

片仮名文字の構造特性の計測をめぐって

筑波大学心理学系
海保博之

1.

本稿では、片仮名文字の「形」としての特性を計測するいくつかの方式を吟味しながら、それ等の有効性や問題点などについて論じてゆく。

2.

人間あるいは機械による文字認識過程を、特徴分析モデルの枠内で研究する場合には、文字の「形」としての特性を計測することが、必須となってくる。なぜなら、特徴分析モデルにおいては、最終段階の判定機構にまで到達するのは、入力文字そのままの粗イメージではなく、感覚系あるいは特徴抽出系という一種の計測装置によって選択された少数個の特性であるとする仮定をまず置くからである。

このような意味での計測装置の実体を調べるための研究上の方略としては、たとえば、Hubel & Wiesel(1963)の上のように生理的な機構として、その存在を直接に確認しようとする方法もあるが、ここでは、広義の精神物理学的アプローチに立脚した間接的方法がとられることになる。すなわち、文字の識別に関与していると思われる物理的計測システムを暫定的に設定して、それを識別結果と対応づけ、適切な対応づけが成立すれば、そのような計測システムは心理的実在性を有する、あるいは機械に埋込むことによって効果的な識別が可能になる、と考えるようにするものである。

3.

ところで、文字認識過程を精神物理学的アプローチによって研究してゆく場合に、とりわけ困難な問題は、文字の「形」の計測に際して発生する。

伝統的精神物理学においても、刺激の物理量の計測は、それなりに研究の重要な部分を占めているが、変化量が一次元尺度上の量の多少であること、ほとんどの場合、信頼性の高い計測機械が存在していることのために、計測それ自体が研究上の隘路になることはない。

しかしながら、文字の場合には、「形」としての特性は多次元的に記述することが要求され、しかもその変化量の単位が一定していないこと、さらに安定した計測器が存在していないことに加えて、文字そのものが、「形」として極めて変動性に富んでいることのために、計測システムをいかに定めるかが、研究上の一つの課題となら

ざるをえない。

本稿で、計測の問題にだけ焦点を当てたのは、こうした事情によっている。

4.

さて、これから、Fig. 1 に示すような量子化片仮名文字(松田, 今井, 関口, 1964)を用いて、これまで筆者がおこなってきた、あるいは現在おこなっている試みをとりに上げてゆくことにするが、その前に、次のような点にはあらかじめ言及しておく必要がある。

まず第一は、計測の最小単位の問題である。量子化片仮名文字では、縦9、横5のメッシュを構成するセル(縦横比2:3)が計測の最小単位となるが、このメッシュは、元来が人間の識別の下限を想定して設定されたもので、計測を意図したものではない。通常はこれよりも細かいメッシュを用意するが、メッシュの粗密は計測値の絶対的な値に影響することがある点は考慮しておく必要がある。

第2は、文字の線幅や点の大きさに関してである。これらは「形」の特性としては無意味であるが、計測単位が細かくなると、ある種の計測システムでは不本意ながら計測されてしまうことがある。逆に言えば、これらを計測しないですむ程度のメッシュを設定することが必要ということにもなる。

第3は、大きさ、傾き、位置に関しては、すべて規準化されていることを前提とした計測システムをもつばら考えるということである。ちなみに、これらに関して不変な計測システムを考案することは、手書き文字認識の研究などでは重要である。

5.

まず最初にとり上げる方式は、厳密には「物理的」計測システムとは言えない。あえて、これを最初に述べるのは、この方式が文字の「形」としての本質的特性であ

Fig. 1 分析に用いられた量子化片仮名文字の例。
以下の図表中の片仮名文字はすべて量子化文字を意味している。

Table 1 構造解析の結果の一部

サンプル文字	表 現	括弧の数
ア	(連結 (連結 (連結 (— ¹ ● ₂ ¹) ● ₃ ²) ● ₃ ³)))	4
イ	(連結 (/ ¹ ¹))	2
ウ	(((連結 (連結 (連結 (¹ ● ₂ ¹ ● ₂ ³) ²) ● ₄ ³)) / ⁴)))	5
エ	(連結 (— ¹ — ² ¹ ₂))	3
オ	(連結 (交叉 (— ¹ ¹ / ¹)))	3

* 関係規則は常に2項関係のみである。

* 線分中の数字は、2線分の関係が発生する場所と順序である。

* 関係規則の適用順序は真中の()から、外側の()である。この順序はほぼ書き順に従っているが、本質的には任意である。

る要素間の関係に着目したところから生まれたものであるからに他ならないし、また操作可能な形で提出された方式である点で、広義には「物理的」計測システムに含めてさしつかえないと思われたからである。

さて、文字は「形」として高度に構造化されている。一個の文字全体が一つの知覚単位として存在しており、要素成分への分解を許さない素材であるかの如くである。これは言葉を変えて言えば、各要素が独立に存在しているのではなく、相互に強い関係性のなかに埋込まれていることになる。このような要素間の関係の記述に焦点を当てたのが、構造解析 (structural analysis) とよばれる手法である。この手法の骨子は次の通りである (Reed, 1973, pp. 39-52)。

- 1) 基本的構成要素を決める。
- 2) 要素間の関係を指定する規則を定める。
- 3) 関係規則の適用規則を設定する。

一個の文字を一つの文と見立て、Chomsky 流の生成文法理論を援用した方式 (たとえば Narasimhan & Reddy, 1967) などが報告されているが、ここでは Kintsch (1975) の命題表現に発想を得て、量子化片仮名文字についておこなった構造解析の結果を述べてみる。

基本要素として、縦、横、右上り斜め、左上り斜め、の方向線分、要素の属性として、線分の長さの長短の2水準、関係規則として、連結、連結なし(連結で表現)、交叉、の3つの型、関係規則の補足規則として、要素間関係の発生する場所である線分の両端点、中点、の3過所、関係規則の適用規則として命題表現様のものを用いてみた。

5文字について解析した結果が Table 1 である。

ここでおこなった手法も含めて、構造解析全般についての問題点を2つだけ指摘しておく。まず第一は、基本要素と関係規則の種類に関してである。漢字のように線分数が多くなると、ここで用いた基本要素と関係規則では表現が膨大な長さになり不都合である。基本要素をより高次のものにして、表現の簡略化をはからなければならない。どの程度にすべきかは一概には言えないが、次項の知見が一つの参考になるであろう。

第2は、関係規則適用順序の任意性の問題である。表現が一意的に決定しないという不明瞭さはあるが、計測システムの利用目的に応じた順序 (たとえば書き順) を選択することでさし当りは問題がないように思われる。

6.

文字の高度に構造化された「形」としての特性に着目した構造解析的方法においても、最小限の基本要素をあらかじめ定めざるをえなかった。線分は、いかなる意味においても「基本」要素ではあるが、より高次の平行、十字、鉤型なども、知覚的単位としては、ある意味の「基本」とみなせない理由はない。何が「基本」かは、かくして相対的なものとならざるをえない。

そこで、計測可能な要素をできるだけ多く拾い上げて、それらを分類整理して、「基本」要素を見つけ出そうとする試みが一つの意味を持つてくることになる。これらの基本要素の合成として一つの文字を記述しようと

- 1) Hubel & Wiesel (1963) の実験で示されるように、生理的対件の明らかなものをもって基本要素とする考えもあろう。

するところから、合成的記述方式と名づけることができる。量子化片仮名文字についておこなった試みはすでに報告してあるので(海保, 1981), ここでは簡単にふれておく。

計測した要素は、方向線分の量や、要素間の特別な関係型の有無、などに関する19種類で、これらの相互相関行列を因子分析して、「横方向成分」、「接合・離反」、「関係の複雑性」、「縦方向成分」、「左上り斜め成分」の5因子に対応する代表的要素を8個選んだ。さらにこの8個の要素の存否で46個の文字を分類するリスト(特徴リスト)を構成してみたところ、14対(全体の4%)の文字間のみ弁別が不可能であった。

合成的記述方式では、構造解析の場合に重視された要素間関係は、一つの「要素」として、他の原初的要素と同等に扱われている点に特徴がある。「接合・離反」、「関係の複雑性」がそれである。これらは、文字の構成要素の全体的関係というよりは、文字を特徴づける部分的関係の型であり、この意味では、「要素」の名に値すると言ってよい。いずれにしても、様々な水準の要素の何を基本として定めるかが、合成的記述方式では、第一義的な重要性を持つ。

7.

再び、ここでは文字の「構造型」に着眼した計測システムをとり上げる。前述の構造解析が決定論的な手法であったのに対し、ここで述べる手法は、確率論的である。

着眼した「構造型」は、文字を構成するセルの配列の規則性である。たとえば、メッシュを一定方向から逐次走査すると2本の線分の平行関係は、図を構成するセルが一定間隔で反復する系列、あるいは図を構成するセルの連続が2回出現する系列として表現される。このようにして生成された事象系列が示す規則性を、確率的に記述してみようとするものである。なお、このような規則性は、別の用語を使えば、冗長性とよぶこともできる。規則性があれば、そのパターンの一部が欠損しても、残りの成分から、それを補完することができるからである(小保内, 海保, 関口, 金子, 1965)

具体的には、1文字につき各方向別に、セルの左上から右下へ(左上り斜めのみ右上から左下へ)逐次走査して45個の「1-0」の事象系列を作り、そこで得られる同一事象の連続する連の数をはかり、その値の確率分布上の位置をもって、冗長度の指標とする。すなわち、まれにしか発生しない連の数がえられれば、その事象パターンは規則的で、予測性が高く、冗長度は大となる。

Table 2 に結果の一部を示す。

この手法の技術上の問題点は、2次元平面上の事象を一次元に還元してしまったこと、正規分布への近似条件が文字によって異なること、の2点である。眼球運動の軌跡になぞらえた走査方式や、ランダムウォーク(random

Table 2 方向線分別「連」の確率分布上の位置

	横	縦	右上斜	左上斜
ア	-0.9	-0.7	0.7	1.5
イ	1.1	-2.3	-1.6	1.1
ウ	-0.7	-2.1	0	1.8
エ	-2.4	-1.4	1.3	1.4
オ	0.4	-1.6	-0.5	1.7

* 数値は正規分布のZ値

* 負は連の数が少ないことを、正は連の数が多いうことを意味し、異なる型の事象系列の冗長度の高さを示す。

walk) 様の走査方式が、これらの問題点を解決する糸口を与えるかもしれない。

8.

これまで述べてきた3種の手法は、別の観点からみれば、構造解析が論理空間で、合成的記述方式が物理空間で、冗長度記述方式が確率空間でそれぞれおこなわれた計測と言えよう。これから述べるのは、物理空間上の値を直交交換して得られる空間での計測手法についてである。これは、時系列事象のフーリエ変換が、周波数領域での計測を可能にし、事象に対する見通しの良い世界を与えようとすると同様の意図を持っておこなわれるものである(淀川, 1980)。

用いられる直交交換は、2値関数の変換に有効なWalsh変換である。変換された空間でどのような特性を計測するかは、たとえば中谷(1978)のようにフーリエ変換の周波数成分に似た特性を取り上げることも可能であるが、ここでは淀川(1980)にしたがって、パターンの対称成分の型に着眼した分析を量子化片仮名文字に援用してみた。以下、淀川に従って、手法の骨子を述べてみる。

32×32のメッシュ(5×9の量子化片仮名文字のメッシュの回りにゼロのセルを付加して作成)の各値を X_{ij} (1か-1)、2次元 Walsh 関数を $W_{m,n}(i,j)$ とすると、 X_{ij} の Walsh 変換は次式で与えられる。

$$A_{m,n} = \frac{1}{32^2} \sum_{i,j=0}^{31} X_{ij} W_{m,n}(i,j) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $A_{m,n}$ は2次元 Walsh スペクトル、 $A^2_{m,n}$ はパワースペクトルとよばれる。なお2次元 Walsh 関数系 $W_{m,n}(i,j)$ は $m=n=3$ を例にすると、Table 3 のようになる。

ついで $A^2_{m,n}$ について次の演算操作をおこなう。

$$\sum_{m,n=0}^{31} A^2_{m,n} - A^2_{0,0} = K \dots\dots\dots (2)$$

$$A^2_{m,n}/K = P_{m,n} \dots\dots\dots (3)$$

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \sum_{m=\text{偶数}} P_{m,n} & P_2 &= \sum_{n=\text{偶数}} P_{m,n} \\ P_3 &= \sum_{m,n=\text{奇数}} P_{m,n} & P_4 &= \sum_{m,n=\text{偶数}} P_{m,n} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

Table 3 Walsh 関数の例 (淀川, 1980) と, 各文字のシンメトロピー

	P ₁ (左右対称)		P ₂ (上下対称)		P ₃ (点対称)		P ₄ (左右・上下・点対称)		(*)
	W _{0.1}	W _{2.1}	W _{1.0}	W _{3.0}	W _{1.1}	W _{3.1}	W _{0.0}	W _{2.0}	■ +1 □ -1 m = n = 3 の場合 で例示 W _{0.0} は除外
	W _{0.3}	W _{2.3}	W _{1.2}	W _{3.2}	W _{1.3}	W _{3.3}	W _{0.2}	W _{2.2}	S (Symmetry) ビット
ア	.223		.101		.061		.615		1,494
イ	.208		.104		.104		.584		1,604
ウ	.195		.053		.053		.699		1,271
エ	.000		.000		.000		1,000		.000
オ	.142		.236		.016		.606		1,423

式 (4) は, 任意のパターンのなかに含まれている4つの型の対称成分の総量の相対的割合を示す値となる。さらにパターン全体の対称性の指標として, シンメトロピー (symmetry) S を次式で定義する。

$$S = - \sum_{k=1}^4 P_k \log_2 P_k \dots\dots\dots (5)$$

S は0から2ビットまでの範囲で変動し, S=0の時は, ある特定の型の対称のみの存在を, また S=2の時は, 支配的な対称型がみられないことを意味している。

Table 3には, 結果の一部が示されている²⁾。

心理学の研究に直交変換を利用するケースは2つあり, その一つは, 変換機構そのものを生体の情報処理系内に仮定して, その妥当性を入出力から検討しようとする場合 (たとえば中谷, 1977) である。他の一つは, データ処理技術上, 直交変換によって, データの扱いが容易になり, 現象に対する見通しが良くなる場合である。ここで起こった試みは後者のケースであるが, 今後, 心理データとの照合によって, 前者のような観点も必要となってくるであろう。

技術的には, ①メッシュが2の巾帯であることからくる不都合, ②高周波成分も低周波成分も同等に扱っている点, ③文字の中心をどこに置くかによってシンメトロピーは異なってくる点, に問題点は残されているが,

2) Walsh 変換の計算に当っては, 大阪大学人間科学部 乾敏郎氏, 同基礎工学部 洪向華氏よりプログラムの提供を受け, また筑波大学人間学類 戸田文雄君の助力を得た。ここに感謝の意を表します。

シンメトロピー以外の指標の開発も含めて今後の研究が待たれるところである。

9.

最後に, これまでの方式とはまったく発想を異にした計測方式にふれておく。これまでの方式は, 個々の文字を計測の対象としていた。しかし, 場合によっては (Shepard & Chipman, 1970), 文字対間の物理的差異についてのみ, 計測すれば事足りることがある。そのためには, これまで述べてきた手法の尺度上で距離などを算出する方式もありうるが, ここでは文字を要素成分に分解することはせずにおこなった物理的非類似度の計測をとり上げる (海保, 1981)。

文字を構成するメッシュを重ね合せて, 個々の対応するセルにつき, 両者の値が一致する時「0」, 不一致の時「1」として, 45のセル対の値を合計する。したがってこの値の大きい程, 2つの文字は類似していないことになる。

この方式は, 量子化片仮名文字のように, 完全に規準化がおこなわれている時には, 有効であるが, 規準化されていない時には, 大きさ, 位置, 回転に対し, 高い感受性を示す欠点がある。また構成要素セルの少ない文字では, 確率的に他の文字との非類似性が高くなってしまいう傾向があるところに問題が残されている。

10.

文字の構造特性を計測する5つの異なる手法をみてきた。各手法の長所, 短所については, 計測の観点からのみ吟味してきたが, 最終的な評価は, なんらかの形で心

理的データとつき合わせることによって決められてくる。これは今後の課題として残しておく。

文 献

Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. 1963 Receptive fields of cells in the striate cortex of very young, visually inexperienced kittens. *Journal of Neurophysiology*, **26**, 994-1002

海保博之 1981 片仮名文字の構造特性の数量的記述について 筑波大学心理学研究, **3**, 7-15

Kintsch 1975 Memory for prose. In Cofer, C. N. (Ed) *The Structure of Memory*. San Francisco; Freeman

松田隆夫, 今井秀雄, 関口 茂 1964 機械識別用シンボリックレター 電気通信学会研資 AAC:63-20, 1-27

中谷和夫 1978 パターン知覚の情報処理モデルと手書

き数字の自動認識 心理学評論, **21**, 293-314

Narasimhan, R. & Reddy, V. S. N. 1967 A generative model for handprinted English letters and its computer implementation. ICC Bulletin, **6**, 275-287 (cited in Reed (1973), pp. 40-42)

小保内虎夫, 海保博之, 関口 茂, 金子隆芳 1965 シンボリックレターの品質評価について 電気通信学会オートマトンと自動制御研究会資料, 12

Reed, S. K. 1973 *Psychological Processes in Pattern Recognition*. Los Angeles; Academic Press

Shepard, R. N. & Chipman, S. 1970 Second order isomorphism of internal representation: Shapes of state. *Cognitive Psychology*, **1**, 1-17

淀川英司 1980 パターンの良さと複雑さの定量化 電子通信学会技術報告, **80**, 149, (PRL80-35), 1-8

—1981年9月30日受稿—

SUMMARY**On Various Systems for Measuring Structural Properties of
Kata-Kana Letters.**

Hiroyuki Kaiho
The University of Tsukuba

Measuring structural properties of a letter is quite important in advancing the psychophysical research of letter recognition. In this report, the following 5 systems were introduced and assessed from a methodological point of view.

1. Structural analysis: Relational properties of primitive elements were described by a prepositional expression.
2. Composite description: Various components including both primitive elements and higher-order features were picked up, and several

fundamental components were specified through a factor analysis.

3. Redundancy description: The number of "run" was used as an index of redundancy of a letter.
4. Orthogonally-transformed system: The degree of symmetric structure was calculated in a space transformed by Walsh function.
5. Dissimilarity measurement: The degree of physical overlap between two letters was used as an index of dissimilarity.