類似文字識別への心理学的アプローチ

渡 辺 洋 一[†], 行 場 次 朗^{††}
平 田 忠^{†††}, 丸 山 欣 哉^{†††}

あらまし 人間の類似文字判読に関わる諸問題を定量的にとりあつかうための一手法とその成果を紹介する。混同を生じさせやすい手書きカタカナを材料として、判読する際に人間が手がかりとする特徴を用いてアイテムカテゴリー化し、人間の読みラベルを外的基準とする数量化理論第Ⅱ類を実施した。その結果、人間の判読ラベルを高い精度で予測することができ、あわせて各特徴の判別への寄与の度合いをとらえることができた。しかも、この手法は眼球運動や反応時間の計測という心理学実験によっても妥当であることが確かめられた。これを書き手の意図と読み手の判読それぞれに適用することにより、人間の手書き文字を媒介とした巧妙なコミュニケーション方式を分析することもできた。この手法を用いて、OCRの判読結果の評価を行うことも可能であり、また、英数字・カナ混在や漢字・カナ混在における類似文字識別の問題にも有益な情報をもたらすことができると考えられる。

1. ま え が き

OCR(光学的文字読取装置)の性能が向上し、読取率が100%の漸進線に近づくにつれ、類似文字識別(あるいは詳細識別)がより大きな問題となってきたといわれる。特に、英数字・カナ混在や漢字・カナ混在、さらに多様な変動を含む手書き文字を読み取りの対象とした場合、類似文字識別はいっそう切実な問題となる。本論文では、類似文字識別に関する心理学的問題と、それに対処する心理学の一手法について概説する。

2. 機能的属性とPFR

類似文字識別に関し貴重な提言をしているものに、Blesserらによる一連の研究^{1)~4)}がある。彼らは文字の示差特徴(distinctive features)についての従来の考え方が物理的属性に基づいていることを批判し、文字認識はむしろそこから抽出される機能的属性

(functional attributes)というべきものに規定されるとした。図1は彼らが“LEG”と呼んでいる機能的属性の例である。図のパターンCでは一方の線分が物理的にも知覚的にもはみ出しているが、まだ文字ラベルを変えるほどの特徴とはみなされない。パターンDにいたって、はじめて別の文字ラベルがあてはめられる。ここには、ある種のおそびがあるわけである。類似文字を系統的に変形することによって、この他にも、SHAFT, ARMなどの12の機能的属性が見い出されている。物理的属性と機能的属性の間の関数関係はPFR (Physical to Functional Rule)と呼ばれ、文字同定課題や反応時間測定などの心理実験を通して導出された。例えば図1のLEGのPFRは次のようになる。

Physical LEG	-	+	+	+
Perceptual LEG	-	-	+	+
Functional LEG	-	-	-	+
LETTER LABEL	V	V	V	Y

図1 Blesserらの示した機能的属性“LEG”²⁾
An example of the functional attribute “LEG”.

[†] 八戸工業大学 工学部

^{††} 信州大学 人文学部

^{†††} 東北大学 文学部

“A Psychological Approach to the Human Recognition of Ambiguous Characters” by Yoichi Watanabe (Hachinohe Institute of Technology, Hachinohe), Jiro Gyoba (Department of Psychology, Faculty of Arts, Shinshu University, Matsumoto), Tadashi Hirata and Kinya Maruyama (Department of Psychology, Faculty of Arts and Letters, Tohoku University, Sendai)

Functional LEG: $l_1/l_2 > 0.2$ present
 < 0.2 not present

ただし、 l_1, l_2 はそれぞれ図1のパターンDに示す線分の長さ。

PFRは、例えばこのLEGならばV-Yと[-Fのように、字種が異なっても一定であると報告されている。さらにOden⁵⁾はPFRにファジィ理論を適用し、複数の機能的属性が含まれる場合の数式化を試みている。

3. 数量化理論第II類を用いた類似文字識別

Blessnerらは系統的変形によって中間文字を作成し、機能的属性を検討したが、このような手続きだけでは、手書き文字の多様な変動を網羅することはできない。また、同様の手法をカタカナに適用した田中⁶⁾の研究によれば、PFRが文字対間で異なることが報告されている。ここで、手書きカタカナに関する人間の読みのconfusion matrix⁷⁾をみると、混同率の高い文字対は限られており、これらの文字はパターンの構成要素が同じで、文字形の変動も比較的少ない数の要素で記述できることがわかる。そこで我々は、数量化理論第II類を適用することにより、手書き文字の字形変動をアイテムカテゴリ化してとらえ、類似文字間の判別関数(PFRに相当する)を求めることを試みた⁸⁾。

数量化理論第II類は、サンプル i が t なるグループ(外的基準)に分類されているとき、 i を表現する質的・量的アイテムをいくつか考え、それぞれのアイテム内でサンプルが相当するカテゴリと外的基準との対応から、分類を記述し、予測しようとするものである。

具体的には、関数 $\delta_i(jk)$ を導入し、

$$\delta_i(jk) \begin{cases} =1: \text{サンプル } i \text{ が, } j \text{ アイテム, } k \text{ カテゴリに対応するとき} \\ =0: \text{そうでないとき} \end{cases}$$

とすると、 i は同じアイテム内ではただ1つのカテゴリ k にしか対応しないから、

$$\sum_{k=1}^{K_j} \delta_i(jk) = 1 \quad (j=1, 2, \dots, R)$$

また、

$$\sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{K_j} \delta_i(jk) = R$$

となる。そこで各カテゴリに x_{jk} なる重み(カテゴリ係数)をつけ、サンプルを代表する数値として、

$$\text{サンプル数量: } \alpha_i = \sum_j \sum_k \delta_i(jk) x_{jk}$$

を導き、外的基準をもとに判別を考える。このとき、 x_{jk} を求めるには、グループ間の分散は大きく、グループ内の分散はできるだけ小さくするという一方で、相関比 η^2 を最大にすることを考える。この相関比と予測の適中率は単調な関係にある。詳細は他書を参照されたい⁹⁾。

数量化理論第II類を導入した理由は次のとおりである。

- (1) 数量化理論は質的データの解析法として開発されたものであり、本来は質的変量と考えられる文字パターンの解析にも都合よく適用できる。

表1 「リ・ソ」対についての数量化理論第II類の結果⁸⁾

Results of the application of Hayashi's Quantification, model II, to the confoundable Katakana "リ・ソ".

アイテム	カテゴリ	カテゴリ係数	レンジ	偏相関係数
1. 15°未満	-21.00	41.85	0.85
	2. 15°以上 30°未満	-15.04		
	3. 30° - 45°	-7.87		
	4. 45° - 60°	20.76		
	5. 60° - 75°	13.55		
	6. 75° - 90°	19.63		
	7. 90° - 105°	18.48		
	8. 105° - 120°	10.60		
2. 左右線分長さの比 (左/右)	1. 1/3未満	1.39	9.57	0.20
	2. 1/3以上 2/3未満	-0.32		
	3. 2/3以上	-8.18		
3. 右線分のわん曲	1. 内向き	0.10	10.04	0.23
	2. 不明瞭	-2.75		
	3. 外向き	7.29		
4. 右線分のストローク (筆勢)	1. 上から下	-2.54	16.83	0.35
	2. 不明瞭	2.07		
	3. 下から上	14.29		
5. 右線分のカザリ	1. 上端にあり	22.05	29.92	0.59
	2. 不明瞭	-1.84		
	3. 下端にあり	-7.87		
6. 右線分の傾き	1. 15°未満	6.30	8.22	0.29
	2. 15°以上 30°未満	-0.94		
	3. 30° - 45°	-1.93		
	4. 45° - 60°	6.02		
7. 上端の位置 (右に對し左が)	1. 上	-2.44	7.00	0.22
	2. ほぼ同じ	4.56		
	3. 下	-1.20		
8. 幅/長さ (上端の間隔 / 右線分の長さ)	1. 0.3未満	0.16	28.45	0.21
	2. 0.3以上 0.4未満	-1.81		
	3. 0.4 - 0.5	7.49		
	4. 0.5 - 0.6	1.10		
	5. 0.6 - 0.7	-1.53		
	6. 0.7 - 0.8	2.78		
	7. 0.8 - 0.9	-20.96		

表2 「ソ・ン」対についての数量化理論第II類の結果^{*)}
Results of the application of Hayashi's
Quantification, model II, to the confoundable
Katakana “ソ・ン”.

アイテム	カテゴリー	カテゴリー係数	レンジ	偏相関係数
1. 左右線分の角度	1. 15°以上 30°未満	-27.25	36.40	0.72
	2. 30° - 45°	7.36		
	3. 45° - 60°	-2.49		
	4. 60° - 75°	-15.97		
	5. 75° - 90°	8.60		
	6. 90° - 105°	5.97		
	7. 105° - 120°	-3.14		
	8. 120° - 135°	9.15		
2. 左右線分の長さの比 (左/右)	1. 1/3未満	1.03	2.21	0.10
	2. 1/3以上 2/3未満	-1.18		
3. 右線分のわん曲	1. 内向き	-1.44	8.93	0.20
	2. 不明瞭	0.69		
	3. 外向き	7.49		
4. 右線分のストローク (筆勢)	1. 上から下	-18.66	30.66	0.73
	2. 不明瞭	6.06		
	3. 下から上	12.00		
5. 右線分のカザリ	1. 上端にあり	-5.70	9.78	0.23
	2. 不明瞭	-0.70		
	3. 下端にあり	4.09		
6. 右線分の傾き	1. 15°未満	5.58	9.42	0.16
	2. 15°以上 30°未満	-1.15		
	3. 30° - 45°	-0.59		
	4. 45° - 60°	1.66		
	5. 60° - 75°	-1.49		
	6. 75° - 90°	7.94		
7. 上端の位置 (右に対して左が)	1. 上	4.43	9.71	0.31
	2. ほぼ同じ	-0.00		
	3. 下	-5.28		
8. 幅/長さ (上端の間隔) (右線分の長さ)	1. 0.4以上 0.5未満	-1.01	53.22	0.53
	2. 0.5 - 0.6	1.90		
	3. 0.6 - 0.7	-4.53		
	4. 0.7 - 0.8	1.35		
	5. 0.8 - 0.9	1.64		
	6. 0.9 - 1.0	17.60		
	7. 1.0 - 1.1	6.81		
	8. 1.1 - 1.2	-35.62		
	9. 1.2 - 1.3	9.00		

(2) 多変量解析法なので、文字構成要素の変動をばらばらにではなく、同時に扱うことができ、しかも各要因の判別への寄与の度合いや方向を見きわめることができる。

(3) モデルが単純で、記述や予測の精度について一義的指標が得られる。

以下に我々の研究の概要を紹介する。

3.1 方法

試験的研究ということで、ここでは人間の読み誤まりの多いカタカナ文字の中から「リ・ソ・ン」をとりあげた。

多様な変動を代表し、かつ判読が比較的難しいと思われる90パターンを選び^{*}、表1、表2に示すような8つのアイテムを使って字形変動をカテゴリー化し

た。これらのアイテムは、 χ^2 検定によって単独でも判別に有効であることを確認のうえで選択したものである。一方、90名の成人被験者に、先のサンプルを1人1パターンずつ提示し、一瞥した印象で読みの回答を求め、これを外的基準として、「リ・ソ」対、「ソ・ン」対ごとに数量化理論第II類を適用した。

3.2 結果と考察

表1、表2の右欄に数量化理論第II類で得られたカテゴリー係数と各アイテムの外的基準への偏相関係数を示す。

図2、図3に、それぞれの外的基準ごとにサンプル数量の分布を求め、正規分布で近似した結果を示す。判別の精度はかなり良く、「リ・ソ」対では相関比0.75(適中率95.98%)、「ソ・ン」対では相関比0.87(適中率99.51%)という値をえた。このことは、数量化理論第II類による判別が有効であることを示すとともに、Blessnerらが指摘したように、判読基準は人によってあまり変わらず安定していることをものがる。

図2、図3に示すサンプル数量 a_i の分布から、尤度比が1となる判別点 α_0 を算出すれば、例えば「リ」と「ソ」の判別関数 $D_{リ・ソ}$ は次のようになる。

$$D_{リ・ソ} = a_i - \alpha_0:$$

$$D_{リ・ソ} \text{ が } \begin{cases} \text{正ならば「ソ」} \\ \text{負ならば「リ」} \end{cases}$$

さらに、各アイテムの判別への寄与の度合いを示す偏相関係数をみると、「リ・ソ」の判読では「左右線分間の角度」が、「ソ・ン」では従来OCRではとらえ難かった「右線分のストローク(筆勢)」が重要な手がかりとなっていることがわかる。

表1、表2をみると、カテゴリー係数が直線的に変化することが期待されるアイテムで必ずしもそうっていないなど、まだ不十分な点はあるが、サンプル数を増しカテゴリーを整理することによって判別の精度をさらに上げることも期待できる。しかも、この手法は、カタカナに限らず、混同率の高い他の文字対にも容易に拡張できよう。

4. 数量化理論による判別の心理学的妥当性

数量化理論第II類は、とりあげた要因間の関連の形態をブラックボックスとして、外的基準との対応を線

^{*} NTT電気通信研究所の収集による“常用手書きカタカナサンプル”から選択

図 2 「リ、ソ」群確率密度関数および評価法⁸⁾

A method for assessing handwritten characters based on the human discriminant function for Katakana “リ・ソ”.

図 3 「ソ、ン」群確率密度関数および評価法⁸⁾

A method for assessing handwritten characters based on the human discriminant function for Katakana “ソ・ン”.

形的な近似で求めるもので、それらの要因の心理的プロセスにおける役割を同定してくれるものではない。また得られた判別関数が人間の判読基準を十分に表現しているかどうか、PFRの導出作業でも行われたように種々の心理実験で確認されなければならない。

そこで我々は、類似文字判読時の眼球運動と反応時間を手がかりとして、この手法の心理学的妥当性を検証することにした¹⁰⁾。

眼球運動を記録すると、注視点は情報量の多い箇所に集中することが知られている。ただし、我々の使用した手書き文字サンプルは7mm×7mmほどの大きさなので、このままでは中心視野に収まってしまい、眼球運動を必要としない。そこでこれを拡大投影したパターンを用いて眼球運動を記録することにし

た。この場合、拡大パターンと原パターンとで、視覚情報処理の様態が同じであるかどうかについては心理学的に検討の余地が残るが、それでもなお人間の文字認識について有効な情報が得られるものと考えられた。

4.1 方法

サンプル数を277文字に増やし、同様の手続きで「リ・ソ・ン」3群判別の数量化理論第II類の分析を行った。得られたサンプル数を指標として、100パターン抽出してスライドを作成し、透過光式タキストスコープにより、視角約10°の大きさに提示して刺激とした。被験者にはアイカメラとボイスキーを装着し、刺激の提示開始から被験者が音読を始めるまでの時間と、その間の眼球運動を記録した。刺激パターンは被

験者の音読開始まで提示された。

4.2 結果と考察

5名の被験者のデータをプールし、サンプル数量を横軸として、理論的な読みラベルの分布と実験時の読みラベルの相対出現頻度、平均反応時間、平均停留点数を示したのが図4である。拡大パターンを用いた実験で得られた読みラベルは、サンプル数が区間ごとに均等ではないので、ややばらつきはあるが、数量化理論第II類による予測とよく対応している。

反応時間と眼球運動の停留点数は理論的判別点付近で増加しており、Shillmanら²⁾⁴⁾が系統的に文字を変形させて得た結果と一致する。「リ」に比較して「ソ」「ン」とくに「ソ」と読まれるパターンに対して反応時間、停留点数が増加する傾向は、「ソ」がこの群の中では中間の特徴をもつ文字パターンであること、「リ」に比べて「ソ・ン」では筆勢などの局所の特徴の処理がより強く必要とされることの反映と考えられる。停留点位置の分布を分析してみると、とくに右線分の上下端でラベルごとの違いが大きく、上端へ停留する場

図4 実験時の判読ラベル出現率(最上段)、平均反応時間(上段)、平均停留点数(中段)、数量化理論第II類によるラベルの出現頻度分布(下段)、横軸は数量化理論第II類によるサンプル数量¹⁰⁾

The empirical distribution of reading labels (the top), reaction times (2nd), the number of fixations (3rd), and the theoretical distribution of reading labels (the bottom).

合では「ソ」、下端への停留では「ン」と読まれることが多いなど、偏相関係数が示した各要因の判別への寄与の度合いとよく対応した。これらの結果は、数量化理論第II類による判読基準の定量化が心理学的にも妥当性が高いことを示した。

5. 書き手・読み手間のコミュニケーションの分析

類似文字識別において、正読の基準を書き手の意図した文字ラベルにおくのか、それとも読み手の読みにおくのかということは、文脈情報の利用が充分とはいえない現在、OCRの位置づけともかかわる考慮すべき問題と考える。例えば書き手が「リ」と書いたつもりでも、単独では「ソ」としか読めない文字もあるからである。このとき、OCRの正読の基準を書き手の意図のみにおくのは問題がのこる。我々が本手法を考案したのも、そもそも人間の判読基準に準拠した手書き文字の評価法を作成するためであった⁸⁾。図2で示したように、例えば書き手の意図が「リ」であっても、そのパターンのサンプル数量を求めた結果が判別点を越して「ソ」の分布に近いならば、それは「リ」としては不良であり、OCRが「ソ」と判読してもやむをえないとするのである。

それでは、書き手と読み手の文字形に対する基準は実際にどのように異なっているのだろうか。我々は、両者のあいだの手書き文字を媒体としたコミュニケーション過程を分析するとともに、自由手書き文字(見本文字なし、枠は指定)と常用手書き文字(見本文字にならって書くOCR入力用の文字)との相違についても考察した¹¹⁾。

5.1 方法

カタカナ「リ・ソ・ン」につき、常用手書き文字から270字と、大学生に1人1字ずつ書いてもらった自由手書き文字390字を準備した。これらはすべて書き手の意図した文字ラベルが確認されたものであり、大学生1人に1字ずつ提示して読みのデータも収集した。

これをもとに、まず書き手と読み手とのコミュニケーションの様態をとらえるためにクロス表を作成した。次に、これを定量的に分析するために、書き手の意図と読み手の読みとをそれぞれ外的基準とする数量化理論第II類を実施し、その結果を比較検討した。

5.2 結果と考察

書き手の意図と読み手の読みとのクロス表を表3に示す。常用手書き文字「リ・ソ」対では、両者の間にかんがりのくい違いのあることが明らかである(連関係数0.82)。

表 3 書き手の意図した文字ラベルと読み手の「読み」
とのクロス表

Differences of the letter-labels between writers and
readers: constrained and unconstrained Katakana
「リ・ソ・ン」.

常用手書き文字				自由手書き文字			
書き手	読み手			書き手	読み手		
リ	ソ	ソ	ン	リ	ソ	ソ	ン
45.0	5.0			48.6	1.4		
4.0	46.0			1.6	48.4		
$\Phi=0.82$ (N=176)				$\Phi=0.94$ (N=162)			
100%				100%			
書き手	読み手			書き手	読み手		
リ	ソ	ソ	ン	リ	ソ	ソ	ン
49.2	0.8			49.2	0.8		
1.2	48.8			1.1	48.9		
$\Phi=0.96$ (N=254)				$\Phi=0.96$ (N=254)			
100%				100%			

この原因としては、常用手書き文字での字形の変化と人間が主にどの特徴を手がかりとして判読をするかという要因の相互作用があげられる。常用、自由手書き文字「リ・ソ・ン」の全サンプルにつき、「左右線分間の角度」および「幅/長さ比」のアイテムにおけるカテゴリー分布の概形を図5に示した。自由手書き文字では、分布間の間隔はいずれのアイテムでも「リ・ソ」間の方が「ソ・ン」間より広いのに、常用手書き文字では、逆に「ソ・ン」間の方が広がっている。一方、自由手書き文字につき、読み手の読みを外的基準とした数量化理論第II類から、各アイテムにつく偏相関係数をみると(図6)、「リ・ソ」対では「左右線分間の角度」や「幅/長さ比」の寄与が大きく、「ソ・ン」対では「右線分のストローク」「右線分のカザリ」「右線分の傾き」も大きいことがわかる。これらの結果をあわせて考えると、自由手書き文字の場合、筆運びが同じとなる「リ・ソ」間では、文字の全体的形状の差異を大きめにとり、それを判読の際の主な手がかりとすることによって混同を防ぎ、一方、それだけ差異の縮まることになる「ソ・ン」間では、筆運びの違いによって生ずる局所の特徴を重視するといった相補的コミュニケーションがなされているようである。これに対し、常用手書き文字の場合、「ソ・ン」間では局所の特徴があるので問題はないが、「リ・ソ」間では、「左右線分間の角度」や「幅/長さ比」といった有力な判読手がかりが見本文字にならう筆記の際にやや退縮してしまったとみられる。

自由手書き文字でも方法の工夫によっては十分な精度での判別が期待できるとき、文字形を拘束する常用手書き文字については、その信頼性についてなお検討の余地があると思われる。

飯田ら¹²⁾は、数人の被験者が多数の文字パターンを連続的に判読するという課題から、自由手書きよりも

図 5 常用手書き、自由手書き文字間でのカテゴリー分布の比較

Comparison of the distribution of two features between constrained and unconstrained handwritten letters 「リ・ソ・ン」.

アイテム	[リ・ソ] 対	[ソ・ン] 対
1. 左右線分の角度	0.94**	0.51**
2. 左右線分の長さの比	0.02	0.06
3. 右線分のわん曲	0.02	0.09
4. 右線分のストローク	0.12**	0.45**
5. 右線分のカザリ	0.01	0.38**
6. 右線分の傾き	0.15**	0.47**
7. 上端の位置	0.07	0.16**
8. 幅/長さ	0.23**	0.25**

図 6 自由手書き文字で「読み」を外的基準とした際に数量化理論第II類より得られた偏相関係数
Partial correlation coefficients of the features to the criterion of readers.

常用手書き文字の方が全般的に認識誤まりが少ないという結果を報告した。しかしこの場合、常用手書き文字の標準字形を知っている被験者が多数の文字パターンを時間制限なしで判読を重ねるという課題状況であ

り、常用手書き文字を一般のコミュニケーションに用いた際の信頼性まで保証するものとはいえないと考える。

常用手書き文字は、人間とOCRのコミュニケーション媒体として使用されるものであるが、それがそのまま人間どうしのコミュニケーションでも円滑に通用するものであれば、実用上、より望ましい。また、OCRの本来の目標は自由手書き文字の認識にあらう。そのためには常用手書きと自由手書きとの差を縮めることが大切である。特に類似文字については、常用手書き文字を人間が読んだ時のずれや、自由手書き文字を介した人間の巧妙なコミュニケーション方式を分析しておくことは、有益な情報をもたらすと思われる。

6. む す び

Blesserらの機能的属性の研究を出発点とし、その考え方を数量化理論第II類の適用によって手書きカタカナ文字の判別へと発展させた手法について紹介した。人間の判読基準にもとづいたこの手法は、類似カタカナ文字を高い精度で判別できることが示され、しかも実験によって心理学的にも妥当なものであることが確かめられた。同様の数量化理論第II類による分析を手書き文字を媒介とした書き手と読み手とのコミュニケーションの分析にも適用した。その結果から、自由手書き文字を媒介とした人間の巧妙なコミュニケーションを考えると、常用手書き文字にはなお検討の余地のあることを提言した。

数量化理論第II類による類似文字識別方法は、実際にOCRに適用して有効であることが報告されており¹³⁾¹⁴⁾、本手法が英数字・カナ混在あるいは漢字カナ混在の類似文字識別における問題の解決に役立つことを願うものである。

本研究は日本電信電話(株)電気通信研究所からの委託研究の成果をまとめたものである。実施にあたり、

横須賀研究所の入力装置研究室長 小森和昭氏、および同研究室の飯田行恭氏、提田敏夫氏ら、たくさんの方々の御協力を得た。厚く感謝いたします。

〈付記〉本論文は、テレビジョン学会視覚情報研究会(1983年、9月30日)で発表したものをまとめたものである。(昭和59年4月23日受付、昭和60年1月21日最終受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) B. Blesser, R. Shillman, T. Kuklinski, C. Cox, M. Eden & J. Ventura: "A Theoretical Approach for Character Recognition Based on Phenomenological Attributes", Proc. of the 1st International Joint Conference on Pattern Recognition, pp. 33-40 (1973)
- 2) R. Shillman, T. Kuklinski & B. Blesser: "Experimental Methodologies for Character Recognition Based on phenomenological Attributes", Proc. of the 2nd International Joint Conference on Pattern Recognition, pp. 1-7 (1974)
- 3) M. J. Naus & R. Shillman: "Why a Y is not V: A new look at the distinctive features of letters", J. of Exp. Psychol.; Human Perception and Performance, 2, pp. 394-400 (1976)
- 4) M. Yasuhara & T. Kuklinski: "Category Boundary Effect for Grapheme Perception", Perception and Psychophysics, 23, pp. 97-104 (1978)
- 5) G. C. Oden: "A Fuzzy Logical Model of Letter Identification", J. of Exp. Psychol.; Human Perception and Performance, 5, pp. 336-352 (1979)
- 6) 田中平八: "文字パターン認知過程の構造について", 東京都立大学人文学報, 133, pp. 53-74 (1979)
- 7) 飯田, 中島, 小森: "人間の文字認識能力評価の一検討", 信学情報システム部門全国大会論文集, 148 (1979)
- 8) 行場, 渡辺, 丸山, 小森: "数量化理論第II類による手書き文字の評価", 研実報, 29, 7, pp. 1305-1323 (1980)
- 9) 林, 樋口, 駒沢: "情報処理と統計数理", 産業図書 (1970)
- 10) 渡辺, 行場, 丸山: "手書きカタカナ文字の判読における反応時間と眼球運動", 心研, 54, pp. 58-61 (1983)
- 11) 行場, 平田, 渡辺, 丸山: "昭和55年度日本電信電話公社電気通信研究所委託研究報告書" (1981)
- 12) 飯田行恭, 小森和昭: "人間の文字認識能力の評価", 信学論誌, J-67-D, pp. 257-264 (1984)
- 13) 提田敏夫: "数量化理論を用いた類似文字識別", 信学情報システム部門論文集, p. 66 (1981)
- 14) 提田敏夫: "端末OCRにおける類似文字識別処理の一検討", 信学総合全大論文集, p. 2361 (1982)