。わが国ではタイプライタの普及は欧米に比べて遅れており、手書き文字読取りに対する要望はこのほか強い。文字認識の研究は、コンピュータと人間の自然なインタフェース装置としての視点から、コンピュータが本格的に使われ始めた頃から研究されている。文字認識技術は、パターン認識における本質的な問題でもあり、パターン認識理論に立脚した前処理、特徴抽出、識別法などの基礎技術が蓄積されてきた。現在では、比較的小数の文字を対象にするもの、あるいは、規格のそろった印刷文字の認識はすでに実用化されており、郵便番号読取りなど我々に慣み深いものもある。

漢字を使う日本では、漢字を含む日本語文字認識技術への関心は深く、マルチフォント印刷漢字、手書き漢字認識技術の確立のための研究が活発に行なわれている。

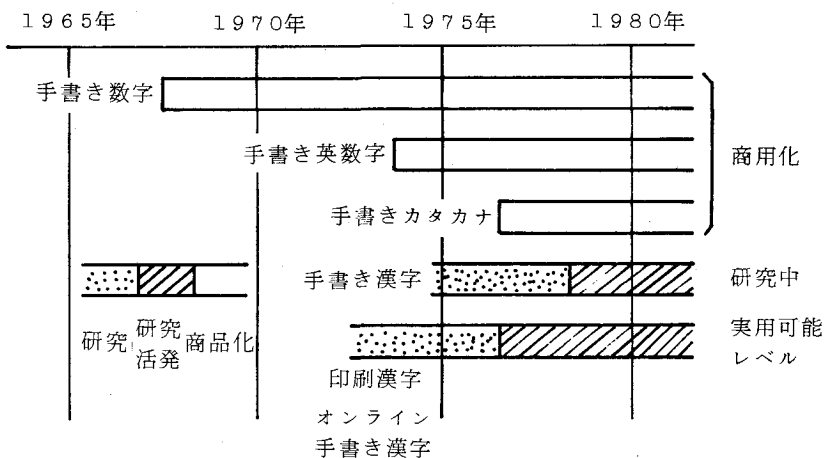


図1.1 文字認識技術の実用化²⁴

図1.1 は文字認識技術の実用化の経過である²⁴⁾。英数字、カタカナについてはすでに商品化されており、手書き漢字についても実用可能段階に達している。

オンライン文字認識は、OCR手法のものとは比べて、ストロークが容易に分離でき、現在では認識精度の問題はほぼ十分なレベルに達し、適切なシステムへの適用が待たれている。価格、性能の面から、オンライン文字認識でのネックといわれていたタブレットも最近では操作性も改善され実用に耐えるものが商品化されており、文字の筆記途上の筆跡情報、文字データの即時処理に適した特性を生かす有効なシステムへ利用することが可能になっている。

本研究は、文字認識の特長を利用した書写学習の開発を目指すもので、さきに述べた教育の現状、文字認識技術の状況から見ても、時代の動向にマッチし、期待できるものである。

参 考 文 献

- (1) 宮崎市定：科挙，中央公論社(1963-5)。
- (2) 岸本裕二：見える学力実践教室—読み・書き・計算と子どもの成長—，清風堂(1983-7)。
- (3) 藤田広一：教育情報工学概論，昭晃堂(1975-2)。
- (4) 山本米雄：イリノイ大学PLATOシステムの汎用性について，信学技報，ET80-8(1980)。
- (5) 佐藤隆博：CMIシステム，電子通信学会(1976)。
- (6) D.L.Bitzer, R.L.Johnson: PLATO; A Computer-Based System Used in the Engineering of Education, IEEE, 59, 6, pp.960-968 (1971)。
- (7) S. J. Castleberry, J. J. Lagowski, G. H. Culp: Simulation Techniques for Non-Laboratory Introductory Chemistry, Proc. Summer Comp. Simulation Conf., pp. 472-486(1972)。
- (8) 井街 宏：医学教育用コンピュータ・シミュレーション，信学誌，58，6，pp.661-664(1975—6)。
- (9) 植松茂暢：教育実習生訓練用CAIプログラムの開発，教育工学雑誌，2,2, pp.63-70(1977—10)。
- (10) R. C. Wood, J. C. Bruch: Teaching Complex Variables with an Interactive Computer System, IEEE Trans. E-15, 1, pp. 73-80(1972)。
- (11) R. J. Lompox: Computer-Aided Instruction of Physical Electronics Using Interactive Display System, IEEE Trans. E-16, 3, pp. 142-148 (1973)。
- (12) 杉岡、北村：会話型回路解析学習プログラム，CAI学会誌，3,2, pp.1—10(1983—3)。

- (13) J.R.Carbonell: AI in CAI; An Artificial - Intelligence Approach to Computer - Assisted Instruction, IEEE Trans., MMS - 11, 4, pp.190 - 202 (1970).
- (14) 司馬正次: 教育とコンピュータ, pp.57-81, 培風館(1972-11).
- (15) 東条、山本、坂本、川上: パーソナル・コンピュータによる相談システム—Course Guidance System(COGS) の開発—, 信学技報, E T82-8. pp.57-60(1982).
- (16) 西之園、永野、下村: 教育研究のためのデータ処理システムと操作言語の開発, 教育工学雑誌, 3,3, pp.103-114(1978-12).
- (17) 平田、藤田: レスポンス・アナライザ—使い方と記録分析法—, 教育工学社(1971).
- (18) 藤田、平田、佐藤: 集団学習反応測定装置に関する理論的考察, 信学論(C), 52-C, 12, pp.820-826(1969-12).
- (19) 山崎敏範: 応答時間の特性と利用法, 教育工学雑誌, 3, 1, pp.39-48 (1978-6)
- (20) 佐藤隆博: S-P表の作成と解釈, 明治図書, p.79(1975).
- (21) 堀口秀嗣: 小学校CAIを対象とした手書き文字入力システムの開発(1), CAI学会誌, 2, 2, pp.25-35(1982-3).
- (22) 宮崎 新: 新しい書き方 教師用指導書, 東京書籍(1982-3).
- (23) 高橋延匡: 日本語入力装置, 情報処理, 20, 10, pp.933-939(1979-10).
- (24) 大分類の段階がほぼ完成した手書き漢字認識の研究, 日経エレクトロニクス, NO.279, pp.148-167(1981-12).

第2章 オンライン文字入力システムと

教育漢字データベースの作成

人間が負担を感じない、自然な形で情報の入力、出力ができるマン・マシン・システムの開発は情報工学の重要な課題である。特に、キーボードを使う習慣の少ない我が国では、文字・図形などの二次元情報入力装置の発展・普及が強く望まれている。

近年、タブレット型の文字・図形入力装置は、精度、性能、価格の面からも実用に耐えうるものになっており、オンライン文字認識システム、高精度の図形入力を必要とするCAD(Computer Aided Design)などが著しく発展してきた。

また、日本でのCAI(Computer Aided Instruction)では、キーボードを使うことが大きなネックになっているといわれるが、上記の入力装置はこの問題解決に対する有効な方法としても期待されている⁽¹⁾。

書写学習を目的とする本システムでは、手書き文字の入力手法は重要な検討課題である。本章では、まず、2.1節で文字入力ハードウェアを論ずる。2.2節では、オンライン文字入力時の雑音除去のための平滑化、標本化処理、入力文字の大きさと分解能、データ構造を明らかにし、ペン・ストロークの問題点、正規化法を述べる。前節の手法を用いて、実際に教育漢字の標準字体データベースを作成する手順を2.3節に述べる

2.1 文字入力ハードウェア

日本語情報処理においては、最初に出会う問題が「入力」であり、最後に再び問題になるのが「入力」の問題といわれる⁽²⁾。欧米の言語と比べて、文字の種類が桁違いに多い日本語では、邦文タイプライタ、仮名漢字変換方式、あるいはOCR手法などの人工知能的アプローチによる入力手法が検討されている。

美しく整った字を書くことを目的にする本システムにおいては、キーボード方

式による入力は考えられない。コンピュータに不慣れな素人にも心理的圧迫感を与えることなく、通常の紙の上に気軽に字を書く要領で文字入力をできることが望ましい。

手書き文字・図形などの二次元的位置情報をオンラインで入力する装置はこれまでに種々の物理現象を利用したものが開発、製品化されてきた。この種の図形入力装置として最初に開発されたものは米国ランド社が発表したRAND Tabletである。以後Sonic Pen、および通常のCRTとライト・ペンの組み合わせたものなどがあるが、構成が高価であったり、気温などの周囲の条件により補償を必要とする欠点があった。また、ホログラムコード板を用いるホロタブレット、導電性シートにペンから定電流を流し、周辺における電流分布からペンの位置を検出するもの、XY方向にはりめぐらした導体がペンの圧力で接触するのを利用した接点検出式タブレット、液晶の光電効果を利用したもの、ペンの圧力を周囲におかれた荷重計で検出し、ペンの位置を算出するETLタブレットなどが発表されているが、いずれも性能あるいは取り扱い操作性の点に問題があり広く実用に供されるに至っていない^{(3)~(7)}。最近、アクリル板上を伝播する弾性波の速さを利用する弾性波タブレットも開発された⁽⁸⁾。これはペンのUP/DOWN検出用スイッチが不要でありペン・ストロークの操作性に優れているが、手などのペン以外のものが筆記面に触れてもいけないことなど、まだ安定した動作が得られない欠点がある。

現在実用に供されているものは、電磁誘導を利用したものが多い^{(9)~(11)}。電磁結合を利用する利点として、電磁結合であるために、読取速度が速く、温度、振動などの周囲の物理条件の影響を受けにくく、また紙は磁束の透過を防げないので、図面のトレースやハードコピーが可能であること、さらに筆記用具であるペンは電池式にしてコードのないペンを作ることができること、などがある。

一般に、通常の手書き文字入力装置に必要な性能は、位置分解能4~10本/mm、読取速度100点/秒以上といわれている。また、コンピュータに不慣れな素人の人が使うことを考慮して、ペンのUP/DOWN検出時の操作性の自然なものが望ましい。現在では電磁結合方式によるタブレットはこれらの条件をほぼ満足し、

しかも価格的にも実用性のある装置が得られる。

本システムでは電磁結合方式によるタブレットを二種類用いた。1つは、画面256×256mm、分解能1本/mm、読取速度5,000点/秒のもの(以後、Tablet 1と呼ぶ)で、⁽⁹⁾他の1つは画面384×384mm、分解能10本/mm、読取速度150/秒のもの (Tablet 2) である。

Tablet 1 はペン・ストローク・スイッチは書字動作と独立しており、操作性は不自然だが確実なペンのUP/DOWN 信号が得られること、速い読取速度を持つ。Tablet 2 は市販品であり、ペン・ストローク・スイッチは書字動作に連動し、操作性は手の動きとなじみやすいが、のちに述べるようなペンのUP/DOWN 時の過渡状態で雑音を拾いやすい。

本研究では、標準字体データベース作成時の手本文字入力には Tablet 1 を使い、実際の文字練習に際しては主として Tablet 2 を使用する。

これらのタブレットによるオンライン文字入力方法を次節に述べる。

2.2 オンライン文字入力

本節では、タブレットによる文字入力時の雑音処理法、文字サイズ、文字データ構造、ペン・ストロークの問題点、文字データの正規化法を順次述べる。

2.2.1 入力前処理

一般に、タブレットから得られる筆点座標系列には

- 1) ペンとタブレットの結合ミスによる偽信号の発生などに起因する入力装置の特異雑音、
 - 2) 筆記時に起るペンのぶれや入力面の分解能に依存する座標の量子化雑音などの雑音、
 - 3) 筆記速度が一樣でないために起る冗長な入力座標系列、
- などの雑音があり、安定な入力のためには、これらの雑音を除去する前処理が不可欠となる^{(12)~(14)}。

前記1), 2) の雑音を除去するために平滑化処理を行なう。

$$X_j = \alpha X_{i-1} + \beta X_i$$

$$Y_j = \alpha Y_{i-1} + \beta Y_i$$

$$\alpha + \beta = 1$$

(X_j, Y_j) : 平滑化処理後の座標点

(X_i, Y_i) : 原座標点

平滑化処理は、相隣り合う座標点に関して荷重平均操作をする。

前記3)に対処するために標本化処理(間びき)を行なう。タブレットからは装置固有のクロックで筆点座標が系列として出力される。従って、筆記者ごとの筆記速度の差、筆点の時間的な停留などが筆点座標系列の長さに大きな変動をもたらす。例えば、ゆっくり筆記した場合には、かなり冗長な座標系列になってしまう。そこで、筆記速度などの影響、冗長な座標系列を除去するには、相隣り合う座標が定められた距離(ΔZ)以下しか離れていない場合にはその座標を除去する。

$$X_j = X_i \quad \text{ただし} \quad |X_{i-1} - X_i| \geq \Delta Z$$

$$Y_j = Y_i \quad |Y_{i-1} - Y_i| \geq \Delta Z$$

ΔZ : 空間フィルタの大きさ

(X_j, Y_j) : 標本化処理後の座標点

(X_i, Y_i) : 原座標点

標本化処理は筆点座標の時間的な経過に対応した表現から、ストローク長に対応した表現に変換したことになり、筆点運動の等速度化を施したことになる。得られた系列の長さはストロークの長さに対応することになり、筆記途上の運筆の緩急の差異、あるいは筆点の停留による冗長な情報を除去することができる。

本研究では、平滑化処理では $\alpha = \beta = 0.5$ 、標本化処理の空間フィルターを、分解能の粗い Tablet 1では $\Delta Z = 2$ 、細かい分解能の Tablet 2では $\Delta Z = 3$ とする。すなわち、タブレット上で距離 ΔZ 以上離れた座標点を入力したのちに、隣り合う座標点の中点を入力点とする軽度の前処理を行なう。

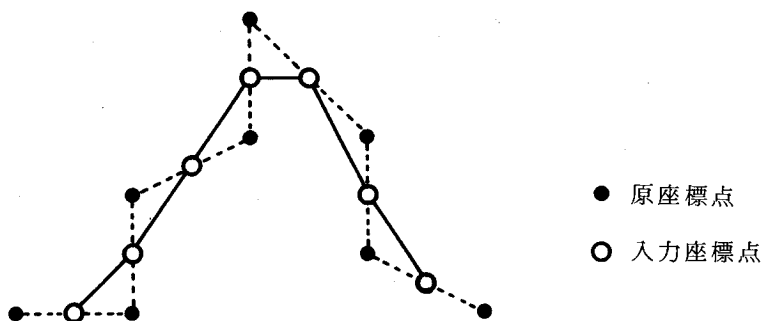


図2.1 入力前処理

図2.1に、本システムの前処理法（●印は原座標点、○印は入力座標点）の様子を示す。適切なデータ容量で文字形状を正確に入力するためには、タブレットの分解能と文字サイズの関係を検討することが必要である。次節にこれらの検討結果を述べる。

2.2.2 タブレット分解能と文字サイズ、文字データ構造

タブレットから入力する文字データは量子化された時系列な座標点列データである。入力文字の形を忠実に表わすためには、できるかぎり分解能の大きなタブレットで、多くの座標点列データにより文字データを得るのがよい。しかし、コンピュータのメモリ容量、処理時間の点、また、標準文字データベースの文字数が多いことなどから、不必要に大きな点列データにすることはできない。普通の大きさの文字を書くときにはタブレットの分解能として4～10本/mm程度必要といわれる。

2.1節で述べたように、本システムは二種類のタブレットを使用する。標準字体データベースのような手本にする文字データを作成する場合には、文字形状の細部を安定して忠実に入力しなければならない。そこで、1文字を60×60mmの大きさに拡大したのちに、ペン・ストローク動作の安定している Tablet 1 を使って文字入力をする。

一方、学習者が文字を練習するときには、手本文字の場合のような大きい文字を書くことは不自然になる。小学生が字を練習するとき使用する枠目の大きさはほとんどの場合16~20mmである。そこで、本システムでも練習文字は18×18mmの枠目に入力することにした。この場合には高い分解能（10本/mm）、読取速度150点/秒の Tablet 2 を用いる。

タブレットから文字を入力する時には、文字サイズのx、y座標を256メッシュに量子化をする。使用するコンピュータの1語は16bitあるので、メモリ容量の節約のために、上位8bit、下位8bitをそれぞれx、y座標値に割り当てて、入力座標の1点を1語に収める。ストロークの区切りはペンのUP・DOWN信号でわかるので、時系列データ中にストロークの区切りコードを入れることでストロークを分離し、文字入力の終了時にはタブレット上で入力枠目範囲外を入力したときとし、終了コードを最後に時系列データに追加する。

図 2.2 に時系列文字データ構造を示す。ストローク区切りコード、文字入力終了コードは1語を使い、入力座標点としてはとりえない値として、それぞれ-1、-20の値を入れる。文字データは、 i ストローク・データ \vec{t}_i と区切りコード、終了コードの並びで表わされる。

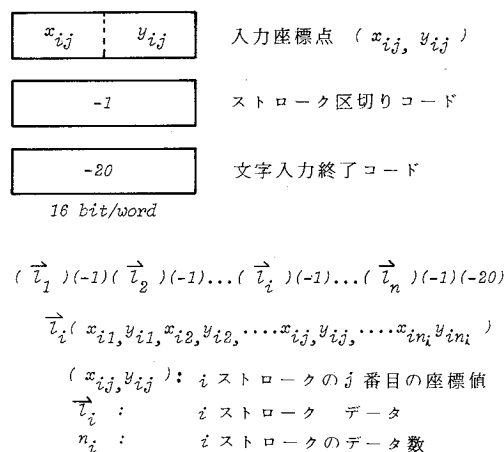


図2.2 文字データ構造

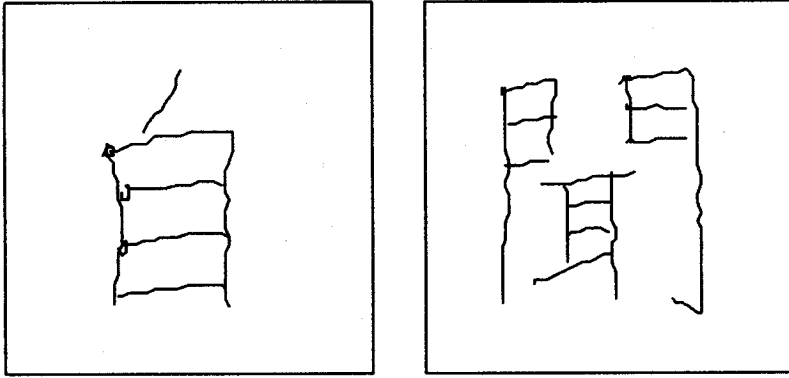


図 2.3 始点雑音のある文字データ例

ところが、ペン・ストロークの操作性の良い市販品（ Tablet 2）を使った学習を進めていく過程で、前節2.2.1 の前処理では除去できない雑音が観測された。図2.3示すように、特にストロークの始点近傍で、ペンが DOWN に切り換わる過渡状態として変動幅の大きな雑音が入力されることがわかった。これらの雑音は、のちに述べる局所特徴、位相特徴などの文字のマイクロな内部構造特徴を取り扱う場合には不都合なものとなる。そこで、Tablet 2 の始点データ入力時の様子を分析する。

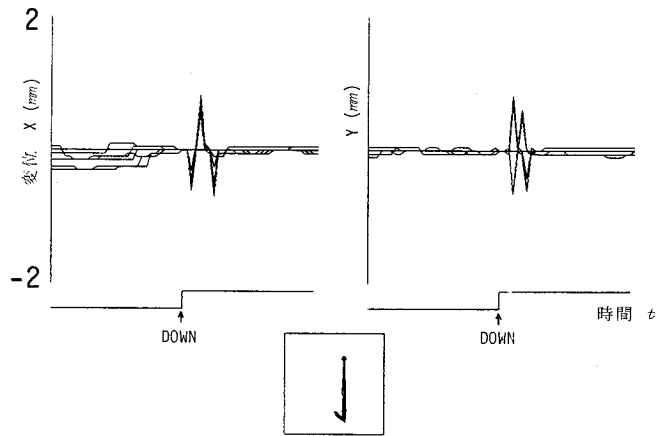
2.2.3 ペン・ストローク過渡状態特異雑音処理

Tablet 2 は盤面から 1mm 以内にペン先があるときにデータ入力が可能になり、ペンが盤面に接しているかどうかは内蔵スイッチのオン・オフで知ることができる。そこで、ペンの DOWN、UP する始点、終点近傍のデータ入力状況を分析する。始点で PEN-DOWN 以前の、終点での PEN-UP の、実際には入力データとはしない空ストロークの動きも含めた筆点の動きを調べる。結果の一例を図 2.4 に示す。縦軸は筆点の変動 x, y 座標値を、横軸は経過時間を示す。同時に横軸の下に PEN-DOWN、UP の変化状況を示している。図 2.4 は、実際に入力する文字の大きさで、特定のストロークを同一人が 10 回繰返して入力したものである。

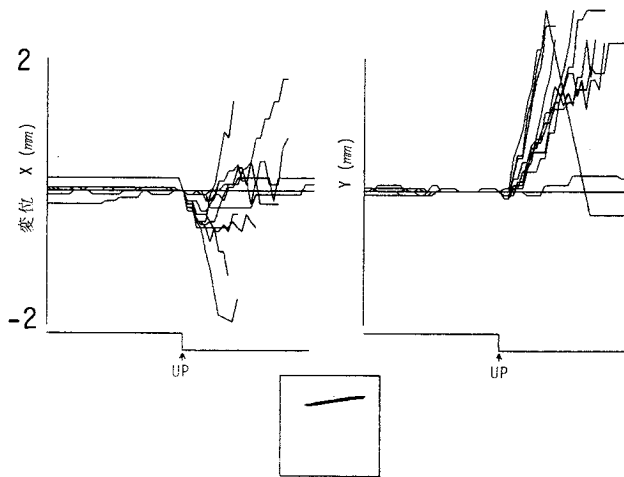
始点近傍では PEN-DOWN 以後 4～7 個のデータ点に 1～1.5mm 程度の変動が観

測された。この現象はゆっくりと、ていねいに入力しようとしたときに顕著に現われる。終点では、筆点が紙面から離れてPEN-UPになったのちには筆点の動きもばらついているが、筆点が紙面に接している間（実際にデータを入力する）では始点に見られるような変動は観測されなかった。

そこで、Tablet 2 を使うときには、始点での入力データ変動を除くために、PEN-DOWN直後から20点（150ms）のデータを棄却することにした。



(a) 始点データ入力状況



(b) 終点データ入力状況

図2.4 始点、終点データ入力特性

2.2.4 正規化

のちに述べる各種の評価時のマッチング処理では標準文字と練習文字の大きさ、位置づれ、形状歪による不整合を吸収するためにために正規化処理が必要になる。本システムでは図2.5 に示すような二種類の正規化法を使用する。

正規化 1

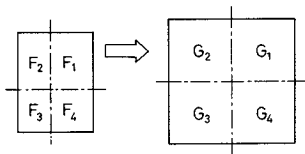
のちに述べる筆順評価では、文字形状に依存しないマッチング処理が望ましい。そこで、文字の大きさと、ストローク形状、位置歪を吸収する正規化をする⁽¹⁵⁾。まず、文字パターンを囲む最小方形を求め、その重心を決定する。ついで、原画面 (F) の文字重心位置を常に正規化画面 (G) の中心に写像するようにきめられた大きさに正規化をする。

正規化 2

縦横のモーメント比が異なるような文字では、正規化 1 により字体が原文字から大きく変形する場合がある。字形、部分パターン、ストローク形状などの評価では原文字の形状が保存されるような正規化が望ましい。ここでは文字を囲む最小方形の縦長／横長比 (l_2/l_1) を変えないように文字サイズを正規化する。

図2.6 に正規化 1、正規化 2 の実例を示す。図2.6 では、左側に原文字を、真中に正規化 1、右端に正規化 2 による文字を示す。正規化 1 では字の形が変わることが図2.6 に表われている。

文字サイズと重心位置の正規化 (正規化 1)



文字サイズの正規化 (正規化 2)

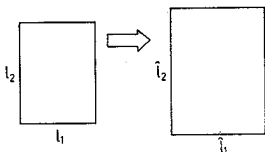


図2.5 正規化

原文字 (F) 正規化 1 (G) 正規化 2 (\bar{l}_2/l_1)

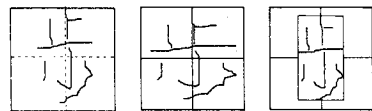


図2.6 正規化の実例

次節では、これまでに述べた文字入力手法を使って、標準字体文字データベースを作成する方法を述べる。

2.3 標準字体教育漢字データベース

本節では標準字体データベースの内容を明らかにする。

入力する文字の評価と、整った字体に修正するための矯正情報および手本字体出力のために、標準にする文字データベースが必要になる。標準字体データベースとしては、字体だけでなく、筆順、筆づかい、点画の接し方、交わり方、組み立て方などの情報を含んでいることが必要である。本システムでは、小学校6年間で学習する教育漢字、ひらがな、カタカナの約1000字のデータベースを作成する。

まず、教育漢字の教育的な位置づけを述べ、手本にする標準字体、標準筆順を明らかにしたのちに、文字データベースの具体的な作成手順を述べる。

2.3.1 教育漢字

漢字は欧米の文字に比べて桁違いに多くの字種がある。また、言葉は生きものであり、時代とともに変化し、漢字自身の造語力とあいまって、字種も一定不変のものではない。我が国では正しい国語の書き表し方をはかるために、国語審議会が漢字についても基礎的な資料、基準が作られている⁽¹⁶⁾。

常用漢字表（1945字）は一般の社会生活における漢字使用の目安として作成されたもので、効率的で共通性の高い漢字を収め、分かりやすく通じやすい文章を書き表わすための漢字使用の指針となることを目指している。常用漢字表の基礎となった当用漢字（1850字）は、高校三年までの学校教育において習得するように定められたもので、常用漢字表に包含される。

義務教育期間での漢字学習は、児童、生徒の発達段階等を十分配慮して、別途の教育上の措置にゆだねられている。そして、当用漢字の中から小学校六年間で学習する漢字としてとり出したものが教育漢字（学習漢字ともいう）996字である。正しくは「当用漢字別表」の漢字という（昭和52年「小学校学習指導要領」）。教育漢字は児童の発達段階を考慮して、各学年毎に学年別漢字配当表として示さ

れている⁽¹⁷⁾。

2.3.2 標準字体、標準筆順

小学校学習指導要領（昭和55年度）には、漢字の指導においては、学年別漢字配当表に示す漢字を標準とすること、とあり、別表として「学年別漢字配当表」に996字分の漢字が教科書体活字で示してある⁽¹⁷⁾。ところが、その教科書体活字は、ストロークに太いところ、細いところがあり、はね、おさえなども毛筆書体に近く、タブレットを使って文字入力をするのには不向きである。ここでは「書き方」教科書⁽¹⁸⁾で使用している教科書体活字の字体にそった硬筆の手本を標準字体とする。

手書き文字の美しさはその字の全体像、各ストロークの形、交わり方、接し方などの文字特徴を基準にして判定する。このような場合には筆順は考慮されない。筆順は筆跡には陽に残らないもので、文字の裏にあるかくされた文字特徴情報である。しかし、筆順はできあがってくる文字の形に深く関連するもので、適切な筆順に従って文字を書くと、他の文字ともまぎれることなく、字体を整え易く、美的に能率良く書くことができる。すなわち、漢字を正しく整えて書くためには筆順に従って書くことがまず必要になる。特に文字を習い始める時期には気を配って書くことが重要である。

漢字の筆順は規則で決められている一定不変のきまりはなく、どんな順序で書けば速く、整った形に書けるかという祖先の経験が積もり積もって今日の筆順ができあがってきた。筆順の妥当性に関する計量的なアプローチも発表されているが⁽¹⁹⁾ここでは文部省「筆順指導の手びき」で示される教育漢字についての筆順を標準にする⁽²⁰⁾。

標準字体文字データベースの作成では、ここで述べた標準筆順を使用する。

2.3.3 文字データベースの作成

手本にする標準文字データ作成に際しては文字の細部形状も忠実に入力するために、1文字を60×60mmの大きさに拡大して入力する。決められた筆順に従って文字を Tablet 1（分解能1本/mm）上でなぞり書きして入力する。文字データ

は筆記過程の座標値を逐次取り込む時系列データとして2.2.2 節で述べたデータ様式で入力する。登録順番は教育漢字の各学年配当順で音読みの50音順とする。各文字には4桁の文字コードを定め、下3桁を文字番号、上1桁を履習年度とする。文字データは1文字につき平均120バイトで、全体で約120KBの容量を占める。ディスク上には検索のための辞書部を設け、各文字コード、ストローク数、さらには後に述べる局所特徴、位相特徴などを登録しておく、図2.7に漢字データベースの一例を示す。巻末付録に全学年の教育漢字データベースの一覧表を載せた。

2.3.4 ひらがな、カタカナ データベース

日本語は漢字とともに、ひらがな、カタカナも欠かすことのできないものである。そこで、ひらがな、カタカナについても同様の方法で標準字体データベースを作成する。この場合は文字コードの上1桁の履習年度に相当する部分を7とした。図2.8に、ひらがな、カタカナのデータベースを示す。これらのデータベースを利用して、漢字の場合と同じ手法により、書き方の学習システムを構成することが可能である。

これまでに述べた方法で作成した標準データベースを使って、書写学習システムを作成する方法の概略を次章で順次述べていく。

教育漢字学年別配当表
1年【1-50】

赤	正	小	車	四	校	月	気	音	一
千	生	上	手	糸	左	犬	九	下	右
川	青	森	十	字	三	見	休	火	雨
先	夕	人	出	耳	山	五	金	花	円
早	石	水	女	七	子	口	空	学	王

わ	ら	や	ま	は	な	た	さ	か	あ
を	り		み	ひ	に	ち	し	き	い
ん	る	ゆ	む	ふ	ぬ	つ	す	く	う
	れ		め	へ	ね	て	せ	け	え
	ろ	よ	も	ほ	の	と	そ	こ	お

6年【51-190】

		裏	欲	訳	幕	訪	陛	否	肺
		律	翌	郵	密	亡	閉	批	背
		臨	乱	優	盟	忘	片	秘	俳
		朗	卯	幼	模	棒	補	腹	班
		論	覽	羊	矢	枚	宝	奮	晚

ワ	ラ	ヤ	マ	ハ	ナ	タ	サ	カ	ア
ヲ	リ		ミ	ヒ	ニ	チ	シ	キ	イ
ン	ル	ユ	ム	フ	ヌ	ツ	ス	ク	ウ
	レ		メ	ヘ	ネ	テ	セ	ケ	エ
	ロ	ヨ	モ	ホ	ノ	ト	ソ	コ	オ

図2.7 教育漢字
標準字体データベース例

図2.8 ひらがな、カタカナ
標準字体データベース例

参 考 文 献

- (1) 山崎, 井口, 桜井: 美しさを学習できる自立型書写C A Iシステム,
C A I学会誌, 3, 2, pp.11- 20(1983-3).
- (2) 増田 功: 日本語文字読取り装置, 信学誌, 63, 7, pp. 719-722(1980-7).
- (3) 阪口, 花木: 図形入力装置, 信学誌, 60, 6, p. 645 (1977-6).
- (4) M.Sakaguchi, N.Nishida: The Hologram Tablet - A new graphic input
device, Proc.1970 FJCC, p.653(1970).
- (5) J.A.Turner, G.J.Ritchie: Linear Current Division in Resistive Areas; Its
Application to Computer Graphics, Proc.1970 FJCC, p.613(1970).
- (6) 大石東作: 手書き図形検出装置(ETL-TABLET), 昭45情報処理学会大会,
174 (1970).
- (7) 亀井裕孟: 液晶の光電効果利用入力表示装置, 印刷雑誌, 55, 2, p. 19
(1972).
- (8) 石井, 橋本: 板波を用いた弾性波タブレット, 第11回画像工学コンファレン
ス, 5-7, p. 101 (1980-12).
- (9) 井口, 十倉, 桜井: 電磁誘導形入力装置, 信学論(D), 56-D, 2, pp.
93-98(1973-2).
- (10) 井口, 桜井: 図形情報入力装置, 計測と制御, 13, 4, pp. 46-53
(1974-4).
- (11) 杉村, 井口, 桜井: 電磁結合型データ タブレット, 信学論(D), J 62-D,
8, pp. 531-536(1979-8).
- (12) 橋本新一郎: 文字認識概論, 電気通信協会(1982-3).
- (13) 青木, 中川, 真鍋, 木村, 高橋: オンライン手書きストロークの前処理(雑
音除去)について, 情報処理学会全国大会予稿集, 4 I -7, pp. 687-688
(1982).

- (14) 青木, 井口 : 手書き平仮名文字のオンライン認識, 信学論(D), J 60-D, 7, pp. 558-559 (1977-7).
- (15) 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の文字認識, 信学論(D), J 63-D, 5, pp. 402-409 (1980-5).
- (16) 角川書店編 : 新しい国語の書き表し方, 角川書店(1973-7).
- (17) 学習研究社辞典編集部 : 小学生の漢字書き方字典, 学習研究社(1978-10).
- (18) 宮崎 新 : 新しい書き方 教師用指導書, 東京書籍(1982 - 3)
- (19) T.Shimomura: Science of the Stroke Sequence of Kanji, Proc.8th.int'l Conf.on Comp.Linguistics, Tokyo(1980 - 8).
- (20) 久米 公 : 新漢字表による筆順指導総覧, みつる教育図書(1977).

第3章 書写CAIシステム

本章では書写学習システムの概要と漢字特徴情報データベースの内容を述べる。

国語力の基礎となる言語教育では、表現力及び理解力を養うための学習が系統的に行なわれる。書写学習は国語科の一分野であり、文字を正確に理解し表現する能力を養いながら、文字に対する関心を深め、文字感覚を養い、文字を尊重する態度を育てることを目標としている。書写学習（書き方、習字）の具体的な目標は整った字をきれいに書くことである^{(1), (2)}。

「きれいに整った字を書く」という曖昧で論理のはっきりしない事をコンピュータで実現するためには、書写学習の内容を分析し、モデル化をすることが必要である。ここでは書写学習で必要になる文字の特徴は前もってデータベースに登録しておき、入力する練習文字を評価し、字体をきれいにするための矯正情報抽出、手本字体の出力などに際してはデータベース中の各種の情報を利用する。文字の処理・評価には主として文字認識手法を使用する。

3.1 節ではまず、書写学習の内容と指導法を述べる。ついで、書写学習過程を文字認識過程と対比して明らかにしたのちに、書写CAIの特長に言及する。3.2 節では書写学習のための基礎的技能をふまえた漢字特徴情報データベースの内容と作成法を述べる。

3.1 書写学習システムの概要

本節では書写学習システムの概要を述べる。

図3.1にシステムのハードウェア構成を示す。

入力部には、キーボードと、手書き文字入力用として二種類の電磁結合型のタブレットを使用する。手本にする標準文字データベースはディスク上に登録する。練習文字の表示や、添削のための矯正情報を出力するために、グラフィック、ディスプレイ（1000×700ドット）、カラー・ディスプレイ（256×256ドット、64色）、

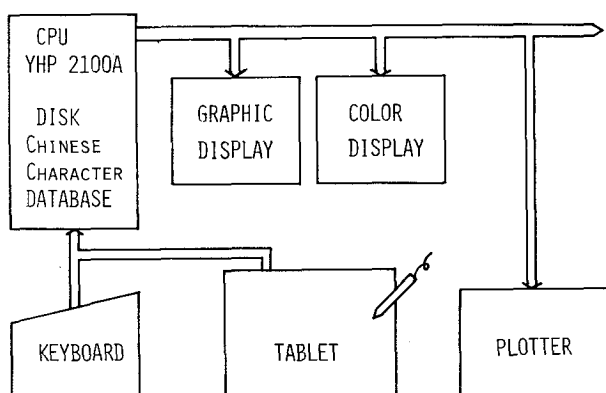


図3.1 書写学習システム

多ペン・プロッタ（A3サイズ、0.1mm/本）が使用できる。

次節では、書写学習の指導法の内容、書写学習過程と文字認識過程の比較、書写CAIの概要を順次述べる。

3.1.1 書写学習

書写学習の主目的は美しく整った字を書くための技法習得にある。熟練した教師は子供の書いた文字の不適切な部分を的確に指摘をして、文字を添削する。彼等は積み重ねてきた経験と勘にたよって、文字をきれいにするという曖昧で一見非論理的な事を知的に行なう。このような場合でも書写学習のための基本原則を判断基準としている。整った字を書く力は実際に書く活動を通して身に付けていくものであるが、ただいたずらに練習を積み上げていくだけでは効果は期待できない。経験的に知られた基礎的技能にもとづいた系統的・効率的な学習こそが重要である^{(1)~(3)}。

書写CAIシステムを構成するにあたっては、これらの書写学習のための基礎的技能をシステム中に加味することが重要になる。基礎的技能としては、図3.2に示したものが考えられる^{(1)~(3)}。筆順、筆圧、運筆速度などの動的な特徴、文字の概形（全体像）を示す字形、偏、旁、冠のような文字を構成する部分パターンの組み立て方、文章中での各文字の配置を示す配列、などの静的でマクロな

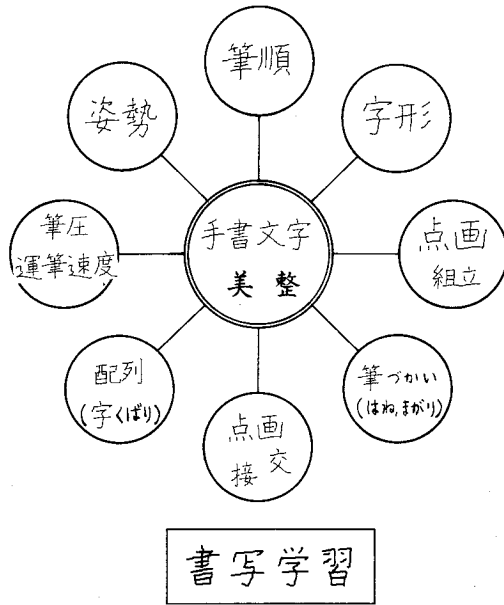


図3.2 書写学習基礎技能

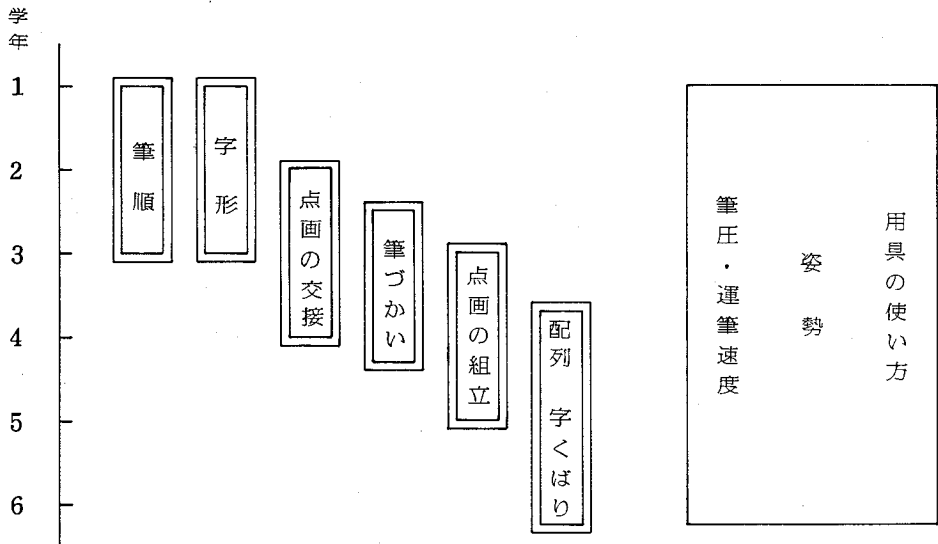


図3.3 書写学習基礎技能学習年度

形状特徴、個々のストロークの形状、位置などのマイクロな形状特徴、さらにストロークのはね、曲がり、とめ等の筆づかい（局所特徴）、各ストロークの接し方、交わり方（位相特徴）などのマイクロな内部構造特徴などが書写学習の基礎的スキルとして必要になる。正しく整った読み易い文字で表現するために、字形を正確に理解し、筆順に従い、用具に適した運筆で文字の大きさや配列（字くばり）に注意し、文字を正しく整えて、読み易く効果的に書写することを国語科書写指導のねらいとしている。

これらの指導事項は図 3.3 に示すように、児童、生徒の発達段階を考慮して各学年に適切に配置され、重点的に指導される⁽⁴⁾。低学年ではひとつひとつの文字についての指導が中心になり、学習の進展につれて文章全体における文字と文字のつり合いなどの観点がはいつてくる。はじめて字を習う段階では書写の基本である筆順、字全体の形などの大まかな特徴に気を配って指導をする。ついで、点画の交わり方、接し方、さらに送筆時の折れ、曲がり、終筆時のはね、払いの筆づかいを指導する。高学年になり、文字の構成法（点画の組み立て）、文章全体を整えて書くための技法（配列、字くばり）を指導する。指先の運動機能が未発達な低学年では、はじめに簡単な線を引くことから始めて、曲線、波線などの練習をしながら筆記具の使い方に慣れていく。毛筆は道具の持つ特性から、曲がり、はねなどの細かな筆づかいの技能習得に適している。毛筆による文字表現は芸術的な面をもっているが、実用的には硬筆による書写能力の基礎を養うための手法として位置づけられている。書写するときの姿勢や鉛筆の持ち方、用具の使い方は指導事項として示されていないが、配慮すべき重要な指導事項であり、学年の発達段階に応じた指導が大切である⁽¹⁾。

書写学習システムの開発にあたっては、これらの指導事項をふまえることが大切になる。次節では書写学習システムと文字認識システムの比較検討を行ない、両システムの目的、方法の相異を明らかにする。

3.1.2 書写学習過程と文字認識過程

前節で書写学習の指導法を明らかにした。本節では書写学習過程と文字認識過

程の特長、相異点を述べる。

文字認識は未知文字の識別を目的とするが、書写学習は、すでにわかっている文字をきれいに整えることを目的にする。書写学習では、そのために、文字の特徴を抽出し、文字を整えるうえで必要になる情報を得る。文字認識での処理過程と書写学習システムの処理過程を図3.4に示す。

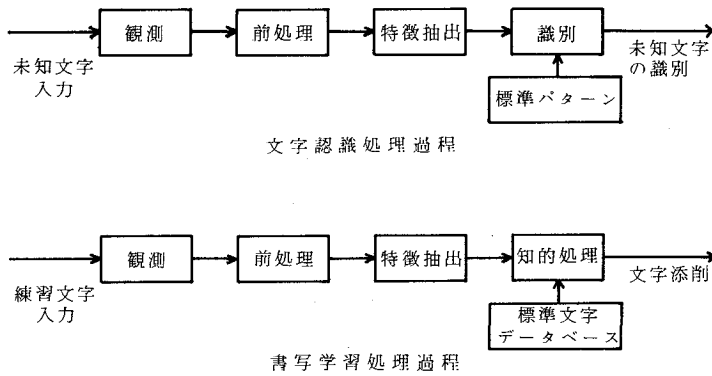


図3.4 文字認識、書写学習処理過程

以下にそれぞれの過程における基本的な概念および相異点を順を追って述べる。まず、なんらかの方法で入力文字を観測して電気信号に変換する観測過程がある。現時点では、光学的に読みとるOCR方式と、2.1節で述べたオンライン方式に大別される。

つぎに、観測過程で得られた電気信号に含まれる雑音や歪成分の除去、あるいは文字を読み取るうえで必ずしも本質的ではない冗長な成分を除去する前処理過程が必要になる。本システムの前処理法は2.2節のオンライン文字入力で述べたように、基本的にはオンライン文字認識と変わるところはない。

前処理を経た観測パターンから、必要となる文字固有の特徴を抽出する過程を特徴抽出と呼ぶ。実際にどのような特徴を抽出すればよいかという問題はシステムの目的とも関係するもので、極めて重要なことであるが、現状では文字の本質的な特徴とは何か、ということがよく分かっていない。文字認識においても、特

特徴抽出法は、文字パターンを識別処理に都合のよい特徴ベクトル空間で表現する解析的手法、あるいは文字パターンをプリミティブで記述する構造解析的手法などに分類されている⁽⁵⁾。

書写学習における特徴抽出は、その目的から、書写学習での基礎的技能を反映できることが必要になる。すなわち、3.1.1節で述べた動的な特徴（筆順）、マクロな形状特徴（字形、部分パターン、配列）、ミクロな内部構造特徴（局所特徴、位相特徴）などの特徴抽出が大切になる。

文字認識における特徴抽出では、各々の文字固有の変形はできるだけ除去し、文字の本質的な特徴だけを浮きぼりにすることが重要である。一方、書写学習では文字固有の変形をむしろ積極的に抽出しようとするもので、文字認識での特徴抽出と本質的に異なる。

文字認識の最終目的は入力文字の種別を決定することである。特徴抽出で得られた特徴をもとに、入力文字が何という文字であるかを判定する過程を識別過程といい、未知入力文字が標準パターンのうちのどのカテゴリーに属するかを決定する。多くの場合、未知文字と標準パターンの「近さ、遠さ」の程度を表す尺度として、いろいろな距離、あるいは類似度を使って識別する。

書写学習では、対象とする文字種別はあらかじめわかっている。文字認識で使用する距離、類似度などの尺度を利用するが、目的は手本文字と練習文字の特徴の差異を検出することにある。書写学習での個々の詳細な評価法は第4章以降に順次述べる。

次節では書写C A Iの入力部、出力部の概要を述べる。

3.1.3 書写C A Iの文字入力とインストラクション表示手法

これまでのC A Iにおける学習者の入力方法は、キーボード、ライトペン、パネルタッチなどによるものがほとんどである。キーボードを使う習慣のない、しかも日本語特有の問題点からも、入力方法の制約は日本でのC A Iの普及、適用範囲を狭くする原因にもなっている。近年、音声認識、手書き文字認識技術などの研究が発展しているが、これらの人工知能ツールを利用することで、C A I

入力も日常的な伝達方法で可能になることが期待されている。

書写学習ではキーボードによる学習は難しい。学習者は主としてタブレットのペンを使ってコンピュータと対話をする。入力システムの設計にあたっては、できるだけ実際の書写学習に近い形態を実現するために、図 3.5 に示すように、タブレット上に、文字選択、手本文字表示などのメニュー選択部、選択文字群のファンクション部と、練習文字入力部を設けた。すなわち、生徒はペン操作による書写学習が可能になる。

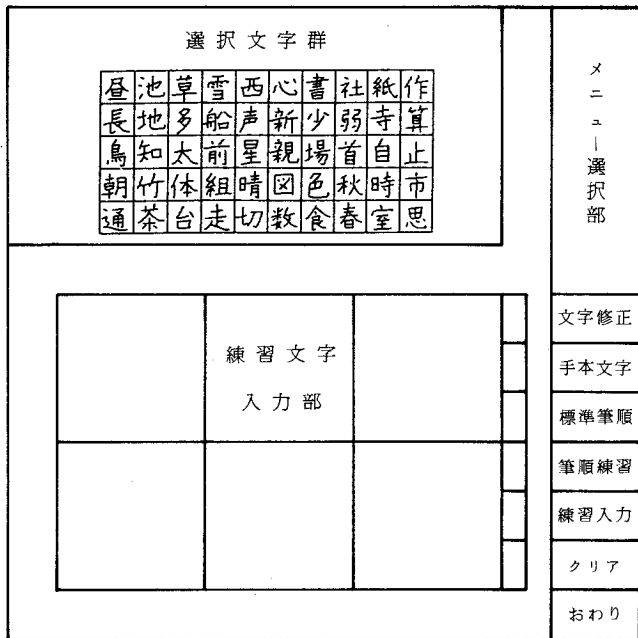


図 3.5 書写C A I入力部

文字練習に際しては練習する文字の種別をあらかじめ選択文字群から指定をして、タブレット上で指定した枠の中に練習文字を楷書字体でていねいに入力する。枠からはみ出た文字、ストロークが続いた字などの不適切な入力は再度入力を促すようにする。例えば図 3.6 では左側に入力すべき文字を表示して文字入力を指示したのちに、右側に実際に入力した文字を示す。入力した文字が指定の枠から出ているので再度文字を入力するように指示が返っている。

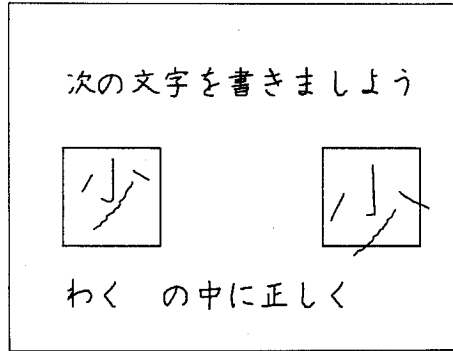


図 3.6 練習文字入力表示例

練習文字、手本文字、インストラクションなどの表示には、グラフィック・ディスプレイ（1000×700ドット）、カラー・ディスプレイ（256×256ドット、64色）多ペン・プロッタ（A3版、0.1mm/本）を使用する。練習文字、手本文字ばかりでなく、インストラクションなどのメッセージ表示にも図3.7に示すように、標準データベース中の文字を使用し、印刷文字では味わえないものにした。

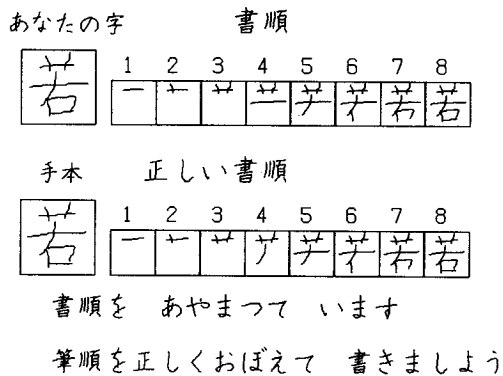


図 3.7 出力表示例

3.2 漢字特徴情報データベース

本節では、手本にする教育漢字の標準字体データベースがもつべき各特徴（動的特徴、マクロな形状特徴、ミクロな内部構造特徴）について述べる。

3.2.1 動的特徴

動的特徴とは書写基礎的技能のうちの筆順、筆圧、運筆速度を指す。これらは文字を時系列データとして取扱う必要がある。筆圧については署名鑑定に利用した研究も報告されているが⁽⁶⁾、センサーの性能に問題があり、本システムの適用については時期尚早であると判断した。運筆速度は容易に測定できるが、手本にするべき速度にはっきりした手本、基準がなく、データベース化は困難である。本システムでは動的特徴として筆順を取り扱う。

タブレットから入力する文字データは2.2.2節で述べたように、時系列な座標系列、ストローク区切りコード、文字終了コードの並びで記述する。標準データベース作成時には文献(7)に示される筆順どおりに手本文字を入力する。オンライン文字認識では各ストロークの形状を分類してコード化する方法がある⁽⁸⁾。標準筆順のデータベース化にあたっては、ストローク・コードの並びで漢字を表現する方法などが考えられるが、各文字のストローク・コードを決める作業量が多くなること、文字によってはストローク・コードを一つだけに分類できないことなどの問題点がある。本システムは対象にする文字種別はわかっているので、文字認識に比べて処理時間は短い。そこで、標準筆順は、必要なときにそのつど時系列文字データから算出することにした。

次節以降に文字の静的な特徴であるマクロな形状特徴、ミクロな内部構造特徴を述べる。

3.2.2 マクロな形状特徴

字くばり（配置）、字形、部分パターンの組み立てをマクロな形状特徴と呼ぶ。

文章中では各文字をバランスよく配置することが大切になる。図3.8に示すように、文章を書くときの文字の大きさと配置を考え、行間、字間に気をつけることを字くばり（配置）として学習する。本システムでは規定の枠目の中に書いた手本の文章を入力し、標準文章データベースとして、文章の書き方の学習のときに利用する。字くばりの特徴量は、各文字の重心位置で表わす。

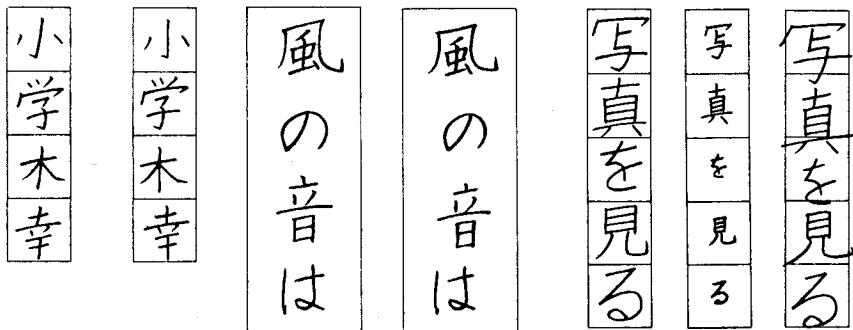


図3.8 字くばり

ひとつひとつの漢字は特有の形(全体像、概形)を形成している。書写学習では、字種により、だいたい四角、縦長、横長、上広、末広、中ぶくれなどの形に整えて書くような指導がされている。美しいと感じる文字は字種特有の形をもっている。図3.9 に示すように、各字種特有の形を字形と呼ぶ。

標準字形データベース化にあたっては、各文字の字形を一意的に決めることは難しく、また字形データを別に持つとデータベース容量が大きくなること、などの理由から標準字形データベースは別個に作らなかった。本システムでは必要ときに、標準字体文字データベースから文字を囲む凸多角形を算出して字形とする。

漢字は、偏、旁、冠などの部分パターンの階層的な組み合わせでできあがっている。同じ形状のストロークを有する漢字でも部分パターンの構成法(組み立て方、相対的位置関係)を誤ると、字の形が歪んでしまう。書写学習では点画の組み立てとして、図3.10に示すような学習をする。

文字認識分野では部分パターンの相対的な位置関係を記号化した漢字の表現法⁽¹⁰⁾、各部分パターンの抽出方法、さらにそれらを用いた認識処理労力の軽減が報告されている⁽¹¹⁾。各部分パターンのデータベース化にあたっては、必ずしも偏、旁などを部分パターンとはしなかった。ここでは、部分パターンを書写学習の観点から決定する。漢字の各部分パターンを構成する基本要素、すなわちストロークの組み合わせを

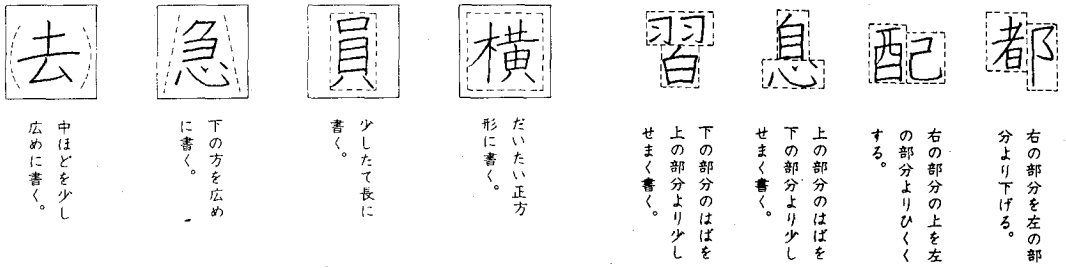


図3.9 字形⁽⁹⁾

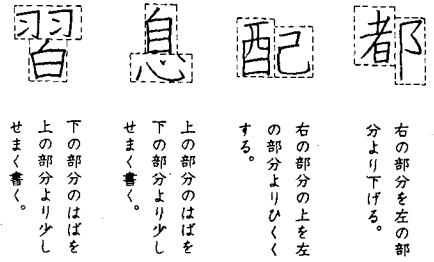
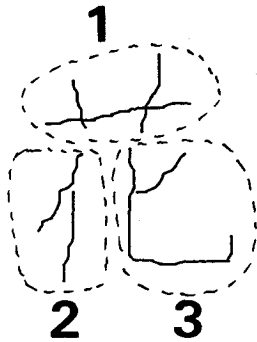


図3.10 点画の組み立て⁽⁹⁾



知識としてデータベースに登録する。例えば図3.11でストローク番号(1~3)、(4~5)、(6~7)の各ストロークで構成する三組を各部分パターンとする。



SUBPATTERN	STROKE NO.
1	1 - 3
2	4 - 5
3	6 - 7

図3.11 部分パターン構成例

図3.11の形式で記述する部分パターンはデータベースに登録しておき、のちに述べる練習文字の部分パターン評価に利用する。

次節では文字の細かな特徴について述べる。

3.2.3 ミクロな内部構造特徴

書写学習では、字の習いはじめの頃には字のおおまかな特徴に注意を払って書くように指導する。学習が進むにしたがって、はね、曲がりなどの点画の細かな形状、交わり方、接し方などの文字の微細な特徴にも注意して書くように指導する。ミクロな内部構造特徴とは、図3.12に示すストロークの局所特徴である送筆時の曲がり、おれ、終筆時のはね、はらい、とめなどの筆づかい、位相特徴としての交わり方、接し方をいう。



図3.12 ミクロな内部構造特徴^{(2), (9)}

タブレット入力による時系列文字データでは送筆時の曲がり、おれの区別は難しい。また、終筆時のはらい、とめは筆圧に関係するもので、本システムでは対象にしなかった。本論文では曲がり、おれは区別せずに、曲がりと一括し、終筆時の特徴としては、はねを取り扱う。

局所特徴、位相特徴の正しい書き方は、ひとつひとつの文字固有のものであり、一般的な法則はない。それぞれの文字の持つ局所特徴、位相特徴をデータベースに登録し、のちに述べる練習文字の評価の判断基準とする。

オンライン文字認識では文字ストローク形状をコード化分類して入力文字の識別をする手法がある^{(8), (12), (13)}。これらのコード化、分類法はストロークの概略的、一般的な形状特徴を表現しようとするもので、はねなどの細かな形状特徴はむしろ余分な修飾情報として取り除こうとする。本システムの目的からは、上記のような入力文字の特異な形状特徴をむしろ積極的に抽出し利用する方が良い。この目的のためには、オンライン文字認識で用いているストローク・コード化法は適しない。ここでは、局所特徴を表現するために、屈折点での曲がり方、はね方に着目し、図3.13に示す屈折点コードを新たに提案する⁽¹⁴⁾。おのおののストロークを特徴点(始点、終点、屈折点)と、それらの特徴点で区切られるセグメントで表わし、データベース化をする。

CODE	EXAMPLE
0	∪ 月子円学水
1	∨ カ分男刀方
2	∟ 長食紙飲帳
3	∖ 紙式代気感
4	∩ 空学室雲家
5	∪ 色花九記光
6	∟ 自口四田中
7	∩ 名今多水子
8	∟ 直画母每医
9	∟ 広台系会育

図3.13 屈折点コード

ひとつひとつのストロークが正しく整い、形よく書かれていても、相互の位置関係が乱れていると整った文字にならない。交わる位置がずれたり、不適切な場所で接したりした文字は読みずらく、ときには読み誤まることにもなる。標準にする正しい交わり方、接し方を表現するために、ストローク位置を図3.14に示す7つの部分にコード化して分類する。

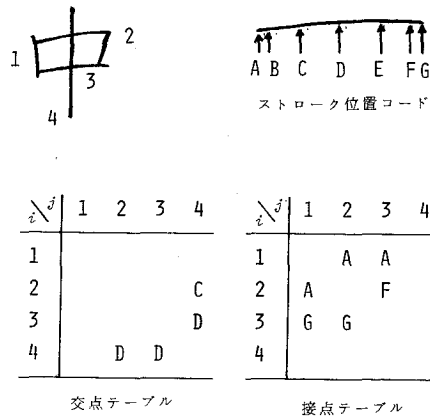


図3.14 ストローク位置コード，位相特徴テーブル例

中点から全長比15%以内の位置を中点(コードD)とする。端点(始点、終点)から全長比5%以内の位置を、おのおのコードA、Gとする。接し方の学習では図3.12に示したように、端点から少しずれたところで接するようにした方が文字が整い、安定する場合がある。このことに対処するために、端点から全長比5%以上、15%以内の位置をおのおのコードB、Fとする。

図3.14中に、ストローク位置コードを使って位相特徴を表わした例を示す。例えば、3番目($i=3$)のストロークは、4番目($j=4$)のストロークの中点(コードD)で交わり、4番目($i=4$)のストロークは2番目($j=2$)のストロークの中点(コードD)と3番目($j=3$)のストロークの中点で交わることを示している。また、1番目のストロークは2番目のストロークの始点と3番目の始点に接する。2番目のストロークは1番目の始点と、3番目の終点より少し手前(コードF)で接する。

本章では、漢字の動的特徴、マクロな形状特徴、ミクロな内部構造特徴の内容を述べ、工学的な評価のための各特徴量記述法を明らかにした。

第4章以降で順次各特徴量の評価法を詳細に述べる。

参 考 文 献

- (1) 文部省：指導計画の作成と書写の指導，大阪書籍(1980-8)。
- (2) 藤原 宏：図説小学校書写授業の実際1．硬筆一、二年，教育出版(1978-3)。
- (3) 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，信学論(D)，J 65-D，PP. 1211-1218(1982-10)。
- (4) 山崎，井口，桜井：美しさを学習できる自立型書写CAIシステム，CAI学会誌，3，2，PP. 11-20(1983-3)。
- (5) 橋本新一郎：文字認識概論，電気通信協会(1982 - 3)
- (6) 植木，千原，井口，桜井：筆圧検出器と署名鑑定への応用，昭52信学総全大，2051(1977)。
- (7) 久米 公：新漢字表による筆順指導総覧，みつる教育図書(1977)。
- (8) 寺井，中田：手書き漢字・片仮名文字のオンライン実時間認識，信学論(D)，56-D，5，PP. 312-319(1973-5)。
- (9) 宮崎 新：新しい書き方 教師用指導書，東京書籍(1982 - 3)
- (10) 安居院，中嶋，長橋：部分パターンの位置関係を利用した漢字の表現法，信学論(D)，J 60-D，12，PP. 1109-1116(1977-12)。
- (11) 木村，裴，吉村，三宅：手書き漢字の部分パターン抽出と認識，信学論(D)，J 64-D，11，PP. 1037-1044(1981-11)。
- (12) 真鍋，青木，木村，中川，高橋：オンライン手書き文字認識システム JOLIS-1 の文字表現について，情報処理学会全国大会予稿集，1B-6，PP. 679-680(1981)。
- (13) 北原，磯道：方向余弦DPマッチングによる手書き「常用漢字」オンライン認識システム，信学論(D)，J 64-D，11，PP. 1013-1020(1981-11)。
- (14) 山崎，井口，桜井：美しさを学習する書き方練習システム，信学総全大，1376(1983-4)。

第4章 筆順評価

書写学習システムと標準字体文字データベースの概要を前章に述べた。第4章以降では、書写の各基礎的スキル項目の評価と利用法を順次明らかにする。本章では筆順の評価法を述べる。

字を書くときの好ましい筆順、標準筆順の成り立ちを4.1節で明確にする。4.2節では、タブレット入力による文字データと標準筆順を比較して、練習文字の筆順を評価する。すなわち、データベース中の手本文字の標準筆順を基準にして、練習文字の筆順を評価する。まず、漢字の各ストロークを近似的に表現する手法を4.3節に示す。ついで4.4節で、練習文字と手本文字のマッチング処理のためのストローク間距離を明らかにする。4.5節で、ストローク間距離マトリックスを使った筆順評価法を述べる。

4.1 標準筆順

筆順は長い年月にわたって多くの人々が文字を書いてきた結果としてできあがったもので、文字を美しく、能率的に書く順序である。整った形の文字を構成するための能率的な手段として、先人の知恵と経験が集積されたものである⁽¹⁾。しかし、必ずこう書かなければならないという厳密な規則はない。行書、草書と書体が変わったり、縦書きか、横書きかということの相異によって、文字によっては幾通りもの書き方をもつようになる。このように、筆順を統一的に標準化することは困難な面を持っている。筆順は書かれた文字の筆跡に陽に表われるものではない。しかし、図4.1に示すように、できあがってくる字体は筆順と深い関係がある。

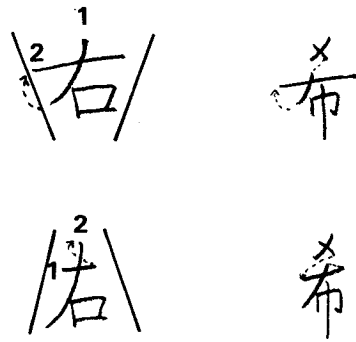


図4.1 筆順の違いによる字体の変化⁽²⁾

字を習いはじめる時期でも、まず正しい筆順で書くことに重点を置いた指導をする。小学生は思いもよらない筆順で字を書いている。図4.2は、筆順の実態調査を示す⁽³⁾。

	口	耳	目	水	川	木	山
誤りの筆順							
%	9 %	41 %	18 %	9 %	0	5 %	9 %
	足	土	校	学	音	犬	手
誤りの筆順							
%	25 %	18 %	48 %	20 %	30 %	2 %	11 %

図4.2 筆順実態調査⁽³⁾

第二次大戦後の一時期に、字体の整理、簡易字体の正字化、毛筆習字の非必修化などの新しい国語、国字政策がつぎつぎと打ち出され、学校教育も大きな変化をした。このような状況下で、筆順指導も一時期混迷した。この混乱期に、文部省の編著として「筆順指導の手びき」（昭33年）が出版され、筆順指導についての指針を与えた。この手びきはその後版を重ね、検定教科書はもとより、各種学習指導資料やワークブックにおける筆順がすべて同書の示す筆順によって扱われるようになった。

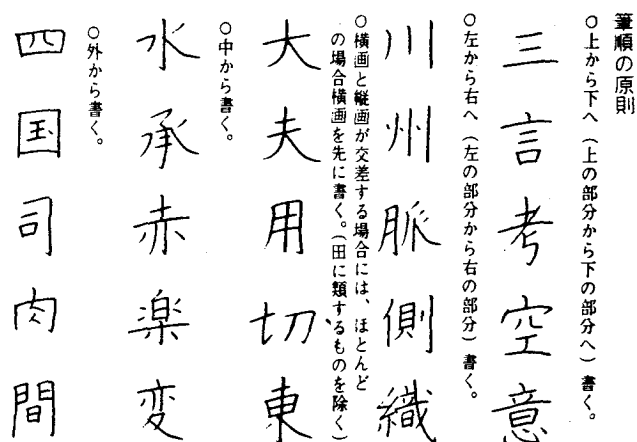


図4.3 筆順の原則例⁽⁴⁾

筆順は個々の文字固有のものであるが、図4.3に示すように共通の原則があるといわれている。文字構成の上で、筆路のむだのなさ、同一構成部分はほぼ同一構成順序で書くという秩序性が見られる⁽⁴⁾。このことに着目し、工学的な手法で筆順を分析した研究も報告されている⁽⁵⁾。前記の筆順原則には工学的な面からみると曖昧な部分もあり、必ずしも原則にのらない例外的な筆順を持つ字種がある。本システムの筆順評価にこれらの筆順原則を採用することは、コンピュータ・アルゴリズムの上からも困難である。

幸い、本システムでの文字データは時系列座標点列であり、ストロークの区切りもはっきりしている。筆順評価に際しては、個々の文字データからそのつど、ストローク・データを抽出することにする。

ところで、図4.4 は実際の教育現場でとられている筆順学習教材の一例である。筆順学習では、個々の生徒の書き方を観察することが必要になる。しかし、多人数の一斉授業形式を主体にする現在の教育では、このような個別学習に対処できるほどの十分な時間のゆとりもない。図4.4 の様な教材では文字の筆順を学ぶためには不自然である。本来の筆順学習は、文字を書きながら学習できる方が望ましい。

本システムでは文字入力をオンラインで計測して筆順を評価しようとするものであり、実際の学習場面に則した筆順学習が実現できる。

次節では、筆順のオンラインによる評価法を述べる。

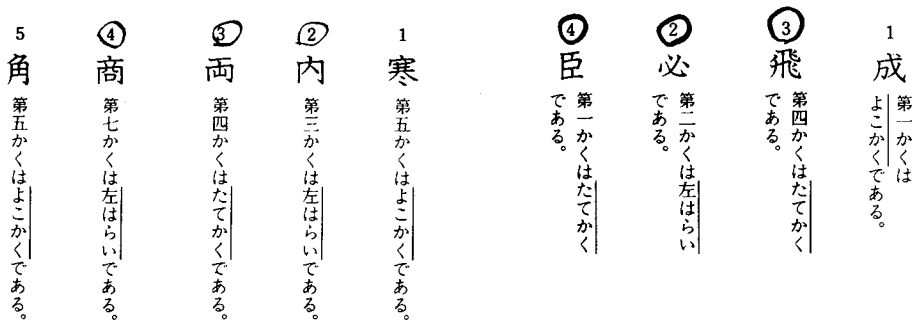


図4.4 筆順学習教材例⁽⁶⁾

4.2 入力文字情報からの筆順情報の抽出

データベース中の標準文字、入力練習文字は2.2.2 節で述べた形式の時系列データ構造をしている。文字データ中にストローク区切りコードがあり、標準文字データからは正しい筆順のストロークを、練習文字データからは任意の順序のストロークを容易に抽出できる。

練習文字の各ストロークを、その向き、形状により分類、コード化したのちに、標準文字のストロークの並びと比較することで筆順を評価することもできる⁽⁷⁾。

オンライン文字認識では、各ストロークを表4.1に示すような11種類の基本ストロークに分類する方法が報告されている⁽⁸⁾。

そこで、以下の手順による筆順評価が可能である。

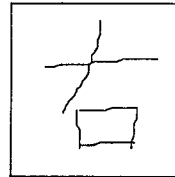
- 1) 標準文字、練習文字それぞれの各ストロークにつき基本ストローク・コードを決定する。
- 2) 筆順を各ストロークの基本ストローク・コードの並びで表わす。
- 3) 標準文字の基本ストローク・コードと異なる並びを持つ練習文字のストロークを誤まった筆順とする。

図4.5に上記の方法による筆順学習例を示す⁽⁷⁾。

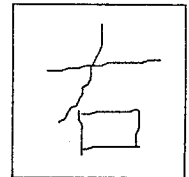
表4.1 基本ストローク・コード⁽⁸⁾

	基本ストローク
1	一
2	丿
3	ノ
4	㇏
5	フ フ
6	乙 Z
7	了 3
8	㇇ ㇇ ㇇
9	㇆
10	㇆
11	㇆

漢字筆順練習



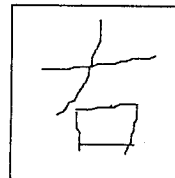
練習文字
筆順
3 1 4 5 1



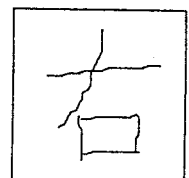
標準文字
筆順
3 1 4 5 1

解答 OK!!

漢字筆順練習



練習文字
筆順
1 3 4 5 1



標準文字
筆順
3 1 4 5 1

解答 STROKE 1 誤

図4.5 筆順学習

ところで、手書き文字では個人差による文字の変形が大きく、各ストロークの向きや形状のばらつきも大きい。本方法では、正しい筆順で書いた文字でも異なった基本ストローク・コードと決定する場合があります、筆順評価も安定しなかった。そこで本システムでは、次節以降に述べる、ストローク間距離を使った筆順評価をする。

4.3 ストロークの点近似による文字の表現

本節ではストローク間マッチングで必要になるストロークの点近似法を述べる。オンライン手書き文字認識では、文字を構成するストロークの概形情報、およびその相対位置などの情報を基にしたマッチング処理により有効な結果を得ている⁽⁹⁾。すなわち、標準パターンと未知パターンの各ストローク間の距離を求め、最小な距離を与える標準パターンのカテゴリーを入力パターンの認識結果とする。ここでは、長さ(データ点数)の異なるストローク間の距離の求め方が問題になる。そのために、漢字ストロークは直線成分が多いことに着目し、各ストロークを数個の点で近似をする。

本システムの筆順評価にも、前記のストローク間距離を利用する。各ストロークの全長(データ数)を n 等分に分割し、得られる分割点をストローク近似点とする。図4.6 に数個の点近似ストロークで表わした例を示す。漢字の場合には、図4.6 からも明らかなように、3~5個の点でストロークを近似しても、字の原形は保存されることがわかる。

オンライン文字認識において、手書き楷書漢字のように、ストロークがほとんど直線成分から成りっている場合には、各ストロークを始点、中点、終点の三つの特徴点で近似して満足する結果を得ている^{(10)~(12)}。本システムでも、筆順評価時のストローク間距離を求めるときは、各ストロークを始点、中点、終点の三点で近似する。

次節にここで述べたストロークの点近似を利用した、ストローク間距離マッチングを述べる。

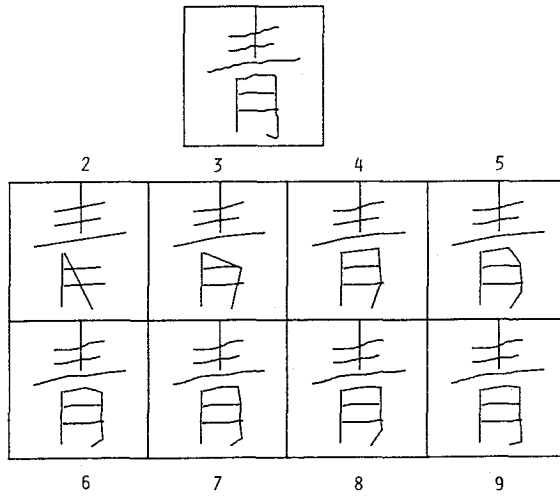


図4.6 点近似による漢字表現例

4.4 ストローク間距離マッチング

入力する練習文字をL、各ストロークを \vec{t}_i 、標準文字をM、各ストロークを \vec{m}_i とする。

$$L (\vec{t}_1, \vec{t}_2, \dots, \vec{t}_i, \dots, \vec{t}_n)$$

$$\vec{t}_i (x_{i1}^l y_{i1}^l, x_{i2}^l y_{i2}^l, \dots, x_{ij}^l y_{ij}^l, \dots, x_{in_i}^l y_{in_i}^l)$$

$(x_{ij}^l y_{ij}^l)$: i ストロークの j 番目のデータ座標値

$i=1, 2, \dots, n$: ストローク番号

$j=1, 2, \dots, n_i$: 第 i ストロークのデータ番号

$$M (\vec{m}_1, \vec{m}_2, \dots, \vec{m}_i, \dots, \vec{m}_n)$$

$$\vec{m}_i (x_{i1}^m y_{i1}^m, x_{i2}^m y_{i2}^m, \dots, x_{ij}^m y_{ij}^m, \dots, x_{in_i}^m y_{in_i}^m)$$

練習文字L、標準文字Mの各ストロークを始点、中点、終点、の三点で近似した文字をそれぞれL'、M'とする。

$$L'(\vec{t}_1, \vec{t}_2, \dots, \vec{t}_i, \dots, \vec{t}_n)$$

$$\vec{t}_i \begin{pmatrix} x_{i1}^{l'} y_{i1}^{l'} & x_{i2}^{l'} y_{i2}^{l'} & x_{i3}^{l'} y_{i3}^{l'} \end{pmatrix}$$

$$M'(\vec{m}_1, \vec{m}_2, \dots, \vec{m}_i, \dots, \vec{m}_n)$$

$$\vec{m}_i \begin{pmatrix} x_{i1}^{m'} y_{i1}^{m'} & x_{i2}^{m'} y_{i2}^{m'} & x_{i3}^{m'} y_{i3}^{m'} \end{pmatrix}$$

三点近似ストロークの各対応点間のユークリッド距離 d_{ij} を練習文字*i*と*j*のストローク間距離とし、次式で求める。

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^3 \{ (x_{ik}^{l'} - x_{jk}^{m'})^2 + (y_{ik}^{l'} - y_{jk}^{m'})^2 \} \right]^{1/2}$$

$$= [(\vec{t}_i - \vec{m}_j)(\vec{t}_i - \vec{m}_j)^T]^{1/2}$$

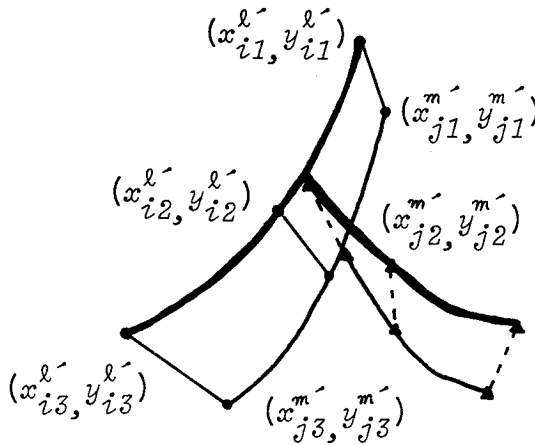


図4.7 ストロークの三点近似によるストローク間距離 d_{ij}

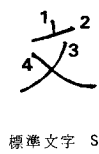
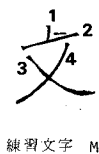
練習文字と、対応する標準文字の各ストローク毎に上記で述べた距離 d_{ij} を求め、 d_{ij} を要素とするストローク間距離マトリックスDを利用して筆順を評価する。詳細は次節に述べる。

4.5 ストローク間距離マトリックスによる筆順評価

ストローク間距離 d_{ij} を要素とするマトリックス D を使って入力文字の筆順評価をする。

筆順評価にあたっては、筆記者固有の書きぐせ、変形などには影響されないことが望ましい。そこで、2.2.4 節で述べた、入力文字の大きさと位置づれ、および形状の歪を吸収するように正規化をする。すなわち大きさと、重心位置を考慮した正規化 1 をする。ついで、各ストロークを三点近似したのちに、各ストロークのユークリッド距離 d_{ij} を要素とするストローク間距離マトリックス D を求める。

例えば、練習文字の i ストロークに対応する標準文字のストロークは、ストローク間距離 d_{ij} の最小値をとるときの j として知ることができる。練習文字の i 番目に入力したストロークの正しい筆順番号は、標準文字の各ストロークに対する距離 d_{ij} ($j=1-N$) のうちで最小値をとる番号 j を正しい筆順番号と判定する。例えば、図 4.8 では、2 番目に書いたストロークは標準文字との距離 d_{2j} ($j=1-4$) のうちの最小値 d_{22} であり、標準文字でも 2 番目のストロークに対応している。3 番目に書いたストロークは標準文字との距離 d_{3j} ($j=1-4$) の最小値 d_{34} で、標準文字の 4 番目のストロークに対応する。練習文字で 3 番目に書いたストロークは正しくは 4 番目に書くべきもので、筆順が誤まっていると判定する。



		標準文字 j			
		1	2	3	4
練習文字 i	1	d_{11}	d_{12}	d_{13}	d_{14}
	2	d_{21}	d_{22}	d_{23}	d_{24}
	3	d_{31}	d_{32}	d_{33}	d_{34}
	4	d_{41}	d_{42}	d_{43}	d_{44}

ストローク間距離マトリックス D

図 4.8 ストローク間距離マトリックス D による筆順評価

ストローク間距離ストリックスDを使った練習文字の筆順評価例を図4.9に示す。
 図4.9の上段は入力練習文字を、下段に標準文字とその筆順を示す。中段に筆順評価
 を示した。この方法により、入力文字の大きさ、形が歪んだ文字も安定して筆順を評
 価できた。実際の適用例を第7章で述べる。

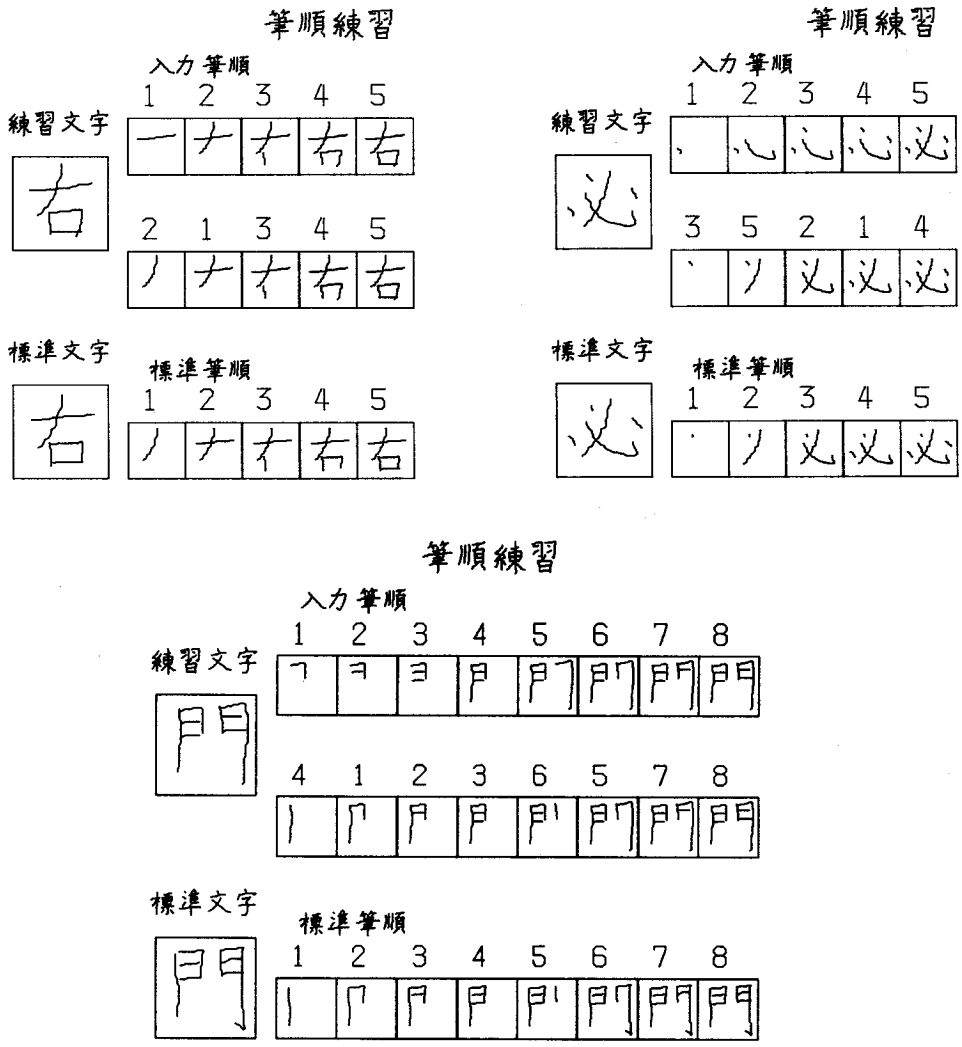


図4.9 筆順評価例

次章ではマクロな形状特徴の評価法を述べる。

参 考 文 献

- (1) 久米 公：新漢字表による筆順指導総覧，みつる教育図書(1977)。
- (2) 山崎，井口，桜井：書写学習のための訓練システムの開発(1)
—教育漢字データベースの作成と応用—，信学技報，E T82 - 2(1982 - 6)。
- (3) 香川県小学校教育研究会 高松支部書写部会：研究紀要，p. 35(1980)。
- (4) 天石東村：硬筆入門，保育社(1977)。
- (5) T.Shimomura：Science of the Stroke Sequence of Kanji, Proc. 8th.
int'l Conf.on Comp. Linguistics, Tokyo (1980 - 8)。
- (6) 硬筆検定用資料(1982)。
- (7) 山崎，井口，桜井：手書き動作の測定とその書写学習への応用，第24回自動
制御連合講演会，3033(1981-11)。
- (8) 寺井，中田：手書き漢字・片仮名文字のオンライン実時間認識，信学論(D)，
56 - D，5，P P. 312 - 319(1973 - 5)。
- (9) 小高，荒川，増田：ストロークの点近似による手書き文字のオンライン認識，
信学論(D)，J 63-D，2，P P. 153-160(1980-2)。
- (10) 小高，若原，増田：筆順に依存しないオンライン手書き文字認識アルゴリズム，
信学論(D)，J 65-D，6，P P. 679-686(1982-6)。
- (11) 若原，小高，梅田：選択的ストローク結合による画数・筆順に依存しないオ
ンライン文字認識，信学論(D)，J 66-D，5，P P. 593-600(1983-5)。
- (12) 小高，若原，橋本：オンライン手書き文字認識装置，信学論(D)，J 65-D，
8，P P. 951-958(1982-8)。

第5章 マクロな形状特徴評価

書写の基礎的技能のうち、文章中での各文字の配置を示す字くばり、文字の全体像である字形、偏、旁(つくり)などの部分パターンの組み立て方をマクロな形状特徴と呼ぶ。文字を習いはじめる時期には、細かなことよりも文字のおおまかな特徴に気をつけて学習することが大切である。このような文字の特徴に着目する書写学習手法が本章の主題となる。

きれいな文字で文章を書くためには、各文字をバランスよく配置することが大切になる。5.1節では字くばりの表わし方と評価法を述べる。字形の表わし方と距離情報による字形評価法を5.2節で明らかにする。部分パターンは各部分の一次のモーメント(重心)で表わす。部分パターンの評価法と、それに基づき字体をきれいに修正する手法を5.3節で述べる。5.4節ではストローク間距離に基づいた各ストローク形状の評価と、ストロークを整える手順を説明する。

5.1 文章の書き方(字くばり)評価

書写学習では、ひとつひとつの文字を正確に整えて書く練習を積んだのちに、字くばりの練習をする。しかし、文章を書く機会は書写学習だけではなく、いろいろな学習で出合う。折りにふれてきれいな文章を書くように心掛け、字くばりにも気を配ることが大切である。

5.1.1 手本文章データベース

字くばりの学習に先だって、手本の文章データベースを作成する。行がそろい、適切な字間をもつ手本文章をそのまま入力する。各文字のデータは時系列で、それぞれの文字毎に文字の区切りコードがある。図5.1は、小学校2年の書写教材手本の文章データベースの一例である⁽¹⁾。

い		え	自	
つ	空	る	分	秋
ば	も		の	の
い	海		足	海
だ	も		音	が
			ま	ん
	青		で	を
	い		も	歩
	色		聞	い
	で		こ	た

図5.1 手本文章データベース例

5.1.2 字くばりの表現法

文章中での各文字のしめる位置(座標系列)を字くばりとし、各文字の重心を文字の位置とする。ここでは、決められた枠目の中へ書くことを想定するので、各々の文字の原点は、枠目毎にとる。

文章を S 、 n 個の文字を含む文章中の各文字を C とする。

$$S (C_1, C_2, \dots C_i, \dots C_n)$$

文字 C_i を表わす特徴点として重心位置 (x_{gi}, y_{gi}) を求める。

文章 S の字くばりを A で表わす。

$$A \{ (x_{g1}, y_{g1}), (x_{g2}, y_{g2}), \dots (x_{gi}, y_{gi}), \dots (x_{gn}, y_{gn}) \}$$

手本文章データベースには文章の原データがそのまま時系列として登録されている。練習文章の評価時には、手本文章と練習文章の字くばり A を算出する。

5.1.3 字くばりの評価と文章つづり方の修正

入力した練習文章の字くばり評価を、手本文章の字くばりと比較して行なう。練習文章の評価時には、練習文章、手本文章 L^S, M^S (それぞれ n 個の文字 L_i, M_i) の字くばり L^A, M^A を求める。練習文章の字くばりは、 L^A と M^A の差 δA の平均

値 δA に基づきて評価する。

$$\delta A = M A - L A$$

$$\delta A = \sum_{ij} \delta a_{ij} \quad \delta a_{ij} \text{ は } \delta A \text{ の要素}$$

字の配置が乱れた文章は δA が大きな値となる。乱れた字くばりを修正するときには、練習文章の文字配置を手本文章に整合させる。図5.2 の左例は入力練習文章で、字くばりを修正した文章を右側に示す。

い		え	自	
つ	空	る	分	秋
ば	も	。	の	の
い	海		足	海
だ	も		音	ガ
。			ま	ん
	書		で	ま
	い		も	歩
	色		聞	い
	で		こ	た

原文章

い		え	自	
つ	空	る	分	秋
ば	も		の	の
い	海		足	海
だ	も		音	ガ
。			ま	ん
	書		で	ま
	い		も	歩
	色		聞	い
	で		こ	た

修正文章

図5.2 練習文章と字くばりの修正

5.2 距離情報による字形評価

本節では文字を囲む凸多角形で字形を表現する方法と、練習文字の字形評価法を述べる。

5.2.1 字形の表現法

書写学習では字種特有の概形を字形といい、各文字の字形を4～5種類程度に分類する。手書き漢字認識分野でも、文字の概形特徴としてストローク密度関数などを使い、識別時の漢字の大分類処理に有効なことが報告されている^{(2)~(4)}。しかし、これらは工学的な特徴量であり、むしろ文字の変形、美しさに依存しないこ

とを目的に考案されたものである。

本システムでは、文字データから自動的に字形を決めていくことをねらいとして、文字データを囲む凸多角形を字形とする^[5]。

まず、文字Cを $N \times N$ 行列で表わされる文字パターン行列 $[K]_{N \times N}$ に変換する。 $([K]_{N \times N}$ の要素を k_{ij} とする)。文字パターンを $n (= N \times N)$ 次元パターン空間ベクトル K で表わすと、

$$K (k_{11}, k_{12}, \dots, k_{1n}, k_{21}, k_{22}, \dots, k_{ij}, \dots, k_{nn})$$

となる。ここでの k_{ij} は、文字筆跡を1、白紙を0とする。文字 $[K]_{N \times N}$ 、 K を囲む凸多角形を求め、内部を1、外部を0としたものを文字Cの字形とし、 $[K']_{N \times N}$ 、 K' で表わす。

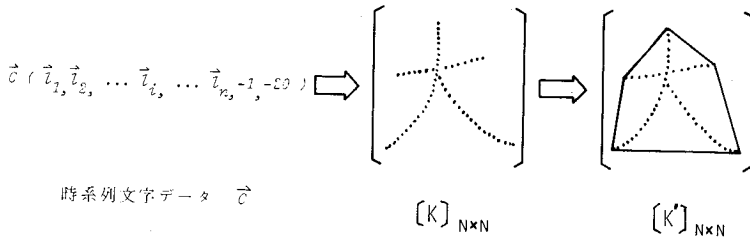


図5.3 字形の表現

次節で外接する凸多角形の求め方を述べる。

5.2.2 外接凸多角形の抽出

文字パターン $[K]_{N \times N}$ の外接する凸多角形の求め方を述べる。行列 $[K]_{N \times N}$ の要素 k_{ij} は、前節で述べたように、1 (筆跡) と0 (白紙) であり、行と列の i, j は文字データの座標点に相当する。図5.4に外接凸多角形抽出の流れを示す。まず、抽出始点とする凸角点 P_1 を求める。 P_1 は文字パターンの要素 k_{ij} が1のうちで j の最小値をもつ点として求める。つぎに、 P_1 を起点にして、極座標系の r, θ を変化させて、反時計廻りに走査し、最初に k_{ij} が1

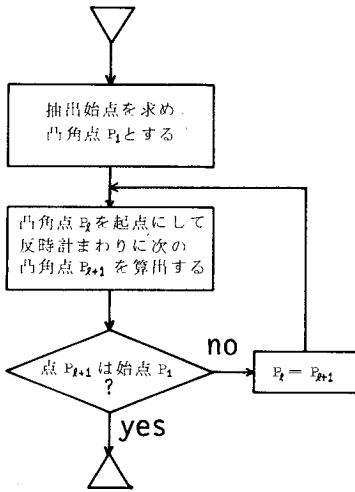


図5.4 文字 $[K]_{N \times N}$ の
外接凸多角形抽出の流れ

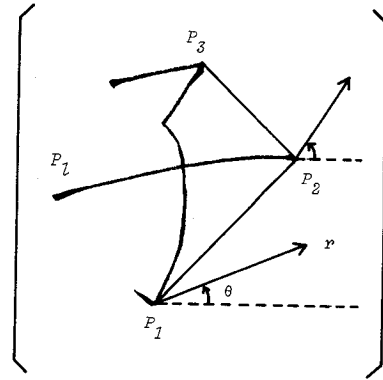


図5.5 外接凸多角形の
凸角点 P_l の抽出

になる点を求めて凸角点 P_2 とする。 P_2 を新たな起点にして、同様な走査を繰り返して、始点 P_1 に出会うまで順次凸角点 P_l を抽出する。

図5.6 に外接凸多角形の抽出例を示す。前節に述べたように、文字パターン行列 $[K]_{N \times N}$ の字形行列 $[K']_{N \times N}$ は、外接凸多角形の内部を1 ($k_{ij}=1$)、外部を0 ($k_{ij}=0$)として決定する。ここで求める字形を使った練習文字の評価法を次節に述べる。

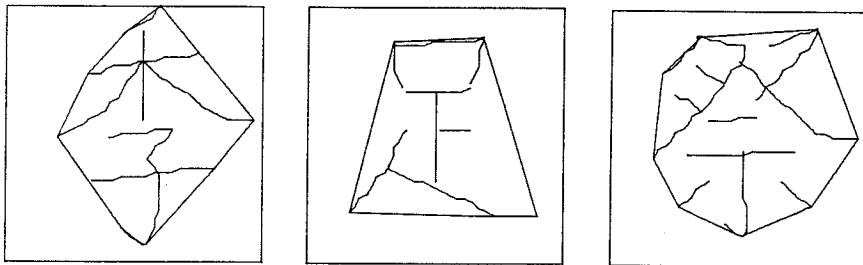


図5.6 外接凸多角形抽出例

5.2.3 入力文字の字形評価

入力する練習文字の字形は、データベース中の標準文字の字形と比較して評価する。練習文字と標準文字の時系列データ L 、 M の各文字パターン行列

$[_L K]_{N \times N}$ 、 $[_M K]_{N \times N}$ ($n (=N \times N)$ 次元パターン空間ベクトルではそれぞれ $_L K$ 、 $_M K$ と表わす) を5.2.1 節で述べたように決定する。 $[_L K]_{N \times N}$ 、 $[_M K]_{N \times N}$ の字形は、外接凸多角形を求めて、それぞれ字形行列 $[_L K']_{N \times N}$ 、 $[_M K']_{N \times N}$ (n 次元ベクトルとしては $_L K'$ 、 $_M K'$) を5.2.2 節のように決定する。

パターン認識の識別過程では、未知パターンと標準パターンの類似性の尺度として、各パターンの性質によりいろいろな量が使われている⁽⁶⁾。ここでの字形評価では、字形類似性の評価尺度として、印刷文字認識のテンプレート・マッチングで利用される相関値による類似度と、距離概念によるものを使用する。

類似度

字形パターン $_L K'$ 、 $_M K'$ に対して類似度 $S(_L K', _M K')$ は、

$$S(_L K', _M K') = (_L K' \cdot _M K') / |_L K'| \cdot |_M K'|$$

で定義する。ここで $(_L K' \cdot _M K')$ は内積で、 $|K'|$ はノルムを示す。

$$(_L K' \cdot _M K') = _L K'^T _M K'$$

$$|_L K'| = \sqrt{(_L K' \cdot _L K')}$$

類似度 S はベクトル $_L K'$ 、 $_M K'$ の狭角の余弦に相当し、 -1 から $+1$ の範囲をとる。その他にも、雑音に対処するための複合類似度、漢字のような類似カテゴリーの多いものに有効な混合類似度などがある⁽⁷⁾。ここでは、上式で示す類似度 S を使用する。練習文字の字形 $_L K'$ と標準文字の字形 $_M K'$ が一致するときは類似度 S が 1 になり、字形が歪むにつれて 1 より小さくなる。

距離

パターン間の類似性(近さ)を測る尺度として、パターン空間に距離を導入する。パターンX、Yの距離 $d(X, Y)$ は次の条件を満足するように定義する。

- (1) $X=Y$ のとき $d(X, Y)=0$
- (2) $d(X, Y)=d(Y, X)$
- (3) $d(X, Y)+d(Y, Z) \geq d(X, Z)$

類似性の評価にあたっては、パターンX、Yの性質により適切な距離を選択することが大切になる。ここでは字形パターン L^k, M^k の距離を字形評価に利用する。以下に代表的な距離を述べる。

- ユークリッド距離 d_y

$$d_y = \{ (L^k - M^k)^T (L^k - M^k) \}^{1/2} = \left[\sum_{ij} (L^k_{ij} - M^k_{ij})^2 \right]^{1/2}$$

- シティ・ブロック距離 d_c

$$d_c = |L^k - M^k| = \sum_{ij} |L^k_{ij} - M^k_{ij}|$$

- ハミング距離 d_h

L^k, M^k がそれぞれ論理パターンのときに定義されるもので、

$$L^k_{ij} \oplus M^k_{ij} = \text{真} \dots (i, j=1, 2, \dots, n), (\oplus \text{は排他的論理和})$$

となる論理パターン L^k, M^k の要素の個数で与えられる。

$$d_h = |L^k \oplus M^k|$$

その他にも、いろいろな距離が利用されている。

字形パターン L^k, M^k の各要素 L^k_{ij}, M^k_{ij} は1か0の値をとるので、ここでの距離による字形評価では、ハミング距離 d_h を使用する⁽⁸⁾。

図5.7 に字形評価例を示す。上段は文字Kと、外接凸多角形を、下段は字形K'を表わす。それぞれの文字の類似度Sとハミング距離 d_h を下段に示す。標準文字

の字形と似た文字は類似度 S は大きく、距離 d_h は小さくなっている。

標準文字	練習文字	練習文字	標準文字	練習文字	練習文字
類似度 S	0.851	0.942	S	0.914	0.697
距離 d_h	563	224	d_h	203	741

図5.7 字形評価例

5.3 一次のモーメントによる部分パターン評価

偏、旁(つくり)などの部分パターンの記述法と評価法を、つづいて評価に基づいた文字をきれいに修正する手法を本節に述べる。

5.3.1 部分パターン・データベース

漢字の部分パターンをストロークの組み合わせとして図3.11の形式でデータベースに登録している。練習文字の部分パターンは、データベース中のストロークの組み合わせを知識として利用して決定する⁽⁵⁾。

5.3.2 部分パターンの表現法

部分パターンは、各要素のストローク群の重心位置で記述する。データベース中の標準文字 M が r 個の部分から構成されているとする。文字 M を r 個の部分パターンで表わす。

$$M (\vec{m}_1, \vec{m}_2, \dots, \vec{m}_p, \dots, \vec{m}_r)$$

$$\vec{m}_p (\vec{s}_q, \vec{s}_{q+1}, \dots, \vec{s}_{q+n_p-1}) : p \text{ 番目の部分パターン}$$

$$p=1, 2, \dots, r : \text{部分パターン番号}$$

$$s_q \dots \dots \dots : q \text{ 番目のストロークデータ}$$

$$n_p \dots \dots \dots : \text{部分パターン } p \text{ の基本要素数}$$

$$(\text{ストローク数})$$

部分パターンの特徴量は各部分パターンの重心 m_p^g で表わす。

$$M^G (m_1^g, m_2^g, \dots, m_p^g, \dots, m_r^g)$$

$$m_p^g : \text{部分パターン } p \text{ の重心位置}$$

練習文字 L の部分パターンを同様にして求める。

$$L^G (l_1^g, l_2^g, \dots, l_p^g, \dots, l_r^g)$$

部分パターンの評価法と、文字をきれいに整える手法を次節で述べる。

5.3.3 部分パターン評価による字体の修正

美しく整った字は適切な部分パターン配置をしている。練習文字を整える一方法として、各部分パターンの重心を標準文字の部分パターン重心に整合する⁽⁹⁾。図5.8で、右側に手本文字、左側に入力した練習文字を示す。各文字中に部分パターンの重心位置を示す数値 P を印字している。真中に練習文字の部分パターンを手本文字に整合して修正した文字を示す。

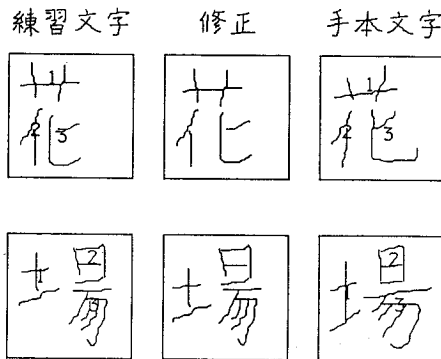


図5.8 部分パターン配置の整合による字体修正例

文字をきれいにするうえでは、部分パターン配置を整合させただけでは不十分である。各ストロークの形状を評価して字体を整える方法を次節で述べる。

5.4 ストローク間距離情報によるストローク形状評価

ひとつひとつのストローク形状を評価して、歪んだストロークを抽出し、文字をきれいに修正する方法を述べる。

5.4.1 ストローク形状評価と字体修正の視点

ストローク形状を分析して、各ストロークの修正を通じた字体修正法を述べる。整った字体は適切な部分パターン配置をしているので、さきに述べたように、練習文字の部分パターン配置を標準文字の配置に合わせる。ついで、ひとつひとつのストローク形状評価のために、練習文字と標準文字のマッチング処理によりストローク間距離を求める。ストローク間距離の大きさに基づいて、歪んでいるストロークを抽出し、修正すべきストロークと判定する⁽⁴⁾。

5.4.2 ストローク間距離評価

ストローク形状評価のためには、各ストロークの細部の形状も分析できるマッピング処理が望ましいので、筆順評価時に使用したストロークの三点近似によるストローク間距離は用いない。

マッピング処理に先だって、正規化処理をする。ここでは、その目的から、正規化によっても形状が保存される必要がある。すなわち、2.2.4 節で述べたように、文字の外接四辺形を求め、縦横のモーメント比を変えないように、大きさを正規化する(正規化2)。

練習文字の i ストロークと標準文字の j ストローク(それぞれ、データ数 n_i, n_j 個)のストローク間距離 d_{ij} を求める。

$$\vec{t}_i (x_{i1}^y_{i1}, x_{i2}^y_{i2}, \dots, x_{ik}^y_{ik}, \dots, x_{in_i}^y_{in_i})$$
$$\vec{m}_j (x_{j1}^y_{j1}, x_{j2}^y_{j2}, \dots, x_{jk}^y_{jk}, \dots, x_{jn_j}^y_{jn_j})$$

ストロークの細かな形状特徴を反映するには、 d_{ij} の計算でも、できるだけもとのストローク・データを使う方が良い。例えば $n_i > n_j$ のときには、 \vec{m}_j ストロークのデータの全てと、 \vec{t}_i ストローク・データを n_j 個で近似したものを使用する。すなわち、 \vec{t}_i ストロークを、データ間隔が等向隔になるように、データ数 n_j で近似する。

$$\vec{t}_i (x_{i1}y_{i1}, x_{i2}y_{i2}, \dots, x_{ik}y_{ik}, \dots, x_{in_j}y_{in_j})$$

d_{ij} は \vec{t}_i と \vec{m}_j データ点列のユークリッド距離として求める。

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^{n_j} \{ (x_{ik} - x_{jk})^2 + (y_{ik} - y_{jk})^2 \} \right]^{1/2}$$

練習文字の筆順は前もって分かっているので、 d_{ij} はそれぞれ対応するストローク間同志についてだけ求める。

$$D (d_1, d_2, \dots, d_k, \dots, d_n)$$

$$d_k = d_{kk}$$

n : ストローク数

5.4.3 ストローク形状評価による字体の修正

ストローク間距離 D を基にして歪んだストロークを判定する。距離 d_k が大きいことは、練習文字の k 番目の筆順に相当するストローク形状が標準文字のストローク形状からずれていることを示す。そこで、距離 d_k を大きい順序に並べる。 d_k の値が大きく変化するところまでのストロークを修正した方が良いと判定する。練習文字で修正するストロークは、対応する標準文字ストロークと置き換える修正をする。

図5.9 に、練習文字の修正例を、部分パターン配置の整合による修正結果とともに示す。左側は入力した練習文字で、真中にまず部分パターンを修正したものを表示する(修正1)。ストロークの修正を真中の文字中で、太いストロークで示し、右側に修正した文字を示す(修正2)。

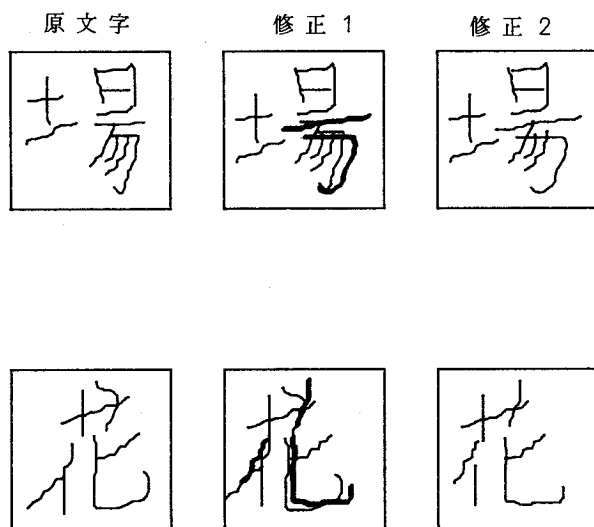


図5.9 ストローク形状評価による字体の修正例

本章では文章中の文字配置(字くばり)、文字の概形(字形)、偏、旁(つくり)などの部分パターンの表わし方と評価法を明らかにし、さらに、ストロークの形状評価を通じた字体修正法を述べた。

次章では文字の細かな特徴に注目し、その評価法と書写学習への適用法を述べる。

参 考 文 献

- (1) 山崎, 井口, 桜井: 手書き文字・文章特徴量評価と書写学習への応用, 第25回自動制御連合講演会, 3065(1982-11).
- (2) 萩田, 梅田, 増田: 三つの概形特徴を用いた手書き漢字の分類, 信学論(D), J 63-D, 12, pp. 1096-1102(1980-12).
- (3) 内藤, 小森, 淀川: 手書き漢字認識のためのストローク密度特徴, 信学論(D), J 64-D, 8, pp. 757-764 (1981-8).
- (4) 内藤, 小森: 手書き漢字を対象としたストローク密度分布による候補選択法, 信学論(D), J 64-D, 8, pp. 765-772(1981-8).
- (5) 山崎, 井口, 桜井: 書写学習のための訓練システムの開発(1)
—教育漢字データベースの作成と応用—, 信学技報, E T82 - 2(1982 - 6).
- (6) 長尾 真: パターン認識と図形処理, 岩波書店(1983-3).
- (7) 中田和男: パターン認識とその応用, コロナ社(1978-3).
- (8) 山崎, 井口, 桜井: 手書き字体教育漢字データベースの作成と書写教育への応用, 電子通信学会総合全国大会, S15 - 7(1982 - 4).
- (9) 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, 信学論(D), J 65 - D, 10, pp. 1211 - 1218(1982 - 10).
- (10) 山崎, 井口, 桜井: 漢字「書き方」訓練システム, システムと制御, 26, 6, pp. 36 - 38(1982 - 6).

第6章 ミクロな内部構造特徴評価

ストロークを書くときの送筆時の曲がり、おれ、終筆時のはね、はらい、とめのような筆づかいに関係する局所特徴、各ストロークの交わり方、接し方などの位相特徴を文字のミクロな内部構造特徴と呼ぶ。書写では学習の進歩につれて、これらの文字の細かな特徴にも注意を払っていくことが大切になる。本章の主題は上記のような文字の細かな特徴に関する書写基礎技能の処理と評価法を明らかにすることにある。

6.1節では書写学習で筆づかいと呼ばれる局所特徴について述べる。ストロークの屈折点抽出手法を明らかにしたのちに、局所特徴評価法を示す。6.2節では位相特徴について述べる。位相特徴の記述法を明らかにし、交点、接点抽出法を示す。ついで、位相特徴評価法を述べる。人間の目視評価に基づいた局所特徴、位相特徴の抽出精度を各節で言及する。

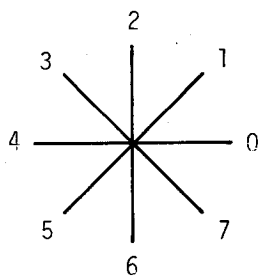
6.1 局所特徴の抽出と評価

文字の各ストロークの曲がり、はねのような、ストロークの細かな形状を局所特徴と呼ぶ。本節では局所特徴の抽出と評価法を明らかにし、書写学習への適用法を述べる。

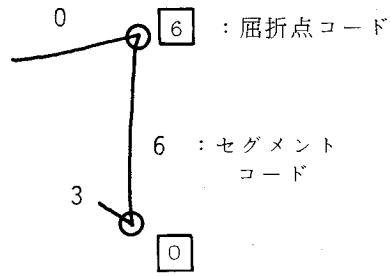
6.1.1 局所特徴データベース

手本にする標準文字の局所特徴はデータベースに登録している。ストロークの特徴点（始点、終点と図3.13で示した屈折点）で区切られるセグメントの集合でストロークを記述し、登録する。セグメントは方向により8つのコードに分類する。図6.1では局所特徴を特徴点とセグメントのコードの並びで記述した例を示す。

これらの特徴情報は、練習文字の筆づかいの評価に際しての手本として利用する。



8方向量子化コード



局所特徴コード

図 6.1 8方向量子化コード・セグメントと屈折点コードによる局所特徴記述例

6.1.2 ストローク屈折点の抽出

入力練習文字のストローク屈折点の抽出法を述べる。はね、曲がりなどの局所特徴はストロークの屈折点として抽出する。入力文字データは時系列な座標点列である。点列データをチェーン・コード⁽¹⁾を使って符号化したのちに、一定数の点列データを直線近似したライン・セグメントの角度変化をもとにして屈折点を抽出する^{(2), (3)}。

ストローク点列データを P とする。

$$P (P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_N)$$

P_i : 座標点

N : 点列数

特徴点は始点 P_1 、終点 P_N と、求めようとする屈折点である。

まず、点列データ P を図 6.1 の 8 方向量子化コードを使ってコード化をしてチェーン・リンク a_j を求め、次のように表わす^{(1), (4)}。

$$\overset{C}{\underset{i=2}{a_i}} = a_2 a_3 a_4 \dots a_j \dots a_N$$

チェーン・リンク a_j はベクトルで、 x 、 y 成分 (a_{jx}, a_{jy}) は $-1, 0, +1$ の値をとる。

$$a_j = a_{jx} \vec{i} + a_{jy} \vec{j}$$

$$a_{jx}, a_{jy} \in (-1, 0, +1)$$

つぎに、点列データでS個離れた点を結ぶライン・セグメント・ベクトル L_j^S を各点毎に求める。図6.2 に $S=4$ のときの点列 P_j 、チェーン・リンク a_j 、ライン・セグメント・ベクトル L_j^S を示す。

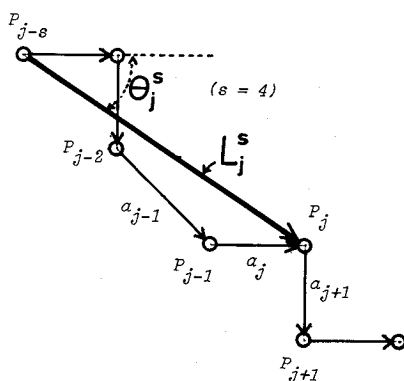


図6.2 ライン・セグメント・ベクトル L_j^S

ライン・セグメント L_j^S は、

$$L_j^S = a_{j-s+1} + a_{j-s+2} + \dots + a_j$$

として、チェーン・リンク a_j のベクトル和で求める。 L_j^S の x、y 成分を (X_j^S, Y_j^S) として、

$$L_j^S = X_j^S \vec{i} + Y_j^S \vec{j}$$

$$X_j^S = \sum_{i=j-s+1}^j a_{ix}, \quad Y_j^S = \sum_{i=j-s+1}^j a_{iy}$$

となる。

L_j^s の向き θ_j^s は、

$$\begin{aligned}\theta_j^s &= \tan^{-1} Y_j^s / X_j^s \quad \dots \quad |X_j^s| \geq |Y_j^s| \\ &= \cot^{-1} X_j^s / Y_j^s \quad \dots \quad |X_j^s| < |Y_j^s|\end{aligned}$$

で求める。 θ_j^s はストロークの向きの変化の様子を示す。例えば、ストロークの曲がり、はねの点では θ_j^s の変化が大きくなる。

θ_j^s の変化分 δ_j^s を

$$\begin{aligned}\delta_j^s &= 2 \left[\frac{(\theta_{j+1}^s - \theta_j^s) + (\theta_j^s - \theta_{j-1}^s)}{2} \right] \\ &= \theta_{j+1}^s - \theta_{j-1}^s\end{aligned}$$

で求める。

隣り合う点 P_j と P_{j+1} のライン・セグメント L_j^s 、 L_{j+1}^s は図6.3 に示すような関係にある。図6.3 から明らかなように、

$$\begin{aligned}L_{j+1}^s &= L_j^s + a_{j+1} - a_{j-s+1} \\ X_{j+1}^s &= X_j^s + a_{j+1,x} - a_{j-s+1,x} \\ Y_{j+1}^s &= Y_j^s + a_{j+1,y} - a_{j-s+1,y}\end{aligned}$$

となる。実際のライン・セグメントの計算にあたっては、上式で示す漸化式を利用して逐次的にライン・セグメントを求める。

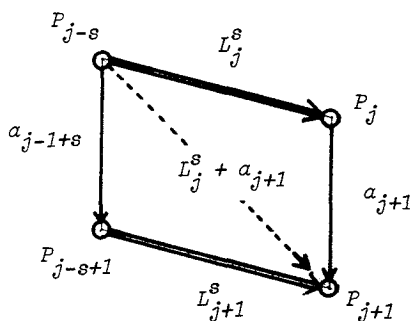


図6.3 L_j^s の逐次計算法

図6.4 に、ストロークの向き θ_j^s とその変化分 δ_j^s を求めた例を示す。 δ_j^s の値がしきい値 δ_{TH} より大きくなる点を屈折点候補 P' とする。

$$P'(P'_1, P'_2, \dots, P'_j, \dots, P'_{N'})$$

$$P'_1 = P_1, \quad P'_{N'} = P_N \quad : \text{始点、終点}$$

$$P'_2, P'_3, \dots, P'_j, \dots, P'_{N'-1} \quad : \text{屈折点候補}$$

図6.4 では、 $\delta_{TH} = 20^\circ$ としたときの屈折点候補を左下のストローク中に示し、各候補点を直線で結んだ様子を示す。

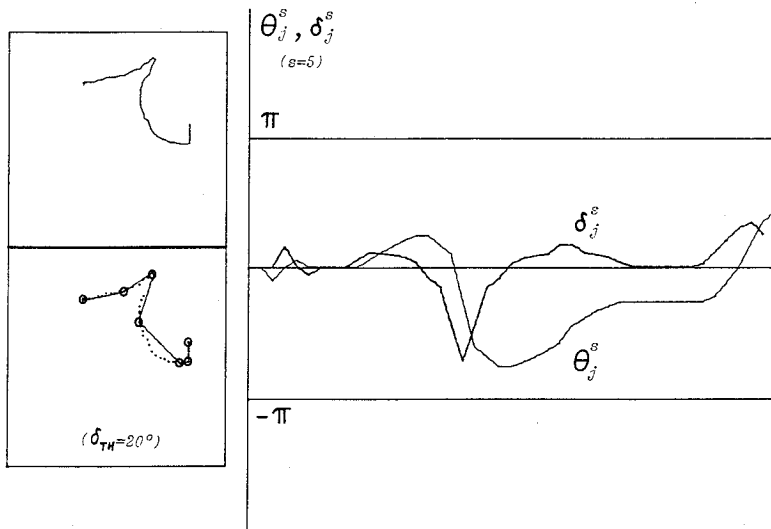


図6.4 ライン・セグメント・ベクトル L_j^s の角度 θ_j^s ，角度変化 δ_j^s

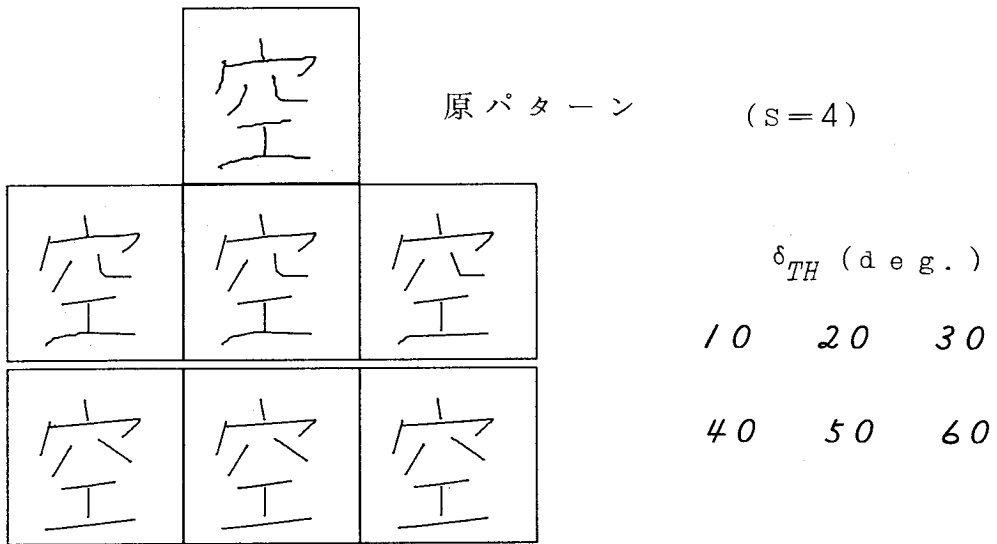


図6.5 しきい値 δ_{TH} の変化によるはね、まがりの検出

図6.5 にしきい値 δ_{TH} を変えたときに抽出する屈折点候補の様子を示す。

ところで、抽出する屈折点候補はライン・セグメントの長さ(Sの値)と、しきい値 δ_{TH} に依存する。 L_j^s は短かいほど(Sの値が小)角度変化 δ_j^s は敏感になるが、雑音のような微小な点列変動をも屈折点として抽出する。一方、 L_j^s が長いと(Sの値が大)雑音に対しては強いが、 δ_j^s が小さくなり屈折点抽出感度が鈍くなる。

そこで、ライン・セグメントの長さ S と屈折点抽出の様子を分析する。実験は、いろいろな長さのストローク(データ数 N)について、 S の値と δ_{TH} の値を変えて、屈折点候補を抽出し、その候補点が屈折点として適切なものかどうかを目視により評価する。図6.6 は、横軸にストローク長(データ数 N)を、縦軸にライン・セグメント長 S をとり、目視評価で適切な屈折点を抽出した範囲を示したものである。この実験からは、屈折点抽出のためのライン・セグメント長としては、 S の値が4のときに良い抽出結果を示すことが明らかになった。また、 δ_{TH} の値は 20° から 30° の範囲が適切であった。

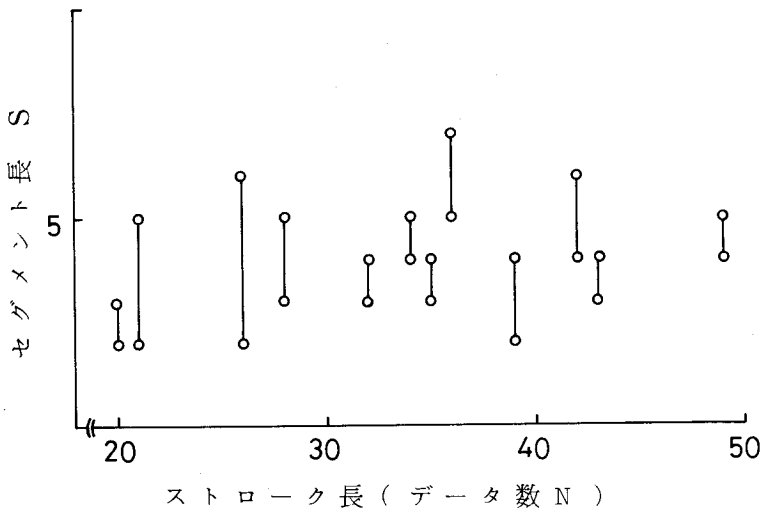


図6.6 屈折点候補抽出時の適切なライン・セグメント長 S

ところで、文献(4)の方法で求める特徴点候補 P^* は図6.4からも明らかなように、目測により望ましいと判定できる屈折点を含んでいるが、不必要な点列データも候補点として抽出する。そこで再度、特徴点候補 P^* について、ライン・セグメント・ベクトル $L_j^*(\overline{P_{j-1}^* P_j^*})$ 、角度変化 δ_j^* を求め、 δ_j^* がしきい値 δ_{TH}^* より大きな点を特徴点と決定する。この方法により、屈折点近傍で抽出された複数の屈折点候補のうち的一点だけを抽出でき、不用な屈折点候補を除くことができる⁽⁵⁾。

図6.7 に屈折点抽出例を示す。図中、*印が抽出した屈折点を示す。図6.7 に示されるように、いろいろな屈折点を安定して抽出できる。はねのようなストロークの終点近傍で屈折点をもつもの(図6.7では聞の字)では、屈折点から終点までのデータ数が少ない場合に、抽出される屈折点の位置が実際の屈折点位置からずれる。このことに関しては次節で詳しく分析する。

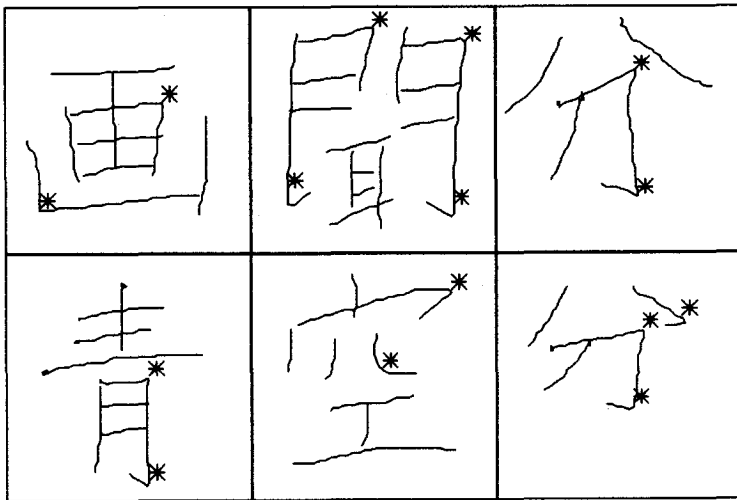


図6.7 屈折点抽出例

6.1.3 局所特徴抽出精度

局所特徴抽出感度はライン・セグメントの角度変化 δ_j^s に依存する。ところが、はねのようなストロークの終点近傍で屈折点をもつときは、 δ_j^s の大きさは終点と屈折点までのデータ点数(長さ)に依存するようになる。そこで、はねの場合の屈折点抽出時の終点までの長さとの向きとの関係を検討する。同時に、10名の評価者による目視評価の検討結果を述べる⁽²⁾。

屈折点から終点に向う角度（時計まわりを正）と、長さ(データ点数N)を変化させたときの局所特徴抽出結果の一例を図6.8に示す。屈折点から終点までの長さが短かく、角度も小さいとき(例えば、図6.8でN=4, $\theta=60^\circ$)には、はねを抽出できない。

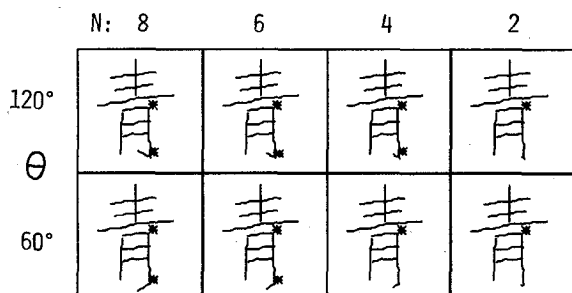


図6.8 局所特徴(はね)抽出精度

本手法によるはね抽出の妥当性を人間の観察評価と比較検討する。いろいろな長さNと角度 θ のはねをもつ文字をランダムに並べて、10名の評価者により、はねと認められる部分をチェックする。実施した目視評価用文字例を図6.9に示す。目視評価では、先入感を与えないために簡単な設問によるオピニオン・テスト形式にしたので、望ましい形状をした屈折点だけを選んだ場合、あるいは形は不適切だが何とか特徴を有していると思なせるものを選んだ場合が混在していた。

歩	表	歩	青	表	青
表	青	表	歩	青	歩
歩	歩	表	青	歩	表
青	表	青	歩	表	青

図6.9 局所特徴目視評価用文字例

はねの角度 θ と長さ N に対するコンピュータと人間のはね抽出能の結果を図6.10に示す。図6.10では、コンピュータが抽出したはねを○印で表わし、人間の観察評価で抽出したはねを△印で表わす。+印は、人間の観察評価ではねを抽出できなかったものを表わす。

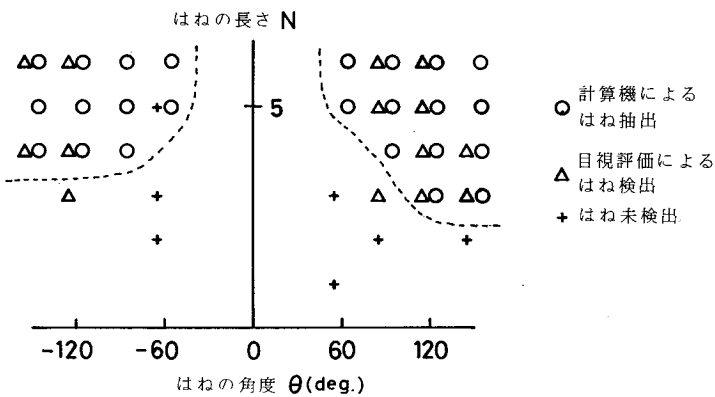


図6.10 局所特徴(はね)抽出能

図6.10では、コンピュータによる抽出結果(○印)と目視評価による抽出結果(△印)はほぼ重なっており、本手法による局所特徴抽出法は人間の評価に近い抽出能を持つといえる。

6.1.4 局所特徴評価と書写学習への適用法

練習文字の各ストロークの局所特徴は6.1.2節で述べた方法で求める。手本の標準文字の局所特徴は標準データベースに知識として登録されているものを利用する。それぞれの局所特徴は6.1.1節で述べたように、特徴点(始点、終点、屈折点)と、特徴点で区切られるセグメントで表わす。

練習文字と標準文字の局所特徴コード系列のマッチング処理により、練習文字中の誤まった屈折点を指摘する⁽⁶⁾。図6.11に練習文字の誤まった屈折点を抽出した例を示す。練習文字の望ましくない局所特徴としては、必要でない屈折点をもつものと、屈折点が欠けているもの、の二通りの場合が抽出される。

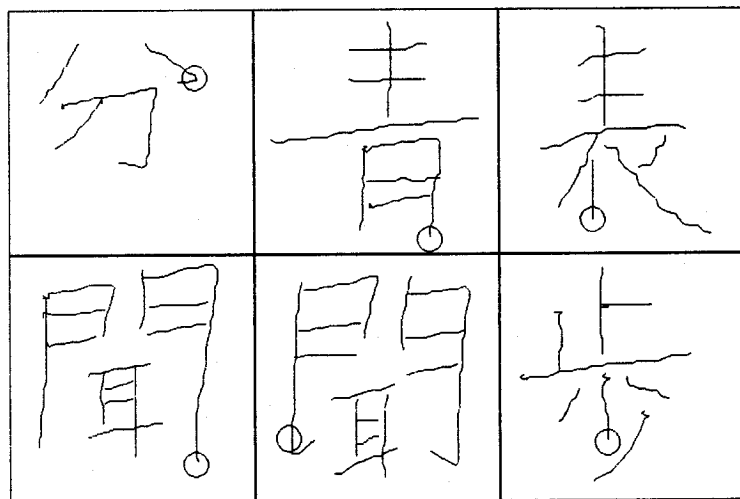


図6.11 望ましくない局所特徴抽出例

図6.12に練習文字の異常な屈折点を指摘した例(図の上段右端)を示す。図で上段左側は入力した練習文字である。中央に、練習文字と標準文字のすべての屈折点を抽出したのちに、標準文字の局所特徴テーブルとのマッチング処理により練習文字中にある望ましくない屈折点を検出して、右側に*印で表示する。

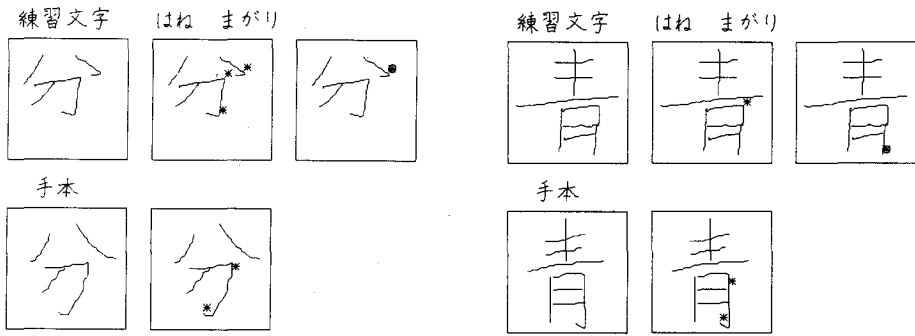


図6.12 局所特徴学習例

文字の細かな特徴に注意を払った書写学習では各々のストロークの細かな形状を分析するだけでは不十分である。各ストロークの交わり方、接し方など、文字の位相特徴の求め方と書写学習へ適用する方法を次節で述べる。

6.2 位相特徴の抽出と評価

文字の各ストロークの交わり方、接し方のような文字のトポロジカルな特徴を位相特徴と呼ぶ。本節では、位相特徴の抽出と評価法を明らかにし、書写学習への適用法を述べる。

6.2.1 位相特徴データベース

文字の各ストロークの正しい交わり方、接し方の位相特徴は図3.14の様式でデータベースに登録する。ストローク上の交わる位置、または接する位置を7つの部分にコード化をして、位相特徴テーブルで記述する。練習文字の位相特徴評価に際しては、データベース中の標準位相特徴を基準とする。

6.2.2 ストロークの直線近似による交点抽出

ストローク間の交点は、各ストロークの隣り合うデータ点を結ぶ直線の交点として求めることができる。しかし、すべてのデータ点につき総当たり処理をするには時間がかかり実用的でない。ここでは漢字のストロークは直線成分が多い特長を利用する。

まず、おのおののストロークを4等分に分割して4本の直線(ライン・セグメ

ント) で近似する。分割した各直線同志がその領域内で交わるときにその点を交点候補とする。ついで、データ点列のうちで交点候補に最も近い点を求めて交点と決定する⁽²⁾。図6.13に交点抽出法を示す。

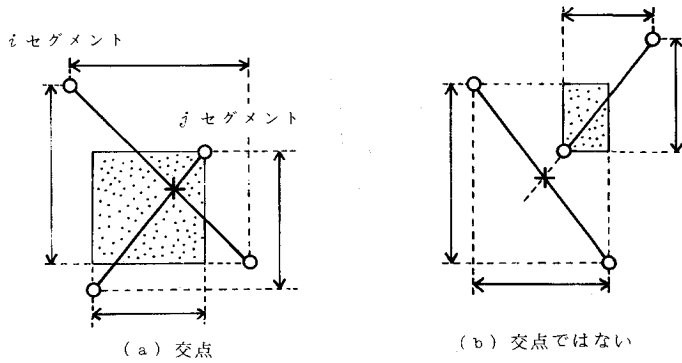


図6.13 直線近似による交点抽出

例えば、図6.13の i と j セグメントの交点を求めるとする。2直線の交点は直線の延長線も含めると、平行なとき以外はすべての場合に交点をもつ。 i, j セグメントの x, y 座標成分の共通部分(図中で点部分)に求めた交点候補があるときは i, j セグメントは交点をもつ(図で(a))。それ以外のときは交点でない(図で(b))。

i, j 番目のストロークを \vec{l}_i, \vec{l}_j とする。

$$\vec{l}_i (P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{ik}, \dots, P_{in_i})$$

$$\vec{l}_j (P_{j1}, P_{j2}, \dots, P_{jk}, \dots, P_{jn_j})$$

ストロークを4分割し、分割点を結ぶ直線(ライン・セグメント) i^{S_l}, j^{S_l} ($l = 1, 2, 3, 4$) を求める。ライン・セグメント i^{S_l}, j^{S_l} がその領域上で交点をもつとき、その点を交点候補 $ij^{P'_c}$ とする。ついで、 l_i, l_j のデータ点 P_{jk} のうちで交点候補 $ij^{P'_c}$ に最も距離の近い点 P_{ik}, P_{jk} を求める。 i, j ストロークの交点位置 ij^{P_c} は次式で決定する。

$$ij^{P_c} = (i^{P'_k} + j^{P'_k}) / 2$$

このとき、点 $iP_k^{\prime\prime}, jP_k^{\prime\prime}$ がストロークの端点近傍（始点、終点からデータ点数2以内）のときは、その点は接点とする方が見た目にも妥当であるので交点とはしない。図6.14に交点抽出例を示す。

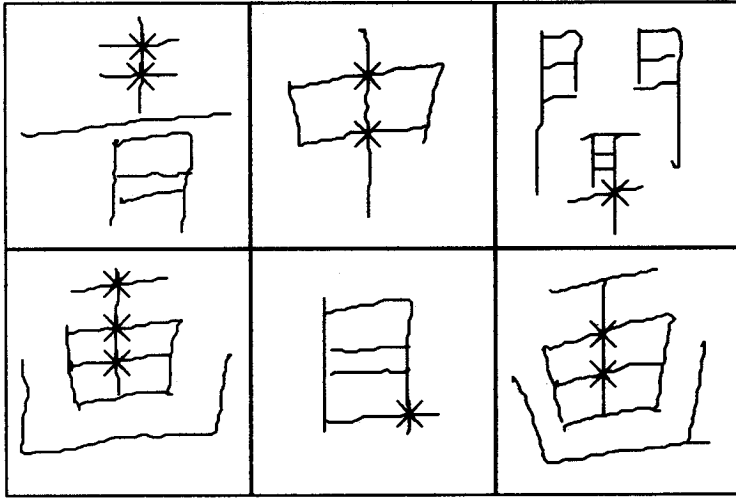


図6.14 交点抽出例

6.2.3 端点距離情報による接点抽出

ストロークが接するときには、どちらかのストロークは必ず端点（始点、終点）で接する。ここでは、 i ストロークの端点（始点 P_{i1} 、または終点 P_{in_i} ）が j ストロークに接する場合を想定する。例えば図6.15で、 i ストロークの端点（始点 P_{i1} 、終点 P_{in_i} ）座標から、 j ストロークの点 P_{jk} 座標値までの距離 d_k ($k=1, 2, \dots, n_j$) を求める。距離 d_k の最小値 $\min d_k$ がしきい値 d_{TH} 以内のとき、 i ストロークの端点は j ストロークの点 P_{jk} で接すると判定する⁽²⁾。

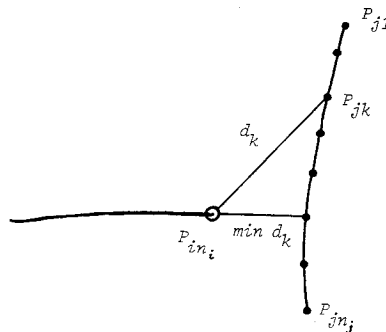


図6.15 接点抽出

6.2.4 位相特徴抽出精度

接点、交点の位相特徴抽出では端点から注目点までの長さが重要な判定基準になる。そこで、位相特徴抽出時の接点から端点までの長さとして抽出能の関係を検討する。同時に並行して実施した10名の評価者による目視評価結果を述べる⁽²⁾。

本来接するべきストロークの長さを変化させて、接点、交点に関する位相特徴抽出能を検討する。例えば図6.16では、注目するストローク(第7画目)を、接するべき点から長さNだけ伸縮する。(ストローク長を伸ばすときNの値が正)。交点として抽出する場合(+印)と、接点とは判定されなかった場合(*印)を図6.16に示した。

N = 1	2	3	4
N = -4	-3	-2	-1

図6.16 位相特徴抽出精度

本手法による位相特徴抽出の妥当性を、10名の人間による観察評価と比較して検討する。図6.17は目視評価用の文字例である。目視評価では交わり方として不自然と感じる部分をチェックしてもらう方式をとった。

空	目	空	画	空	目
目	画	画	目	画	空
空	画	目	空	目	画
画	目	空	目	画	空

図6.17 位相特徴目視評価用文字例

接するべき点からストロークを伸縮する値Nに対する位相特徴抽出能の関係を図6.18に示す。図6.18では、コンピュータによる抽出能を実線(接点抽出)と1点鎖線(交点抽出)で表わし、人間の観察による抽出能を点線(接点抽出)と2点鎖線(交点抽出)で表わす。

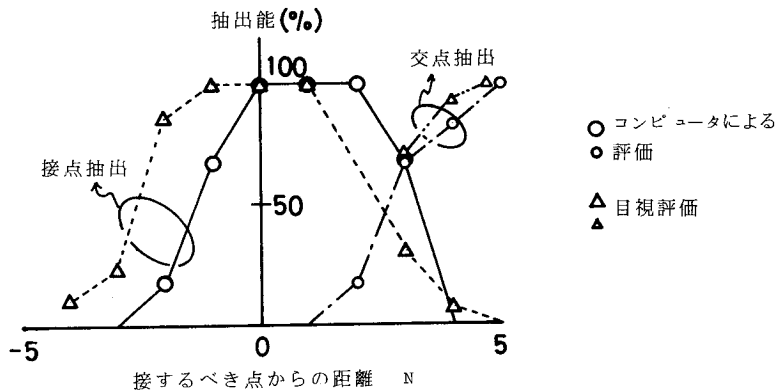


図6.18 位相特徴抽出能

接すべき点から長さ2以内(データ入力時の最小分解能が1)の領域は接点とし、それより長い場合には交点と抽出することが明らかになった、また、図6.18か

ら明らかなように、本手法による位相特徴抽出能は、ほぼ人間の評価に近い能力を持つといえる。

6.2.5 位相特徴評価と書写学習への適用法

練習文字の位相特徴は6.2.2 節、6.2.3 節で述べた方法により求める。手本にする位相特徴は、データベース中に登録したものを知識として利用する。それぞれの位相特徴は図3.14に示す様式でテーブルにして求める。

練習文字と標準文字の位相特徴テーブルのマッチング処理により、練習文字中の異常な交わり方、接し方を指摘する。図6.19は好ましくない交わり方、接し方をした入力練習文字例を示す。交わり方では、交わってはいけない点と、交わるべき点の2通りの場合を指摘する。接し方では、接した方が良い所が接していない点と、接してはいるが、接し方が手本と異なるものを指摘する。

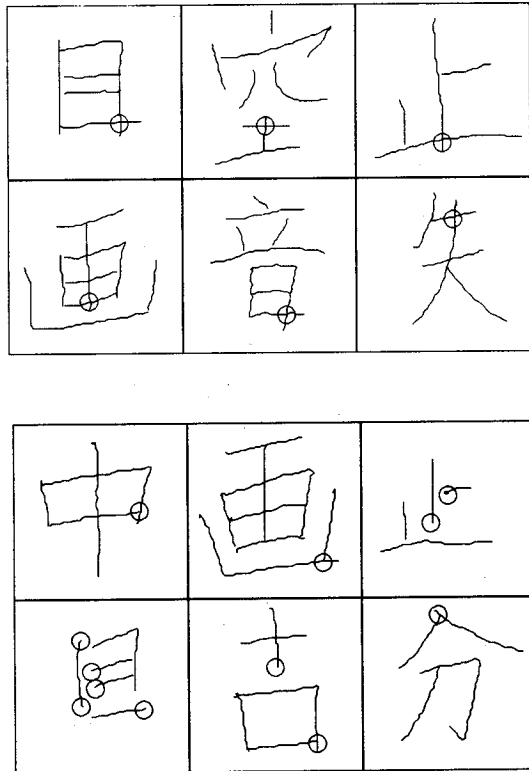


図6.19 望ましくない位相特徴（交わり方、接し方）抽出例

図6.20、6.21に位相特徴の実際の学習例を示す。図6.20は、交わり方の学習例で、交わってはいけない点が☆印で指摘される。図6.21は、接し方の学習例で、接し方が手本と異なった点が◇印で指摘される。

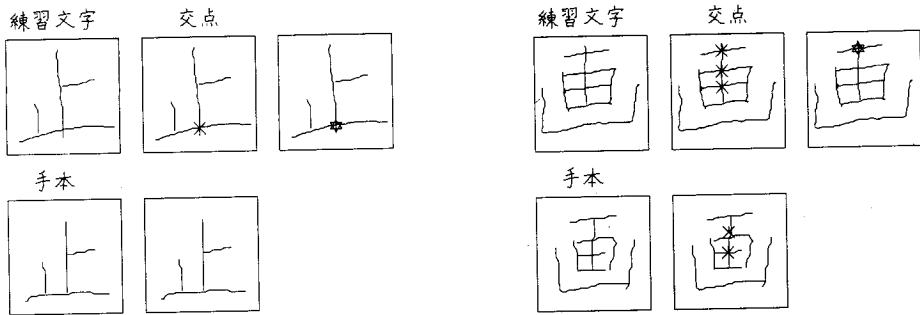


図6.20 交わり方学習例

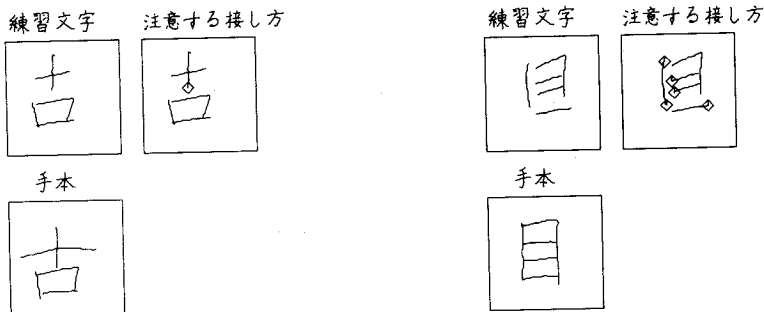


図6.21 接し方学習例

本章では、文字のマイクロな内部構造特徴の評価法と書写学習へ適用する手法を明らかにした。書写学習で筆づかいとして学習する、ストロークの曲がり、はねのようなストロークの局所特徴の求め方と評価法を述べた。また、各ストロークの接し方、交わり方の位相特徴の求め方と評価法を明らかにし、それらを基にして、書写学習への適用法を示した。次章では、これまでに述べてきた個々の手法を使った書写CAIシステムの実例を述べる。

参 考 文 献

- (1) 坂井利之：文字・図形の認識機械，共立出版(1967-2)。
- (2) 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，信学論(D)，掲載予定(1984 - 4)。
- (3) 山崎，井口，桜井：手書き文字・文章特徴量評価と書写学習への応用，第25回自動制御連合講演会，3065(1982 - 11)。
- (4) H.Freeman, L.Davis: A Corner - Finding Algorithm for Chain - Coded Curves, IEEE Trans.Comput., C - 26, pp.297 - 303(1977)。
- (5) 山崎，井口，桜井：美しさを学習する書き方練習システム，電子通信学会総合全国大会，1376(1983 - 4)。
- (6) 山崎，井口，桜井：文字認識手法の書写学習への応用，信学技報，パターン認識と学習，P R L 83 - 36(1983 - 10)。

第7章 美しい字を書くための書写CAIシステム

書写学習では、整った字を書くために、書写の基礎的技能を系統的に学習する。前章までに、これらの基礎的技能を文字の特徴との関連で分析し、コンピュータによる処理、評価方法を明らかにした。本章では、基礎的技能に基づいた書写学習適用結果を中心に述べる。

筆順の練習手法と学習例を7.1節に示す。文章の書き方学習を字くばりの学習として7.2節に述べる。字形の学習例を7.3節で示し、7.4節では部分の組み立て方の学習法を述べる。文字をきれいに添削する学習例を7.5節に示す。7.6節と7.7節で文字の細かな部分(筆づかい、点・画の交わり方、接し方)の書き方学習例を示す。最後に、本手法の妥当性を書写学習の視点から分析した結果を7.8節で述べる。

7.1 筆順学習

整った字を書くためには、正しい筆順で書くことが最も大切になる。筆順は経験的な積み重ねで決まってきたもので、厳密な規則によって決まるものではない。4.1節で、筆順の持つ特長、実際の書写学習での実態を述べ、さらに、一斉授業で行なわれている筆順学習の方法を示した。

筆順のような動的な特徴量を取り扱う場合には、個々の生徒の筆記過程を観測する必要があるので、多人数一斉授業での筆順学習は難しい面がある。本システムの入力部は、オンラインで筆記過程を計測できる。入力した練習文字の筆順は4.5節で述べた方法で評価をして、すぐに誤まった筆順を指摘できる。すなわち、実際に教師が文字を書いている筆跡を観察しながら誤りを正すのに近い感覚で筆順を学習することができる。

本節では、上にのべたような特長を生かした、実際の筆順学習の例を述べる⁽¹⁾。よく似た筆順を持つ文字があることは経験的に知られている。筆順練習用の教材

作成にあたっては、類似の筆順をもつ文字群をまとめて練習できるように配慮する。図7.1 に、類似の筆順をもつ文字群を、図7.2 に筆順を誤りやすい文字群をまとめて、筆順学習用として作成した教材例を示す。

1	右	有	希	若	布	成
2	左	友	在	坂	石	度
3	快	情	性	慣	小	少
4	収	状	版	将	指	持
5	集	進	準	雑	推	勧
6	万	方	別	放	旅	訪
7	女	安	始	姉	委	妹
8	門	問	間	聞	開	関
9	長	帳	張	馬	駿	表
10	臣	館	官	師	臨	蔵

注意する筆順

飛	械	断	善	衆
衛	興	卯	郵	劇
医	必	発	区	独
様	心	可	母	毎

図7.1 似た筆順をもつ文字群

図7.2 筆順を誤りやすい文字群

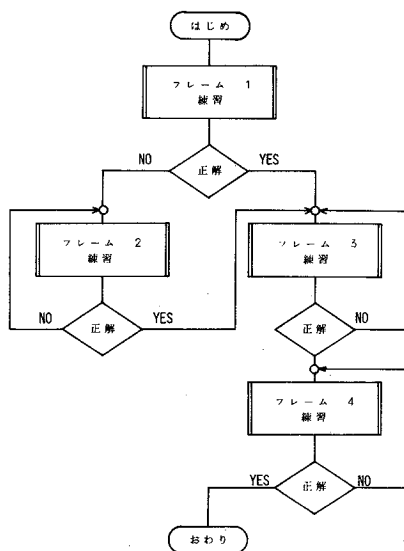


図7.3 筆順学習用コースウェア

図7.1,7.2 の教材を使った筆順学習用コースウェアの例を図7.3 に示す。まず図7.1 の各文字群のうちで代表的な文字の筆順をフレーム1で学習する。フレーム1の学習で筆順を誤まったときは、同じ文字群について更に筆順練習をフレーム2でする。ついで、小学生が筆順を誤り易い文字群について、フレーム3で練習する。最後に任意の文字群についての総合的な筆順練習をフレーム4で行なう。

図7.4 に筆順学習をディスプレイに表示した例を示す。上段に入力した練習文字、下段に標準筆順を示す。実際には、ディスプレイ上で文字を書く程度の速さで筆跡を動的に表示する。また、カラー・ディスプレイを用いて、誤まった筆順のストロークを色表示するなど、矯正情報をわかりやすく出力する等の工夫をこらし、対話型としての機能を高めている⁽²⁾。

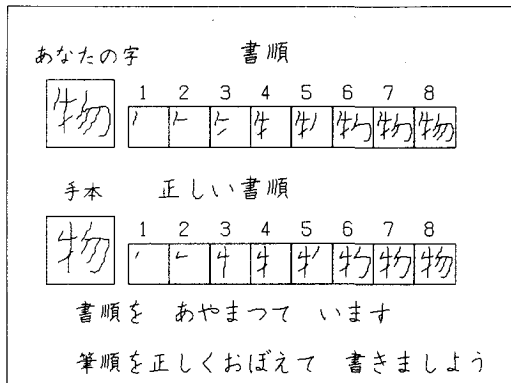
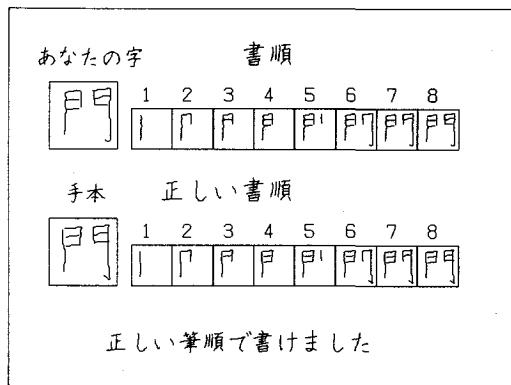


図7.4 筆順練習表示例

7.2 字くばりの学習

文章を整えてきれいに書くためには、ひとつひとつの文字をバランス良く配置しなければならない。本節ではこのような字くばりの学習例を述べる⁽³⁾。ここでは小学校2年生用の硬筆検定での課題文章を例題とする⁽⁴⁾。手本は図5.1に示すもので、データベース中にある。図7.5 は実際に生徒の書いた文章の一例である。

い		え	自		い		え	自		い		え	自	
つ	空	る	分	秋	つ	空	る	分	秋	つ	空	る	分	秋
ば	も		の	の	ば	も		の	の	ば	も		の	の
い	海		足	海	い	海		足	海	い	海		足	海
だ	も		音	が	だ	も		音	が	だ	も		音	が
			ま	ん				ま	ん				ま	ん
	青		て	を		青		て	を		青		て	を
	い		も	歩		い		も	歩		い		も	歩
	色		聞	い		色		聞	い		色		聞	い
	で		こ	た		で		こ	た		で		こ	た

図7.5 練習文章例

字くばりは各文字の重心位置を目安として5.1節で述べた方法で表わす。練習文章は文字配置を手本文章に整合して修正をする。

字くばりと文章中の各文字の字形の関係を分析する。評価した文章例は20文章で、うち10例は硬筆検定に合格したもので、残りの10例は合否不明である。

各文章毎に字くばり L^A と標準文章との差異 δA を5.1.3節の方法で求める。文章中のひとつひとつの文字の字形 L^K を5.2.1節の方法で求め、標準文字中の文字との一致の度合いを5.2.3節のハミング距離 d_h で求める。練習文章の字形は、各々の文字の字形 d_h の平均値とする。図7.6 に文章の各文字の字形評価の一例を示す。

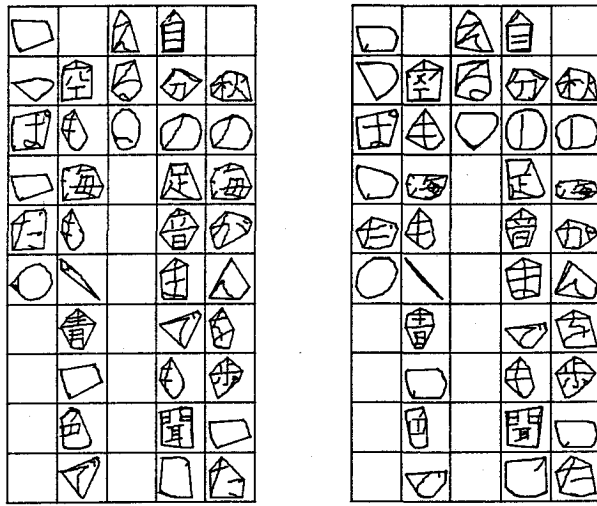


図7.6 文章字形評価例

図7.7 に評価結果を示す。○印は硬筆検定合格資料10例で、×印は合否不明のもの10例である。字くばりの乱れ δA が大きいもの(横軸正の値)は字形も乱れている(縦軸正の値)ことがわかる。また、検定合格資料は、字くばり、字形とも乱れが少ない傾向にある⁽³⁾。

ひとつひとつの文字の書き方学習を次節以降に順次述べる。

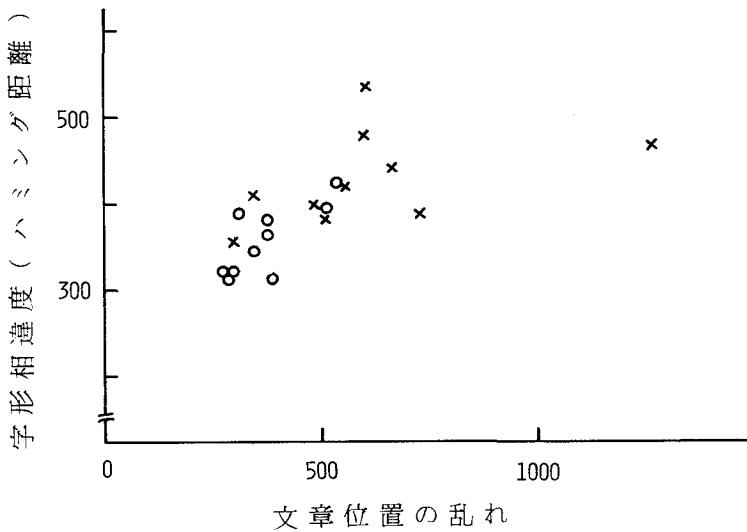


図7.7 字くばり-字形相違度

7.3 字形学習

前節で文章の書き方学習例を述べた。本節ではひとつひとつの字を整えて書くための学習例を述べる。まず、マクロな形状特徴の一つである字形の学習を述べる⁽⁵⁾。

整った文字は字種特有のバランスのよい全体像を形成する。5.2.1 節で述べたように、文字の字形は文字を囲む凸多角形で定義する。練習文字の字形が適切かどうかは標準文字の字形と比較して行なう。字形評価の尺度として、ハミング距離を使って字形を判定した例を図7.8 に示す。練習文字の字形が標準文字の字形と大きくずれるときには、ハミング距離が大きくなり、練習文字の字形を不適切であると判定する。図7.8 で左側に練習文字を、右側に標準文字を示す。下段に字形を示す。字形評価の妥当性はのちの7.8 節に述べる。次節では、部分パターンの組み立て方の学習例を述べる。

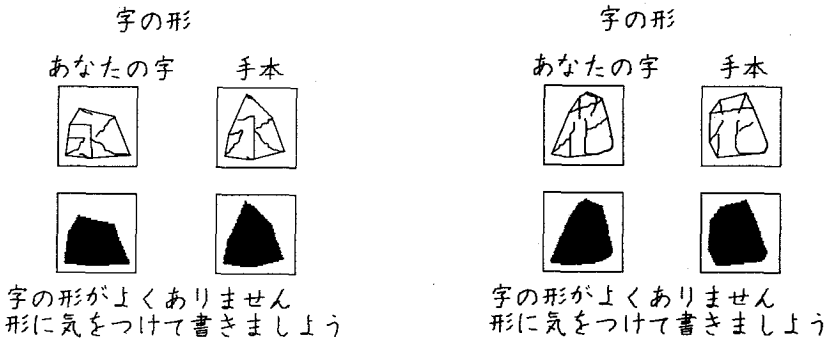


図7.8 字形評価学習例

7.4 部分パターンの組み立て方の学習

偏、旁などの部分パターンの組み立て方学習例を本節で述べる⁽⁶⁾。ひとつひとつのストロークが形よく書かれていても、偏、旁などの部分パターンがバランスよく配置されていないと、文字は乱れてみえる。部分パターンをストロークの組み合わせで構成する。各文字の部分パターンの組み合わせは図3.11の様式でデータベー

ースに登録している。5.2.3 節で示すように、部分パターンのストローク群の重心位置で部分パターンを表わす。練習文字と標準文字の各部分パターン特徴を比較して字体を修正する。

図7.9 は部分パターンに着目した字体の修正例である。左側に入力した練習文字を、右側には標準文字を表示する。各文字の部分パターンは文字中に数値で示す。文字によっては、部分パターン位置を変えるだけで文字がきれいに整う場合もあるが、各々のストローク形状の歪を整えることも大切である。

次節では、各ストロークの形状評価を基にした字体の修正学習例を述べる。

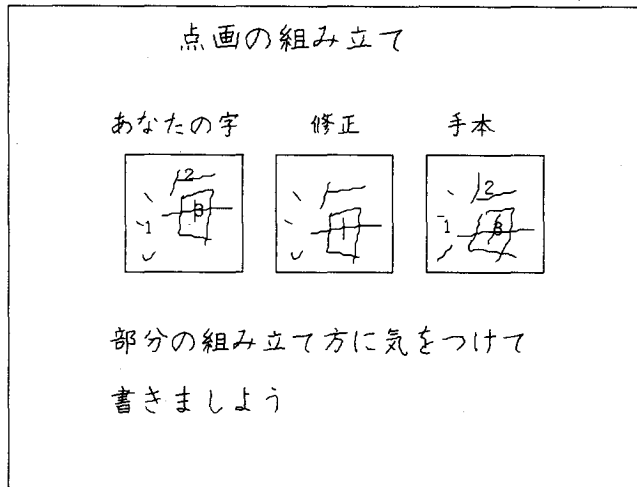


図7.9 部分パターン組み立て方学習例

7.5 字体修正

入力練習文字をきれいに整える学習例を述べる^[7]。練習文字をきれいに修正するには、さきに述べた部分パターン配置の修正だけでは不十分である。各々のストローク形状評価に基づいた字体修正法を5.4.1 節で明らかにした。ここではそれらの学習事例を述べる。

ストローク形状修正は、ストローク間距離により歪んだストロークを抽出し、手本の文字ストロークと置き換える操作による。図7.10に字体修正学習例を示す。

これらの学習では、カラー・ディスプレイで、修正するストロークを色表示するなどの工夫をされており、実際の書写学習の感覚に近いものにした。

各ストロークのさらに細かな形状の学習例を次節に述べる。

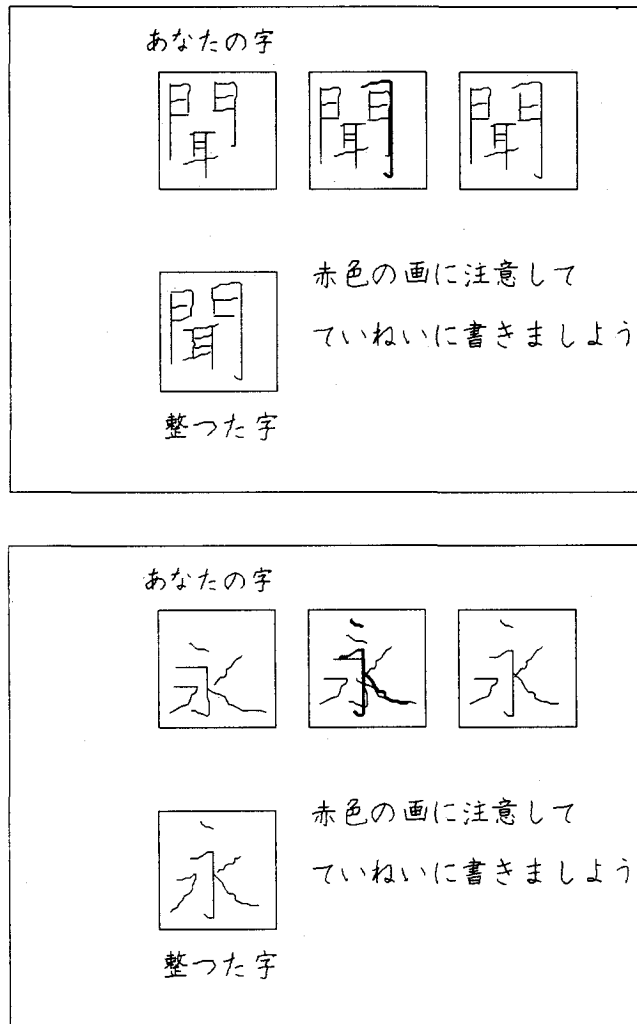


図7.10 字体修正表示例

7.6 筆づかいの学習

ストロークの細かな形状特徴の学習例を本節で述べる⁽⁸⁾。書写学習では送筆時の曲がり、おれ、終筆時のはね、払い、とめ等の点・画の書き方を筆づかいとして

学習する。本システムでは、筆づかいを文字のミクロな内部構造特徴のうちのストローク局所特徴としてとらえる。6.1.2 節でストローク屈折点として局所特徴を抽出する手法を述べた。さらに局所特徴抽出法は人間の目から見ても妥当なものであることを6.1.3 節で明らかにし、書写学習への適用例を6.1.4 節に示した。

図7.11に、筆づかいの学習例を示す。筆づかいの学習では、はねるべきところにはねがない場合、あるいは、はねてはいけないところをはねた場合に○印で注意を促す表示が出る。上段の右側には不適切な屈折点をもつストロークを標準文字の対応するストロークと置き換えることで練習文字の字体を修正したものを表示する。

次節では、ストロークの細かな特徴の一つである位相特徴の学習例を述べる。

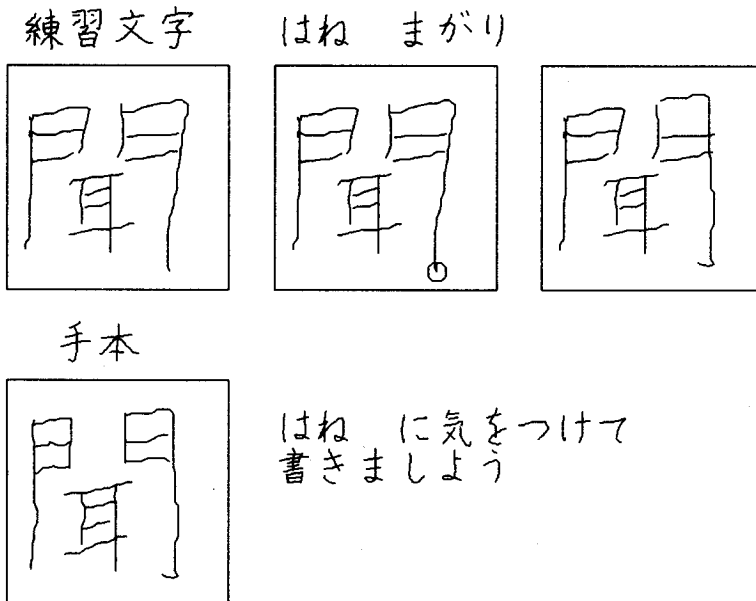


図7.11 筆づかい学習例

7.7 点・画の交わり方、接し方の学習

書写学習では、各ストロークの交わり方、接し方を基礎技能の一つとして学習する。本システムでは、点画の交わり方、接し方を文字のミクロな内部構造特徴のうちの、

位相特徴としてとらえる⁽⁸⁾。6.2.2節で、交点の抽出法を、6.2.3節で接点抽出法を明らかにした。それらの抽出法の妥当性を6.2.4節で検討し、6.2.5節に書写学習への適用結果を述べた。

図7.12に、交わり方、接し方の学習例を示す。これらの学習では、交わったり、接したりしてはいけないもの、あるいは、交わったり、接したりすべき場合について○印で注意情報が表示される。

これまでに述べた学習は個々に行なわれるものではなく、同時に並行して学習できる。

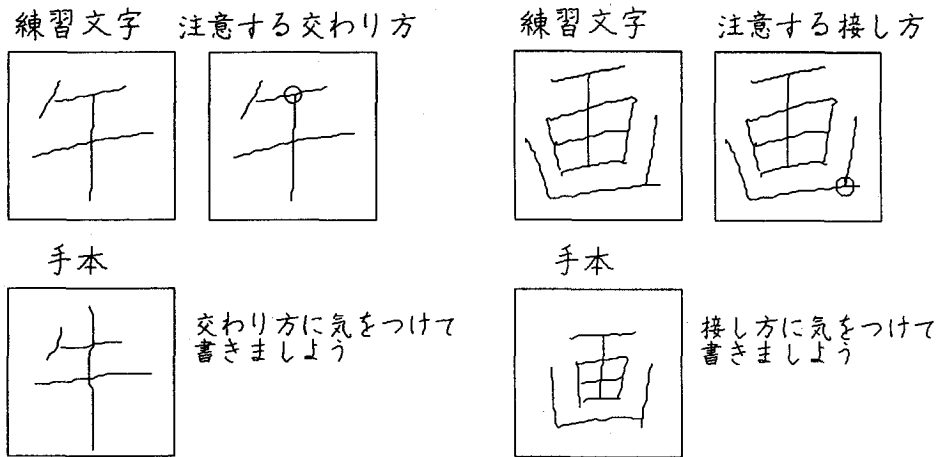


図7.12 交わり方、接し方学習例

7.8 システムの評価

本節では前章までに述べた書写学習手法の妥当性を人間の評価を通して検討する。ここでは特に、7.4,7.5節で述べた書写学習手法の妥当性を検討する⁽⁷⁾。小学校3年から6年生30名の書いた練習文字について、本システムで修正した文字を目視による比較評価をする。評価は、練習文字について、原文字、修正1（部分パターン配置の修正）、修正2（ストローク形状修正）、と、標準文字の4文字をランダムに並べて、評価者が整っていると感じた順序に並べる方法をとった。図

7.13は目視評価用文字例である。

1	2	3	4		1	2	3	4
花	花	花	花		永	永	永	永
月	月	月	月		物	物	物	物
場	場	場	場		花	花	花	花
歩	歩	歩	歩		場	場	場	場
表	表	表	表		表	表	表	表

図7.13 目視評価用文字例

図7.13の各行ごとの4つの文字をきれいに整った字と思う順番に並べる方法で目視調査をする。

目視評価の結果を図7.14に示す。図7.14で、A、B、C、Dは目視評価で整っている順を示し、目視調査で選択した文字1、2、3、4はそれぞれ、原文字、修正1、修正2、標準文字を示す。例えば、最もよく整っていると判定された字体(A)は、ほとんど標準文字(4)であることがわかる。図7.14から、目視評価によると、修正1、修正2の二段階の文字修正で練習文字はだんだんと整った字体になっていると言える。

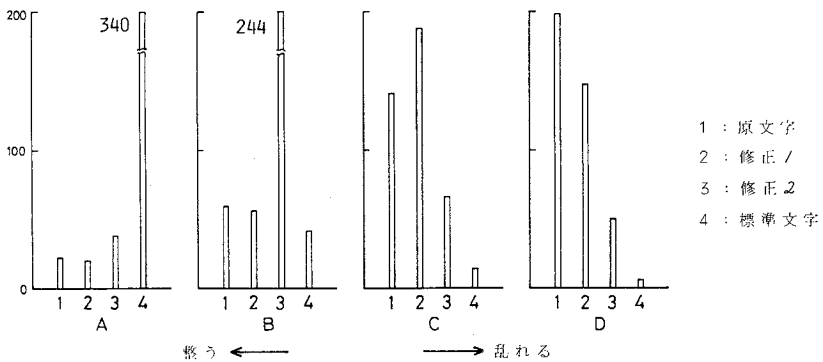


図7.14 字体修正法の目視による比較評価

目視評価で好ましい修正と判定されたもの10例、好ましくない修正と判定されたもの5例を図7.15に示す。図7.15では、原文字、修正1、修正2の順序に文字を並べている。また、修正1の文字中に太く書いたストロークは修正2によるストローク修正を示す。

二段階の修正をした文字について、各段階での修正文字と手本の標準文字の字形相違度(距離)変化の様子を図7.16に示す。図7.16では、図7.15にあげた好ましい修正例と、好ましくない修正例について、字形相違度の平均値を示す。全体の傾向としては、字体修正により標準字形に近くなり(距離が小さくなる)、字形は改善されることがわかる。好ましい修正と判定されたグループの字形は、修正をすることで、好ましくない修正と判定されたグループの字形に比べて標準文字の字形により近づいていく(距離が小さくなる)ことが明らかになった。

本システムによる字体修正法は、目視評価からも妥当なものであるといえる。



図7.15 字体修正実例

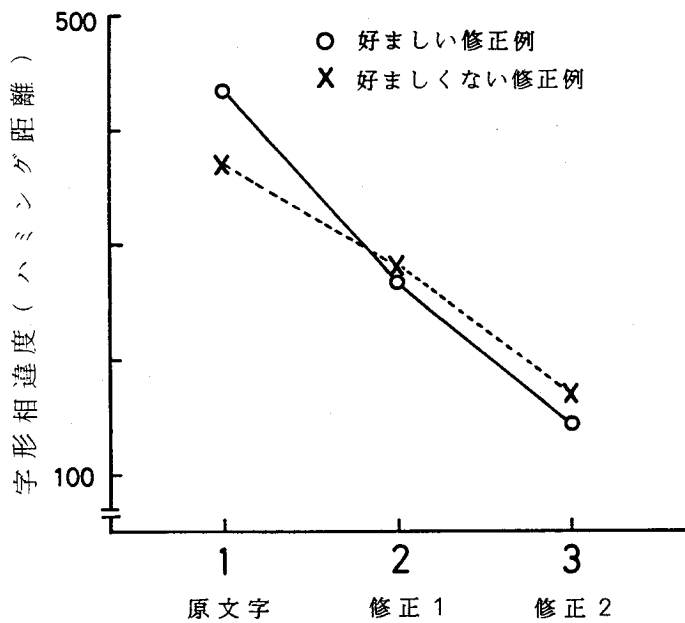


図7.16 字体修正による字形の変化

参 考 文 献

- (1) 山崎, 井口, 桜井: 美しさを学習できる自立型書写CAIシステム, CAI学会誌, 3, 2, pp. 11 - 20(1983 - 3).
- (2) 山崎, 井口, 桜井: 漢字「書き方」訓練システム, システムと制御, 26, 6, pp. 36 - 38(1982 - 6).
- (3) 山崎, 井口, 桜井: 手書き文字・文章特徴量評価と書写学習への応用, 第25回自動制御連合講演会, 3065(1982 - 11).
- (4) 宮崎 新: 新しい書き方 教師用指導書, 東京書籍(1982 - 3).
- (5) 山崎, 井口, 桜井: 手書き字体教育漢字データベースの作成と書写教育への応用, 電子通信学会総合全国大会, S15 - 7(1982 - 4).
- (6) 山崎, 井口, 桜井: 書写学習のための訓練システムの開発(1)
—教育漢字データベースの作成と応用—, 信学技報, E T82 - 2(1982 - 6).
- (7) 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,
信学論(D), J65 - D, 10, pp. 1211 - 1218(1982).
- (8) 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, 信学論(D), 掲載予定(1984 - 4).

第8章 まとめ

本研究は、美しく整った文字を書くための、新しい方式による書写学習システムを実現することをねらいとした。このために、義務教育現場での書写学習の内容、指導法を分析し、オンライン文字認識技術を援用する手法を述べた。

オンライン文字入力時のペン操作に供う雑音データの特性を分析し、雑音除去法を明らかにした。教育漢字、ひらかな、カタカナの標準字体データベースを作成した。データベースは、字体ばかりでなく、筆順、字形、部分パターン、局所特徴、位相特徴も含んだもので、このようなものは現在のところ他には存在しない。これを第2章で述べた。

第3章では、オンライン文字認識手法を書写学習システムに利用する方法を述べた。そして、書写CAIシステムにおけるデータベースの特徴を明らかにし、利用法を述べた。

第4章から第6章までに、書写における基礎的技能を学習するための手法を述べた。練習文字の筆順は、ストローク間距離を使って評価する。字くばりを各文字の重心位置で表わし、字形は文字を囲む外接凸多角形で評価した。部分パターンを、各部分の重心位置で表わし、各ストローク形状の評価を通して、練習文字をきれいに修正する手法を開発した。ストロークの曲がり、はねを、屈折点を抽出することで求め、交わり方は、ストロークを直線近似して求め、接し方は、ストローク端点から、各ストローク点までの距離で評価する。これらの評価法を使った書写学習への適用法を述べた。

第7章では、実際の書写学習に適用した結果を検討し、人間の評価と比較してシステムの評価結果を述べた。

本システムを実用性の高いものに発展させるためには、普通に字を書く感覚で文字入力ができるタブレットの開発、柔軟でタフな処理、評価法の研究など、今後に残された課題も多い。現在、実用化されているタブレットは、コード付きペ

ンで、ストロークのスイッチ内蔵のものが一般的であるが、普通の筆記具による文字入力を高速画像プロセッサにより筆記過程情報を得るビデオ・タブレット⁽¹⁾、アクリル板上を伝播する弾性波の伝播速度を検出するコードレス・タブレット⁽²⁾など、本システムの入力装置として期待できるものも研究されている。また、オンライン文字入力に限らず、すでに書かれた文字を取り扱える書写学習システム⁽³⁾へ拡張していくことも、今後に残された課題である。

今後も、情報工学の成果を教育へ利用しようとする、本研究のようなシステムの開発が試みられるだろうが、筆者は、教育の多くの部分をコンピュータ化すべきであると、単純に主張するものではない。手のいきとどいた人間味あふれる教育こそが本筋として求められるべきものである。実り豊かな教育を実現するためには、人間と機械が無理なく調和する教育システムこそが今後とも重要となるであろう。

参 考 文 献

- (1) 佐藤, 井口, 桜井: ビデオ・タブレット- CCDカメラを用いた手書き入力装置-, 昭57電気関係学会関西支部連合大会, G2-22(1982-11).
- (2) 石井, 橋本: 板波を用いた弾性波タブレット, 第11回画像工学コンファレンス, 5-7, p .101(1980 - 12).
- (3) 山崎, 広野, 井口, 桜井: OCR手法による書写学習システム
-ストローク・セグメントの抽出とラベリング-,
第8回CAI学会, p p .67-70(1983-10).

謝 辞

本研究は、大阪大学基礎工学部桜井良文教授の御指導のもとに行なわれたものである。同教授には、本研究の機会を与えて下さり、御厚情溢れる御教示と、たえまない御鞭撻を頂いた。本研究を完成せしめるまでに、辛抱強く御指導賜りましたのは、ひとえに桜井教授の御心の広さであり、心より感謝の意を捧げる。

大阪大学辻三郎教授、須田信英教授、鈴木良次教授、笠井健教授には懇切なる御指導、御討論を賜った。

大阪大学井口征士助教授は、筆者をこの分野に導いて下さり、本研究を遂行するに当たり親身の御指導を賜った。

文部省内地研究員として、桜井研究室における研究生生活において、千原国宏助教授、沼田卓久氏、尾西康次氏には種々の御指導と御援助を頂いた。また、桜井研究室の皆様には多くの御協力と便宜を頂いた。

本研究は、筆者が文部省内地研究員として大阪大学に内地留学した際に始めたものである。内地研究員として留学の機会を与えて下さった、香川大学教育学部織田皓次教授、ならびに技術教室の皆様に深く感謝いたします。

以上の他にも、多くの方々のお蔭によって本研究を行なうことができた。ここに深く感謝の意を表します。

本研究の一部は、香川大学学術振興財団の研究助成を受けた。

1984年1月

付 録

1. 教育漢字標準字体データベース

1年

教育漢字学年別配当表
1年 [1 -50]

赤	正	小	車	四	校	月	気	音	一
千	生	上	手	系	左	犬	九	下	右
川	青	森	十	字	三	見	休	火	雨
先	夕	人	出	耳	山	五	金	花	円
早	石	水	女	七	子	口	空	学	王

1年 [51 -76]

				六	名	八	二	虫	足
					目	百	日	町	村
					立	文	入	天	大
					力	木	年	田	男
					林	本	白	土	中

2年

教育漢字学年別配当表
2年 [1 -50]

谷	行	語	原	玉	牛	間	会	夏	引
国	考	工	戸	近	魚	顔	海	家	雲
黒	高	広	古	形	京	汽	絵	歌	遠
今	黄	交	午	計	教	記	貝	画	何
才	合	光	後	元	強	帰	外	回	科

2年 [51 -100]

昼	池	草	雪	西	心	書	社	紙	作
長	地	多	船	声	新	少	弱	寺	算
鳥	知	太	前	星	親	場	首	自	止
朝	竹	体	組	晴	図	色	秋	時	市
通	茶	台	走	切	数	食	春	室	思

2年 [101-145]

	来	夜	妹	步	父	買	同	刀	弟
	楽	野	明	母	風	売	道	当	店
	里	友	鳴	方	分	麦	読	東	点
	理	用	毛	北	間	半	南	答	電
	話	曜	門	毎	米	番	馬	頭	冬

3年

教育漢字学年別配当表
3年 [1 -50]

兄	局	球	客	館	階	温	泳	育	惡
係	銀	去	究	岸	角	化	馭	員	安
輕	苦	橋	急	岩	活	荷	園	院	暗
血	具	業	級	起	寒	界	橫	飲	医
決	君	曲	宮	期	感	開	屋	運	意

3年 [51 -100]

商	所	習	酒	写	次	使	根	公	鼎
章	暑	週	受	者	事	始	祭	向	研
勝	助	集	州	主	持	指	細	幸	言
乘	昭	住	拾	守	式	齒	仕	港	庫
植	消	重	終	取	突	詩	死	号	湖

3年 [101-150]

波	動	投	庭	調	短	待	息	世	申
配	量	島	鉄	直	着	代	族	整	身
畑	内	湯	軛	追	注	第	他	線	神
癸	肉	登	都	丁	柱	題	打	全	深
反	農	等	度	定	帳	炭	対	送	進

3年 [151-195]

	緑	様	遊	役	万	物	品	鼻	坂
	礼	落	予	薬	味	平	負	氷	板
	列	流	洋	由	命	返	部	表	皮
	路	旅	葉	油	面	勉	服	秒	悲
	和	兩	陽	有	問	放	福	病	美

4年

教育漢字学年別配当表
4年 [1 -50]

鏡	給	器	希	漢	害	貨	栄	位	愛
競	拳	機	季	管	各	課	塩	委	案
極	漁	議	紀	閑	覚	芽	央	胃	衣
区	共	求	喜	観	完	改	億	印	以
軍	協	救	旗	願	官	械	加	英	圀

4年 [51 -100]

燒	初	借	司	産	刷	差	功	結	郡
臣	省	種	姉	残	殺	菜	候	建	型
信	唱	周	試	士	察	最	航	健	景
真	照	宿	辞	氏	参	材	康	験	芸
成	賞	順	失	史	散	昨	告	固	欠

4年 [101-150]

敗	堂	典	腸	單	卒	想	選	折	清
倍	働	伝	低	談	孫	象	然	節	勢
博	毒	徒	底	治	帶	速	争	説	静
飯	熱	怒	停	置	隊	側	相	浅	席
飛	念	燈	的	貯	達	続	倉	戦	積

4年 [151-195]

	連	類	陸	勇	末	便	粉	不	費
	練	令	良	要	滿	包	兵	夫	必
	老	冷	料	養	脈	法	別	付	筆
	勞	例	量	浴	民	望	辺	府	票
	録	歴	輪	利	約	牧	変	副	標

5年

教育漢字学年別配当表
5年 [1 -50]

群	興	久	寄	幹	解	河	往	宮	庄
經	均	旧	規	慣	格	過	忘	衛	易
潔	禁	居	技	歡	確	佃	恩	益	移
件	句	許	義	眼	額	賀	飯	液	因
券	訓	境	逆	基	刊	快	果	演	永

5年 [51 -100]

述	授	兒	示	雜	採	混	厚	減	陰
術	收	識	志	蚤	際	查	耕	故	檢
準	修	質	師	酸	在	再	構	個	絹
序	衆	舍	資	贊	財	災	講	護	限
除	祝	謝	似	支	罪	妻	鉉	効	現

5年 [101-150]

統	張	貸	則	素	舌	稅	制	狀	招
銅	提	態	測	總	絕	責	性	常	承
導	程	團	屬	造	錢	績	政	情	称
特	敵	断	損	像	善	接	精	織	証
得	適	築	退	增	祖	設	製	職	彖

5年 [151-195]

	容	迷	貿	保	復	貧	非	破	德
	率	綿	暴	墓	複	布	肥	犯	独
	略	輸	未	報	仙	婦	備	判	任
	留	余	務	豐	編	富	俵	版	燃
	領	預	無	防	弁	武	評	比	能

6年

教育漢字学年別配当表
6年 [1 -50]

權	警	勤	吸	机	看	閣	我	羽	異
源	劇	筋	泣	揮	勤	割	灰	映	遺
巖	穴	系	供	貴	簡	株	街	延	域
己	兼	徑	胸	疑	丸	干	革	浴	走
呼	憲	敬	鄉	弓	危	卷	抃	可	宇

6年 [51 -100]

障	署	縱	需	射	姿	裁	骨	紅	誤
城	諸	縮	樹	捨	視	策	困	降	后
蒸	將	熟	宗	尺	詞	冊	砂	鋼	好
針	笑	純	就	釈	誌	至	座	刻	孝
仁	傷	処	從	若	磁	私	濟	穀	皇

6年 [101-150]

認	糖	賃	著	暖	尊	操	洗	誠	垂
納	届	痛	庁	值	宅	藏	奏	宣	推
腦	難	展	兆	仲	担	臟	窓	專	寸
派	式	党	頂	宙	探	俗	創	染	是
拜	乳	討	潮	忠	段	存	層	泉	聖

6年 [151-190]

		裏	欲	訳	幕	訪	陞	否	肺
		律	翌	郵	密	亡	閉	批	背
		臨	乱	優	盟	忘	片	秘	俳
		朗	卯	幼	模	棒	補	腹	班
		論	覽	羊	矢	枚	宝	奮	晚

2. ひらかな カタカナ データベース

ひらかな

わ	ら	や	ま	は	な	た	さ	か	あ
を	り		み	ひ	に	ち	し	き	い
ん	る	ゆ	む	ふ	ぬ	つ	す	く	う
	れ		め	へ	ね	て	せ	け	え
	ろ	よ	も	ほ	の	と	そ	こ	お

カタカナ

ワ	ラ	ヤ	マ	ハ	ナ	タ	サ	カ	ア
ヲ	リ		ミ	ヒ	ニ	チ	シ	キ	イ
ン	ル	ユ	ム	フ	ヌ	ツ	ス	ク	ウ
	レ		メ	ヘ	ネ	テ	セ	ケ	エ
	ロ	ヨ	モ	ホ	ノ	ト	ソ	コ	オ

研究発表リスト

I 学会誌発表論文

1. 漢字「書き方」訓練システム
システムと制御, 26, 6, pp. 36-38(1982-6).
2. 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D, J 65-D, 10, pp. 1211-1218(1982-10).
3. 美しさを学習できる自立型書写CAIシステム
CAI学会誌, 3, 2, pp. 11-20(1983-3).
4. 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D 掲載予定(1984- 4).
5. 教育実習生訓練用CAIプログラムの開発
日本教育工学雑誌, 2, 2, pp. 63-70(1977-10).
6. 応答時間の特性と利用法
日本教育工学雑誌, 3, 1, pp. 39-48(1978-6).
7. 教育実習改善のための試行
日本教育工学雑誌, 4, 3, pp. 103-112(1980-1).

II 電子通信学会研究会発表

1. 書写学習のための訓練システムの開発(1)
—教育漢字データベースの作成と応用—
電子通信学会 教育技術研究会, ET82-2(1982-6).
2. 文字認識手法の書写学習への応用
電子通信学会 パターン認識と学習, P R L 83-36(1983-10).

III 学会一般講演

1. 手書き動作の測定とその書写学習への応用
第24回自動制御連合講演会, 3033(1981-11).
2. 手書き字体教育漢字データベースの作成と書写教育への応用
電子通信学会総合全国大会, S 15-7(1982-4).
3. 手書き文字・文章特徴量評価と書写学習への応用
第25回自動制御連合講演会, 3065(1982-11).
4. 美しさを学習する書き方練習システム
電子通信学会総合全国大会, 1376(1983-4).
5. OCR手法による書写学習システム
—ストローク・セグメントの抽出とラベリング—
第8回CAI学会, pp. 67-70(1983-10).