手書きカタカナ文字の判読時における反応時間と眼球運動¹

——数量化理論による文字判読の定量化との対応——

八戸工業大学 渡 辺 洋 一

東北大学 行 場 次 朗²・丸 山 欣 哉³

Reaction time and eye movements in the recognition task of hand-written
Katakana-letters: An experimental verification of the discriminant analysis
of letter recognition by Hayashi's Quantification

Yoichi Watanabe (*Hachinohe Institute of Technology, Hachinohe, Aomori 031*), Jiro Gyoba, and Kinya Maruyama (*Department of Psychology, Faculty of Arts and Letters, Tohoku University, Kawauchi, Sendai 980*)

Hayashi's Quantification, model II, is a multivariate discriminant analysis for qualitative data. This method was applied to the quantitative indices about confusability of recognition of hand-written Japanese *Katakana*-letters. The experimental results of reaction time and eye movements in the recognition task corresponded well with indices computed by this statistical procedure. (a) The labels, given by the subjects to the letters, were in line with the prediction by the discriminant, (b) the reaction time and the number of fixations were bigger for highly confusable letters, and (c) those features, which were important according to the discriminant, were fixated more frequently. Thus, Hayashi's quantification procedure is valid for psychological experiments.

Key words: Hayashi's Quantification, pattern recognition, hand-written letters, reaction time, eye movements.

文字認識の研究では、特徴抽出モデルとの対応や実験の条件統制などの理由から、標準的な印刷字体や量子化文字などが刺激として用いられることが多い(海保, 1969; 松田, 1969; 田中, 1979)。しかしながら、文字認識の研究をさらに幅広く進めようとするとき、とりわけ手書き文字に伝達手段を依存する機会の多い日本語の事情を考えるならば、多様な変動を含む手書き文字の判読過程を適切に定量化できる方法を見出すことが必要と考える。

数量化理論は、質的なデータについての一連の多変量解析法として、多数の質的要因の変動を同時に取り扱い、それら要因間の相互作用や寄与の大きさ・方向についての情報を提供できる。しかも、そのモデルが単純で操作的・機能的なために、記述や予測の精度について一

義的な指標を与えられる(林・樋口・駒沢, 1970)。

行場・渡辺・丸山・小森(1980)は、手書きカタカナ文字判読の confusion matrix から、カタカナで人が誤読しやすい文字はいくつかの群に限られており、その群のなかでの判読に関与する図形的特徴は数少ないことに着目した。そこで、それらの特徴をアイテム・カテゴリー化し、個々の文字サンプルが何と読まれるかを外的基準とする数量化理論第Ⅱ類を実施することによって、誤読されやすい文字間の判別分析を試みた。

以下に、行場らの研究をやや具体的に紹介しよう。彼らは、カタカナのなかで最も誤読率の高い[リ・ソ・ン]群の手書き文字サンプルについて、文脈の影響のまったくない状況で何と読まれるかを調査した。その回答を外的基準として、次の8個の指標によってサンプルをアイテム・カテゴリー化して数量化理論第Ⅱ類による分析を適用した。(a) 左右線分間の角度、(b) 左右線分の長さの比、(c) 右線分のわん曲の有無とその方向、(d) 右線分の筆勢の方向、(e) 右線分の線端に短線分(カザリ)が付加されているか否か、(f) 右線分の垂直軸に対する傾き、(g) 両線分の上端の上下関係、(h) 両線分上端の間隔と右線分の長さとの比、の8個である(Fig. 1 参照)。その結果、[リ・ソ]判別では相関比 0.75

¹ 本研究は日本電信電話公社電気通信研究所の委託研究の一部である。

² 現所属 信川大学人文学部。

³ 本研究の実施にあたり、日本電信電話公社横須賀電気通信研究所の入力装置研究室長小森和昭氏をはじめ、同研究室諸氏の協力を得た。また、東北大学文学部心理学研究室の平田 忠君・皆川州正君にも協力を得た。厚く感謝します。

Table 1
カタカナ〔リ・ソ・ン〕についての数量化理論第Ⅱ類の分析表

アイテム	カテゴリー	サンプル数	カテゴリー係数	レンジ (偏相関係数)
左右線分間の角度	15° 未満	35	-.173	
	15° 以上 30° 未満	58	-.159	
	30° — 45°	25	-.058	
	45° — 60°	27	-.002	
	60° — 75°	24	.018	
	75° — 90°	28	.160	
	90° — 105°	31	.130	
	105° — 120°	26	.157	.337
	120° 以上	23	.164	(.693)
左右線分間の長さの比 (左/右)	1/3 未満	119	.008	.014
	1/3 以上	158	-.006	(.081)
右線分のわん曲	内向き	182	-.007	.020
	不明瞭・外向き	95	.013	(.090)
右線分の筆勢	上から下	71	-.054	
	不明瞭	142	.005	.103
	下から上	64	.049	(.372)
右線分のカザリ	上端にあり	14	-.016	
	不明瞭	226	-.007	.067
	下端にあり	37	.051	(.225)
右線分の傾き	15° 未満	48	-.020	
	15° 以上 30° 未満	100	-.017	
	30° — 45°	66	-.002	
	45° — 60°	46	.051	.071
	60° 以上	17	.031	(.196)
上端の位置(右に対し左が)	上	89	.027	
	ほぼ同じ	67	.001	.047
	下	121	-.020	(.180)
幅と長さの比 ($\frac{\text{上端の間隔}}{\text{右線分の長さ}}$)	0.3 未満	16	-.058	
	0.3 以上 0.4 未満	43	-.045	
	0.4 — 0.5	40	-.011	
	0.5 — 0.6	45	.019	
	0.6 — 0.7	39	-.020	
	0.7 — 0.8	37	.040	
	0.8 — 0.9	28	.019	
	0.9 — 1.0	15	.060	.542
	1.0 以上	14	.023	(.294)

(適中率 95.98%), [ソーン] 判別では相関比 0.87 (適中率 99.51%) という値をえて, 各アイテム・カテゴリーの重みづけ係数の合成得点 (サンプル数量) を指標に高い精度で判読の予測が可能であることがわかった。さら

に, 各アイテムの外的基準への偏相関係数から, [リ・ソ・ン] の判読では, 左右線分間の角度や両線分の間隔と長さとの比など全体的特徴とともに, 線端に付加されたカザリや筆勢などの局所的特徴の寄与も大きいことが

示唆された。

しかしながら、この手法は、要因間の関連の様態をひとつのブラックボックスとして、外的基準との対応を線型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。本研究は、行場らが統計数理的手法からえた成果に関して、さらに文字判読時の反応時間や眼球運動の解析を手掛かりとして、実験心理学的にその妥当性を検証することを目的とした。

方 法

刺激材料 電々公社電気通信研究所収集の手書き文字データから、カタカナ〔リ・ソ・ン〕に相当する文字パターンを計 277 個抽出し、大学生 277 名に 1 人につき 1 サンプルを提示し、何と読むかをひらがなで書かせた。この回答された文字ラベルを外的基準とした。一方、Table 1 の左欄に示す項目に従って各文字サンプルをアイテム・カテゴリー化して、3 群判別の数量化理論第Ⅱ類による分析を実施した。

その結果から、第 1 根について、カテゴリー係数・ア

Fig. 2. 実験時の判読ラベル相対出現率(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。

アイテムのレンジ・偏相関係数を示したのが Table 1 である。相関比は 0.899 で、行場らと同様の高い値を示した。第 2 根の相関比は 0.648 であった。本研究では、第 1 根の結果を実験の指標とした。

つづいて、この 277 個の文字サンプルから、第 1 根のサンプル数を指標として、判別点の近くにあるものに重みをおいて 100 パターンを抽出した。文字サンプルは高さ 7 mm 幅 5 mm の枠を基準として書かれたものの複写であるが、実験のために、これを接写拡大して 1 文字サンプルごとに 35 mm スライドを作成した。

装置 被験者はボイスキイをのどもにつけ、頭部は背後からのヘッドレストによって固定された。

眼球運動は NAC Eye-Mark Recorder IV によってビデオ (SONY) に録画した。刺激提示は TKK-プロジェクター式タキストスコープによっておこなわれ、視距離 62 cm の位置の半透過式スクリーンに背面から投影した。投影文字は白地に黒、大きさは視角約 10°。アイマークの較正には、視角 10°×10°のマス目パターンを用

Fig. 1. 手書き文字〔リ・ソ・ン〕各部の名称。a: 左線分, b: 右線分, c: カザリ (行場他, 1980 による)

Fig. 3. 停留点の度数分布 (5 名の平均)。

いた。

反応時間は、刺激の提示開始から被験者の音読によってボイスキイが応答するまでの時間である。また、この間の眼球運動も同時に記録された。

ビデオ再生画面には、アイマーク・レコーダーからの画像とともに、計測用の 10×10 のメッシュと経過時間の表示を、ビデオスイッチャー (SONY) により重畳するように録画した。これらの刺激提示・反応記録システムは TKK-マルチユニットシステムによって連絡・制御された。

手続き 被験者は手もとのキイを押して自ら刺激提示を開始し、文字がわかり次第それを音読する。その際、とりわけ速く反応するようにとは教示しなかった。被験者の発声とともに刺激提示と経過時間の表示は停止する。アイマーク・レコーダー装着後 5 回の練習試行をおこない、その後さらに較正を確認してから本試行にはいったが、10 試行ごとに較正パターンによるチェックをおこなった。100 枚の刺激パターンは被験者ごとにランダムな順序に並べかえた。

被験者 心理学専攻の男子学生・大学院生 5 名。

結果と考察

眼球運動の分析はビデオをコマ送りして 1/60 秒単位で進めた。この際、停留点は重畳したメッシュを参照して、視角約 1° 以内にビデオ 6 コマ (約 100 ms) 以上とどまった時と定めた。

数量化理論第Ⅱ類による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、5 名の被験者の実験時の読みラベルの相対出現頻度および平均反応時間と平均停留点数を示したのが Fig. 2 である。反応時間、停留点数いずれにも個人差がみられたが、本質的な傾向は被験者間で共通していたので、図には平均値のみを示した。

読みラベルは数量化理論による予測とよく対応している。反応時間と停留点数は理論的判別点付近で増加している。反応時間についてのこの結果は、Shillman, Kuklinski, & Blesser (1974) が組織的に文字を変形させてえた結果とほぼ一致する。これらの結果は、行場ら (1980) の方法による [リ・ソ・ン] 判読についての数量化理論による定量化が妥当であることを実験的に示したといえる。

[リ] に比較して、[ソ・ン] とくに [ソ] と読まれる文字パターンに対して、反応時間・停留点数が増加する傾向は、[ソ] がこの群のなかで中間的特徴をもつ文字であることと、[リ] に比べて [ソ・ン] では個々の局所的特

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よう。

この点について停留点の分布から考察してみる。実験時の読みラベルごとに、主な図形的特徴での停留点の分布を示したのが Fig. 3 である。ここでは、左右の 2 線分をそれぞれ 3 等分して、上端・中央・下端とし、それぞれの線端を結ぶ線に囲まれる領域を中間部とした。各ラベルとも、中間空白部の停留点数がずばぬけて多いこと、そして [リ] が他の 2 者と比較して全般に停留点数が少ないことが、この図から明らかである。ラベルごとの相違が顕著なのは右線分の全般と左線分の下端である。このことは、これらの部位が、特に [ソ・ン] の判別に関して、有効な情報を提供することを示すものと考ええる。ここで、中間部注視が全体的特徴の処理に、線分各部への注視が局所的特徴の処理に対応するものと考ええると、この結果は数量化理論の偏相関係数が示唆した各特徴の判別への寄与の度合いとよく対応するものといえる。

停留点の移動パターンの系列的分析などになお検討の余地はあるが、文字の判読過程の分析に数量化理論を適用した結果は実験心理学的指標と一致することが明らかになった。

引用文献

- 行場次朗・渡辺洋一・丸山欣哉・小森和昭 1980 数量化理論第Ⅱ類による手書き文字の評価——人の判読基準に準拠して——日本電信電話公社電気通信研究所研究実用化報告, 29, 1305-1323.
- 林知己夫・樋口伊佐夫・駒沢 勉 1970 情報処理と統計数理 産業図書
- 海保博之 1969 片仮名文字相互間の類似性判断次元と見易さの関係 心理学研究, 40, 337-340.
- 松田隆夫 1969 量子化された片仮名文字の識別に関する検討 心理学研究, 40, 109-120.
- Shillman, R. J., Kuklinski, T. T., & Blesser, B. A. 1974 Experimental methodologies for character recognition based on phenomenological attributes. *Proceedings of the Second International Joint Conference on Pattern Recognition*, 1-7, Copenhagen, August, 1974.
- 田中平八 1979 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, 53-74.

——1982. 1. 18. 受稿, 1982. 7. 11. 受理——