

変動エントロピーによる文字変動の評価

正員 長谷 博行[†] 正員 米田 政明[†]
 正員 酒井 充[†] 正員 吉田 順作[†]

Evaluation of Handprinting Variation of Characters Using Variation Entropy

Hiroyuki HASE[†], Masaaki YONEDA[†], Mitsuru SAKAI[†] and Junsaku YOSHIDA[†],
 Members

あらまし 文字の手書き変動を表す巨視的評価量を提案する。筆者らはこれを変動エントロピーと呼ぶが、これは文字の大きさに依存せず、拡大縮小変換に不変な性質をもつ。そのため異なった文字種同士の変動評価が可能となる。この変動エントロピーを手書き漢字データベース ETL8B, ETL9B に適用し、どのような文字種が変動を受けやすいかを調べた結果、画数が小さな文字種ほど、同一画数では端点が多い文字種ほど値が大きくなる傾向にあることがわかった。また、変動エントロピーは類似度の期待値にほぼ等価であることを示し、そしてパターン変形に対する認識率の推移の指標になることを実験的に示した。

1. ま え が き

近年、OCR 設計のための文字認識実験が各所で行われているが、それに使用するデータベースは電総研により作成されたものが広く用いられている。特に、手書き教育漢字データベース ETL8⁽¹⁾、最近では JIS 第1水準手書き漢字データベース ETL9⁽²⁾ がよく利用されている。また、独自に作成したデータベースを用いている研究者もいる⁽³⁾。これらのデータベースを用いる場合にはその品質(変動状態)を把握しておくことが必要である。これまでに文字変動について、認識実験結果等からの定性的考察は多く報告されているが^{(4),(5)}、定量的考察はあまり多くない。定量的考察としては、構造解析的手法によるもの^{(6),(7)}、基準(辞書)パターンを利用するもの^{(1),(8)}、エントロピーによるもの⁽⁹⁾等が報告されている。

構造解析法による変動評価の特徴は、例えばストロークごとの部分的な変動評価が可能であり⁽⁶⁾、連結成分数やホール数などのトポジカルな統計量が得られるが⁽⁷⁾、一般に複雑な処理が要求される。

基準パターンを利用するものとしては類似度による変動評価量がある⁽¹⁾。類似度は数学的・物理的意味が明確であり、かつアルゴリズムが簡単で全体画像としての変動評価量を与える。その他、基準パターンからの広がり量を定量化した報告もある⁽⁸⁾。いずれの場合も基準パターンの定め方が問題となる。なお、本論文では以後、単純類似度を単に類似度と書く。

エントロピーによる手法は0, 1からなる文字パターンを多数重ね合わせ、次式によるエントロピーで画像としての巨視的変動をとらえるものである。

$$H = -\frac{1}{M} \sum_i \{P_1(x_i) \log P_1(x_i) + P_0(x_i) \log P_0(x_i)\}$$

ここに、 $P_1(x_i)$ は座標 x_i における黒画素の出現比率であり、 $P_0(x_i) = 1 - P_1(x_i)$ である。

上式は計算量が少なく値も一意に定まるが、全情報量を全画素数 M で割っているために文字面積の異なる文字種同士の比較は難しい。

本論文では変動エントロピーと呼ぶ巨視的変動評価量を新たに定義する。これは文字面積に依存せず拡大縮小変換に不変であり、値が一意に定まり、類似度と強い相関をもつ。すなわち、変動エントロピーは上述の類似度とエントロピーの長所を併せもつ評価量であるといえる。これをデータベース ETL8B, ETL9B

[†] 富山大学工学部電子工学科, 富山市
 Faculty of Engineering, Toyama University, Toyama-shi, 930
 Japan

に適用して文字品質の違いを調べる。また、どのような文字種が手書き変動を受けやすいかを検討する。更に、既に提案されている各種規格化を施したときの認識率の変化と変動エントロピーとの関係を実験的に考察する。

2. 変動エントロピー

2.1 定義

文字変動を数量化する場合、次のような条件が必要と考えられる。

- (1) 画像枠の大きさに依存しない。
- (2) 文字の拡大縮小変換に依存しない。

しかし、これらの2点は実は文字面積に依存しないということと等価である。この条件を満たすことにより文字面積の異なる文字種同士の変動の比較が可能となる。以下に、我々の提案する文字変動エントロピーを定義する。

説明の都合上1次元パターンで考える。2次元上に広がる文字パターンを重ね合わせるのと同様に1次元パターンを m 枚重ね合わせ、座標 x_i での黒画素数を $n(i)$ ($n(i) \leq m$) とする。重ね合わせたときの総黒画素数 N は $N = \sum_i n(i)$ であるから、 $n(i)$ の分布のエントロピーは次式で与えられる。

$$I = - \sum_i \frac{n(i)}{N} \log \frac{n(i)}{N}$$

$$= - \sum_i \frac{n(i)}{N} \left(\log \frac{n(i)}{m} - \log b \right)$$

ここで $b (= N/m)$ は文字画像1枚当りの平均黒画素数である。上式は式(1)となる。

$$I = - \sum_i \frac{n(i)}{N} \log \frac{n(i)}{m} + \log b \quad (1)$$

ここに、第1項を h 、すなわち

$$h = - \sum_i \frac{n(i)}{N} \log \frac{n(i)}{m} \quad (2)$$

とおくと、これは分布 $n(i)$ のエントロピー I から黒画素数 b の同一パターンを m 枚重ねたときのエントロピー $\log b$ を引いたもので、変動を表す項と考えることができ、この h を変動エントロピーと呼ぶことにする。

2.2 性質

まず h の動きについて知るために式(1)において m , N を変えずに I を増加することを考える。言い換えると、 $n(i)$ の分布をぼかすわけであるが、この場合第2項は定義により値は変わらず、従って第1項 h が増加する。

h の最小値 h_{\min} は同一パターンを m 枚重ね合わせた場合に生じ0となる。また、 h がとりうる値の最大値は総画素数 N を均等に領域 s (黒画素が広がっている領域) にならしたときであり次式となる。

$$h_{\max} = - \log \frac{N}{ms}$$

また、 s を限定しなければ画像全体に広がった方がより大きな値をとりうる。

さて、変動エントロピーが線形な拡大縮小変換に不変であるという性質は次のように証明できる。

証明を簡潔にするため分布 $n(i)$ を連続な分布に置き換える。すなわち、

$$n(i) = n(x) dx$$

とする。さて、線形(拡大縮小)変換を $x = ky$ とすると

$$dx = k dy$$

$$n(x) dx = n(ky) k dy = kn^*(y) dy$$

が成り立つ。ここに $n^*(y)$ は線形変換を施した画像 m 枚についての連続分布である。また、

$$N_y = \int n^*(y) dy$$

とおくと、

$$N_x = \int n(x) dx = k \int n^*(y) dy = k N_y$$

が成り立ち、よって

$$h_x = - \int \frac{n(x)}{N_x} \log \frac{n(x)}{m} dx$$

$$= - \int \frac{n^*(y)}{N_y} \log \left(\frac{kn^*(y)}{m} \cdot \frac{dy}{dx} \right) dy$$

$$= - \int \frac{n^*(y)}{N_y} \log \frac{n^*(y)}{m} dy$$

$$= h_y$$

となる。2次元の拡大縮小変換についても同様である。

このように文字の大きさは式(1)の第2項に吸収され、 h は拡大縮小変換に対し不変である。 h を変動エントロピーと呼んだのはこのような理由からであり、文字の巨視的変動の評価量として有用であると思われる。ここで注意しなければならないのは変動エントロピーが小さいからといって、必ずしも文字らしさが明りょうになっているとは限らないことである。なぜならば、例えば変動エントロピーを同じ値に保ちながら画素を入れ替えて文字らしさをなくすることができるからである。

3. 文字データベースへの適用

式(2)を用い電総研作成による ETL8B の巨視的変動を調べる。その後 ETL9B と比較検討する。Bタイプは2値化し、文字を囲む最小長方形を縦横等倍に縮小して64×63に大きさおよび位置の正規化を施したものである。但し、64×63より小さく書かれた文字は中央に配置し大きさはそのままにしてある。このようなBタイプを用いたのは、よくBタイプが利用されていること、文字変動を調べる場合には少なくとも上記の規格化は必要と思われるためである。

3.1 サンプル数と変動エントロピー

文字変動を評価するにはどのくらいの数のサンプルが必要であるかを調べた。結果を図1に示す。横軸はサンプル数、縦軸は変動エントロピーである。データは ETL8B から事前の調査により変動の大きそうな「ご」、平均的な値をとる「愛」、そして比較の変動が小さな「一」について調べた。図1の「一」のグラフで20, 80付近に段があるのは画像にノイズがあるために文字の位置がずれたことによる。そのようなサンプルを除いたグラフが点線である。その結果サンプルは100程度あればよいことがわかる。よって以降の実験はサンプル数100で行う。但し手書き変動とは関係のないノイズによる位置ずれが大きいサンプルは除く(除去の方法は文献(10)を参照)。

3.2 ETL8B の変動について

式(2)に従って計算し、ソーティングした結果を図2に示す。全体の傾向として簡単な文字種ほど大きな値を示している。但し「一」は上下に広がる要素が少ないので例外的に小さな値を示す。また、複雑な文字種の間では角張ったものほど小さな値をもつ傾向にある。このことを文字の画数を複雑さの尺度として見てみると図3のようになる。横軸は画数であり座標 H はすべてのひらがなを表す。図には各画数についての平均値(○印)と最大値、最小値およびそれらの文字種を示している。やはり画数の小さな文字種ほど、そして同一画数では端点の多い文字種ほど大きな値をもつことがわかる。この理由としては簡単な文字は自由度が大きいこと、画数の大きい文字は文字面積が大きく重なり合いやすいことが挙げられる。更に、端点の少ない文字種が小さな変動を示すのは、ストローク間関係が強くストローク位置の自由度が小さいことによるものと考えられる。また、ひらがなはその平均値から3~4画の漢字に相当する。これらのことは概して我々の直

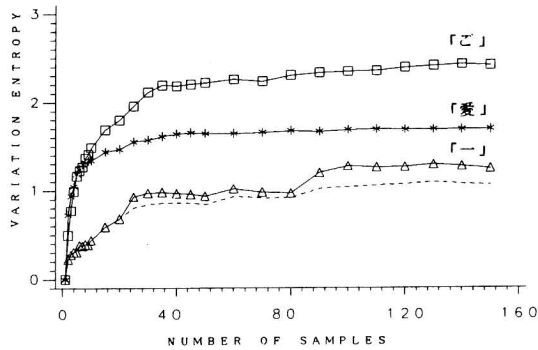


図1 サンプル数と変動エントロピー
Fig. 1 Variation entropy versus number of samples.

感と一致するものがある。

実は、図2のような傾向は文献(1)にも示してある。但し測定方法が異なり同一文字種の辞書パターンに対する類似度の平均値を評価値として用いている。変動エントロピーと類似度の関係をグラフに示すと図4のようになる。+は ETL8B, △は ETL9B のひらがな各71文字種の値である。図より変動エントロピーと類似度の間には強い負の相関があることがわかる。ここで類似度のための辞書は50サンプルの平均値を用い、それらを含む100サンプルの類似度の平均をその文字種についての類似度の値とした。変動エントロピーと類似度についての解析的考察は4.で行う。

3.3 ETL8B と ETL9B の比較

ETL8B について「っ」、「ゃ」、「ゅ」、「ょ」を除いた952文字種の変動エントロピーを計算した。各文字種はノイズを含むサンプルを除いて100個用いた。ETL9B についても比較のために同一の文字種集合に対して変動エントロピーを計算した。表1に平均値および最大・最小値、そして平均文字線幅を示す。文字線幅は注目している黒画素 $p(i, j)$ に対し

$$p(i-1, j) + p(i, j-1) + p(i+1, j) + p(i, j+1)$$

の値が3以下の点を境界点として定義し境界点の総和を L としたとき、黒画素の総数 B に対して線幅 w を

$$w = B / (L / 2)$$

と定義した。なお文字線幅の測定は画数の少ない文字種の方が誤差が少ないと考えられるので、ひらがな71文字種で行った。

ETL9B は文献(2)によれば ETL8B より認識率が悪く変動が大きいと報告されている。しかし、表1を見ると ETL9B の方が変動エントロピーの値が小さく一見予想と反しているように見える。全体を見ても95%以上

0.00--> 1.00	KOSUU	0	
1.00--> 1.10	KOSUU	1	
—			
1.10--> 1.20	KOSUU	0	
1.20--> 1.25	KOSUU	0	
1.25--> 1.30	KOSUU	1	
量			
1.30--> 1.35	KOSUU	4	
費置	1.35--> 1.40	KOSUU	13
兼	1.40--> 1.45	KOSUU	35
構	1.45--> 1.50	KOSUU	66
事	1.50--> 1.55	KOSUU	109
鼻	1.55--> 1.60	KOSUU	120
番	1.60--> 1.65	KOSUU	120
黃	1.65--> 1.70	KOSUU	120
標	1.70--> 1.75	KOSUU	102
—	1.75--> 1.80	KOSUU	80
—	1.80--> 1.85	KOSUU	59
—	1.85--> 1.90	KOSUU	42
—	1.90--> 1.95	KOSUU	32
—	1.95--> 2.00	KOSUU	19
—	2.00--> 2.10	KOSUU	17
—	2.10--> 2.20	KOSUU	11
—	2.20--> 2.30	KOSUU	3
—	2.30--> 2.40	KOSUU	1
—	2.40--> 3.00	KOSUU	1

園	観	暑	童	里	農	積	勇	横	面	確	買	墓	電	聞	軍	暴		
勸整期	曲験	難賞	贊	働	慣	著	積	勇	横	面	確	買	墓	電	聞	軍	暴	
雜額陽	田閑像	属酸飲	機健罪	展養間	唱医画	増臣護	編幅遣	續業雪	種精	静橋	題野	解異	基門	腸困	用動	輕損	銅集	
轅檢幹敬	象場朝散	旗善由見	聖貴星車	親黒郡争	毒勝麻春	婦自刷章	因筆謝際	賀實票領	館葉再島	險使晴賀	価酒線服	団助路革	務個順日	届神衛借	東算月勢	側植滿無	建着銀齒	
絶原諸育塩	資典帳馬独	論識易貧下	管英燈脈わ	質查よ通察	極厚効都数	素綿歌製張	負雨まく複	寒因居森習	望富固両色	福棄需鉄移	湖青麦南敗	博第停昨因	帯組限連	興旧油産	時復例接	回協町器	規留予孝	
株省断昇板	者官商音宮	早貨遠清苦	教録ね統局	巴長拜白席	師品倉達選	的も楽道刀	財疑候進祖	宿貯鉞村稅	昼義禁鳥高	錢後策材熱	強登真四燒	招努肥絳制	緑湯港草	畑械鳴あ	海貨味来	準釈潔具	飲度根案	
知能本平詞	貝持陸別引	温金ろ愛退	統足倍族中	照有実陸週	航恩夜德希	加委捨岸短	適民効前坂	版告表孫粉	耳庭特別祝	称姉菜美未	弱声意同失	辭級発拳話	除史型私	ぼ兄肉始	考病祭就	良形節想	れ毛旅芸	
未世ん秋	院消拯才	誤混説舌	受変性誠	党去礼他	丁王均波	寄巷探天	快主放息	言内秒写	体件底舍	飛答総液	手走夫花	係石深過	詩低力廻	当欲母故	血依容供	紀児否作		
可従牛	号存討	減起句	生年政	夕俗何	み司修	訳送任	打ち決	玉住參	台府社	功徒米	非評追	半在ぼ	切す右	布延岩	待我急	濟条午	部太多	
法文庄	立計治	学士	包店	定記	役完	活赤	子ち	印兵	犯元	談会	成球	てず	炭大	ぎ欠	武比	休洋	向市	
戸や	歩宗	派広	悲似	伝上	氣氷	安ひ	ぞ仕	代究	池位	証	付防	人	せ	流	九	忠		
交	か	へ	久	っ	永	守	収	工	泳	七	け	州	冬	近	災	方	太	
汽	点	冷	が	べ	六	入	公	分	念	じ	式							
應	ら	ふ	ぶ	仁	た	少	び	だ	川									
こ	こ	ぶ	仁															

図2 ETL8Bの変動エントロピー
Fig.2 Variation entropy of ETL8B.

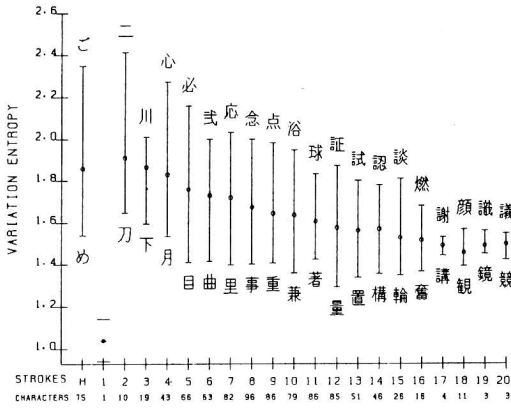


図3 画数と変動エントロピー (下段の数字は当該画数をもつ文字種数)
 Fig. 3 Variation entropy versus number of strokes ('CHARACTERS' means the number of categories with the same number of strokes).

の文字種で ETL8B より小さな値を示している。この違いを端的に示しているのが図5である。これは同一文字種の 100 サンプルを重ね合わせたときの黒画素の出現比率に対する画素数のヒストグラム (相対度数) であり、ひらがな 71 文字種に対する 1 文字種当りの平均的な値である (図では注目域を拡大するため出現比率 0.0~0.03 に対する値は省略してある)。実線が ETL8B, 破線が ETL9B を表す。グラフから ETL8B の特徴として中間的濃度値をもつ画素数が多く、高い濃度値をもつ画素数が ETL9B に比べて少ないことがわかり、両データベースの変動エントロピー値の差の裏付けとなっている ($-x \log x$ は $x=0.368$ のとき最大になることに注意)。具体例として、文字種「あ」を 100 サンプル重ね合わせた 3 次元図形を図6に示す。(a)は ETL8B の「あ」であるが見かけ上は(b)の ETL9B の「あ」より文字らしく見える。しかし、(a)の変動エントロピーは 1.641 であり、(b)のそれは 1.389 である。黒画素のばらつきぐあいに注意して見ると、(a)では全体的に文字の尾根線のまわりに行儀よく書かれているのに対し、(b)では文字線の集まっているところとそうでないところが(a)より顕著であることに気がつく。このようなことは他の文字種についてもいえて、ETL8B と ETL9B データベースの大きな品質の違いとなっている。この違いの原因としては提示してある見本文字や文字の記入枠の大きさの違いが考えられる。すなわち、ETL8B では印刷文字を 10 mm×10 mm の記入枠いっぱい提示してあり、ETL9B ではデザイナーが 12 mm×12 mm の枠に書いたものを 1/2 に縮小して 8 mm×

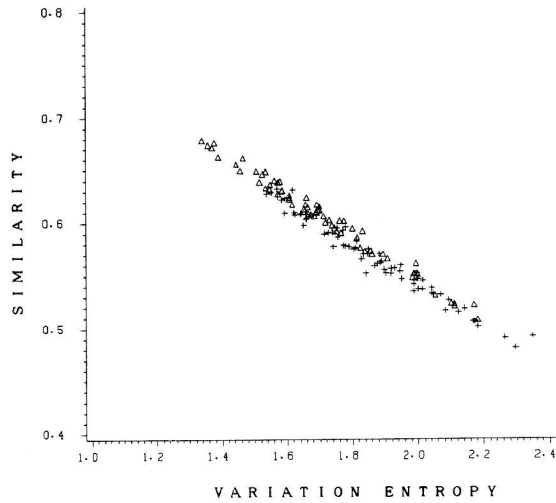


図4 変動エントロピーと類似度の関係
 (+は ETL8B, △は ETL9B のひらがな 71 文字種)
 Fig. 4 Relation between similarity and variation entropy
 (+: ETL8B, △: ETL9B; 71 categories).

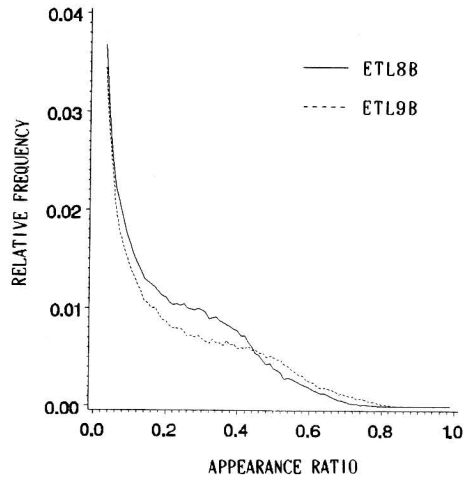


図5 黒画素出現比率の相対度数
 Fig. 5 Relative frequency for appearance ratio of black pixels.

9 mm の記入枠に提示してある。どちらもていねいに書くように指示されているが、このような環境の違いが表1の平均線幅にも顕著に現れており、また品質の違いの一因にもなっているように思われる。

このように文字変動エントロピーの結果からは、ETL9Bの方が ETL8B より各文字種の巨視的変動が小さいという結果が得られた。しかし、これは文献(2)の報告からの予想とは反しているため、更にこれらの類

似度, 認識率を求める.

3.4 各種規格化による認識率と変動量の関係

ETL8B と ETL9B について認識率, 類似度および変動エントロピーを計算しそれらの関係を調べる. また, 文字変動を吸収する目的でよく行われる基本的な規格化を施した場合, 認識率と変動量がどのように変わる

かを見てみる. ここでは次の4種類の規格化について比較する.

- (1) 中心一致の規格化: 原パターンそのものを使う.
- (2) 重心一致の規格化: 文字の重心を一致させる. 文字枠をはみ出した場合には縦横均等に縮小する.
- (3) 大きさ一定の規格化: 文字枠いっぱい縦横を

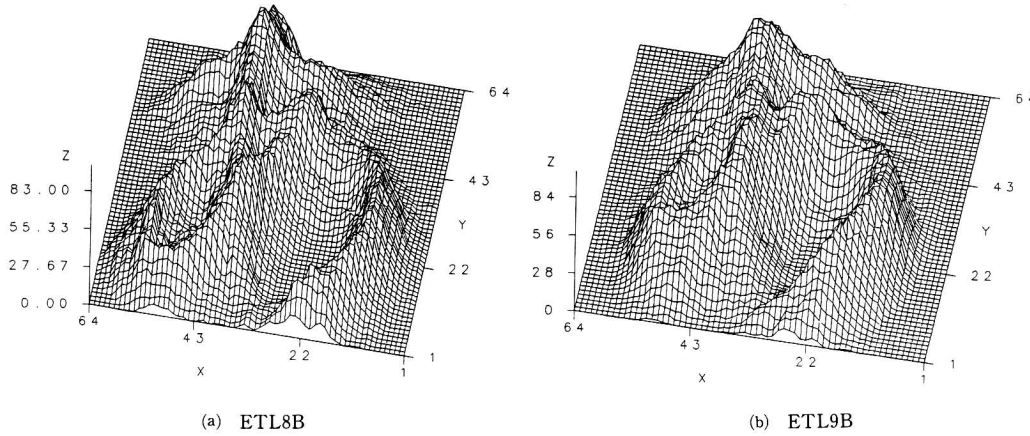


図6 「あ」の3次元図形
Fig. 6 3-dimensional figures of HIRAGANA character "あ".

表1 ETL8BとETL9Bの比較

	平均値	最大値	最小値	平均線幅
ETL8B	1.671	2.414	1.039	4.085
ETL9B	1.393	2.138	1.026	4.819

表2 各種規格化との関係

(a) ETL8B (ひらがな71字種)

	変動 Entropy	字種間 類似度	認識率(%) / (類似度)		
			全体	学習	未知
中心一致	1.865	0.519	77.18 (0.567)	81.30 (0.577)	73.07 (0.557)
重心一致	1.823	0.495	82.24 (0.583)	85.21 (0.592)	79.27 (0.574)
大きさ一定	1.632	0.519	83.11 (0.618)	85.92 (0.625)	80.31 (0.610)
線密度一定	1.471	0.574	84.30 (0.616)	87.01 (0.618)	81.58 (0.613)

(b) ETL9B (ひらがな71字種)

	変動 Entropy	字種間 類似度	認識率(%) / (類似度)		
			全体	学習	未知
中心一致	1.716	0.597	71.85 (0.604)	76.23 (0.613)	67.47 (0.596)
重心一致	1.528	0.557	80.63 (0.646)	83.47 (0.654)	77.80 (0.638)
大きさ一定	1.351	0.583	80.04 (0.676)	83.16 (0.682)	76.93 (0.670)
線密度一定	1.202	0.634	83.34 (0.679)	86.20 (0.683)	80.48 (0.675)

拡大する。

(4) 線密度一定の規格化：文献(11)に示されている方法であり、線が密集しているところは拡大し、疎なところは縮めるなどの非線形変換をする。

各規格化については、ひらがな71文字種(「っ」「ゃ」「ゅ」「ょ」を除く)に対する当該文字種の類似度および変動エントロピー、それに類似度法による認識率を求めた。結果を表2に示す。表で()内の数字は類似度の値を表す。表中の字種間類似度は文字種間の分離度を表すもので、各文字種の辞書パターン同士($\tau_1 C_2$ 通り)の類似度の平均値である。結果からデータベース相互の変動エントロピーの値を比較してみると、各規格化とも ETL9Bの方が小さな値を示しているが、認識率に関しては文献(2)の報告どおり ETL8Bの方が良い結果となっている。このことは変動エントロピーの大小が認識率の良否とは必ずしも一致しないことを表している。しかし、同一のデータベースで考えると文字種間の分離が悪くなっているにもかかわらず、おおよそ両データベースとも規格化の番号順に認識率が良くなる傾向にあり、それに伴って変動エントロピーが小さくなっている。このことは変動エントロピーを規格化手法の評価にも用いることができることを意味している。

以下に変動エントロピーの値が小さくなる文字種を例示することにより、変動エントロピーに与える各規格化手法の影響について考察する。表3(a)に、中心一致の規格化(1)よりも重心一致の規格化(2)の方が効果的

な文字種、同表(b)に重心一致の規格化よりも大きさ一定の規格化の方が効果的な文字種、更に同表(c)に大きさ一定の規格化よりも線密度一定の規格化の方が効果的な文字種を ETL8B, ETL9B よりそれぞれ上位3文字種示した。

まず、中心一致の規格化(1)と重心一致の規格化(2)を比較する。表3(a)より規格化(2)が効果的なのは、「つ」や「し」などストロークの長さに変動が生じやすい文字種や、「す」のような縦ストロークと横ストロークが交差する位置が不安定な文字種であることがわかる。このように重心位置がストロークの長さや位置の変動で大きな影響を受ける文字種は規格化(2)が効果的に働くと思われる。

次に、重心一致の規格化(2)より大きさ一定の規格化(3)の変動エントロピーが小さいということは、手書きの性質として文字の広がり変動が存在していることを意味している。このことは表3(b)に示すように規格化(3)の効果が顕著な文字種には「い」や「こ」のようにストロークが分離していて、重心が一致しても広がり変動が生じやすい文字種が多いことからもうかがえる。

最後に、大きさ一定の規格化(3)と線密度一定の規格化(4)を比較する。表3(c)より「づ」や「ぶ」のような濁点をもつ文字種に対して規格化(4)が効果的であることがわかる。これは濁点の書かれる位置が不安定であり、線形な規格化ではこの種の局所的な変動は吸収できないためと考えられる。

なお、表3では規格化の番号順に変動エントロピーの値が小さくなる文字種の例を挙げたが、もちろんなかには逆の文字種もある。しかしこれらは数も少なく、値の差もわずかである。

4. 変動エントロピーと類似度の関係

図4の結果では、変動エントロピーと類似度との間にはかなり強い負の相関があった。このことをモデルを用いて解析的に考察しシミュレーション実験を行う。

いま、簡単のために1次元連続空間を考え、その上でパターン $g(x-\tau)$ を発生させる。 τ は確率密度関数 $f(\tau)$ に従うものとする。

$$g(x-\tau) = \begin{cases} 1 & \tau-a \leq x \leq \tau+a \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

発生した $g(x-\tau)$ を重ね合わせることで理想的な辞書パターン $B(x)$ を作成する。

$$B(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)g(x-\tau)d\tau \quad (3)$$

表3 各種規格化の比較

(a) 中心一致の規格化(1)と重心一致の規格化(2)

ETL8B		ETL9B	
規格化(1)	規格化(2)	規格化(1)	規格化(2)
す	1.773	つ	1.800
つ	1.950	し	2.111
づ	2.297	す	1.584
	1.406		1.270
	1.652		1.657
	2.025		1.233

(b) 重心一致の規格化(2)と大きさ一定の規格化(3)

ETL8B		ETL9B	
規格化(2)	規格化(3)	規格化(2)	規格化(3)
い	2.267	い	1.948
こ	2.022	こ	1.835
し	1.993	り	1.700
	1.484		1.241
	1.366		1.206
	1.366		1.103

(c) 大きさ一定の規格化(3)と線密度一定の規格化(4)

ETL8B		ETL9B	
規格化(3)	規格化(4)	規格化(3)	規格化(4)
づ	2.140	ぶ	1.858
で	2.071	ふ	1.626
ぶ	2.041	づ	1.802
	1.630		1.362
	1.661		1.188
	1.661		1.370

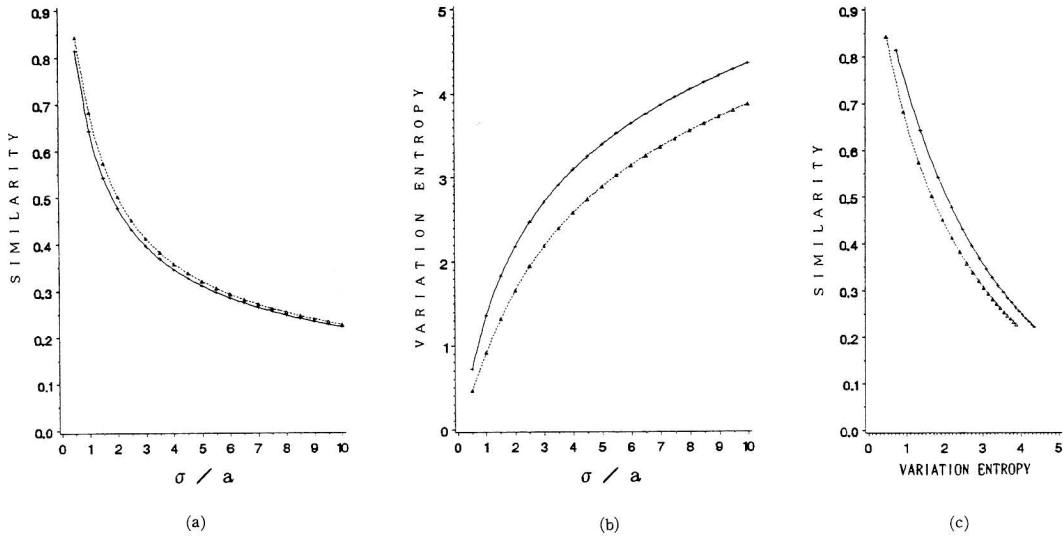


図7 シミュレーション結果(実線:一様分布モデル, 破線:正規分布モデル)

(a) σ/a と類似度 (b) σ/a と変動エントロピー
 (c) 変動エントロピーと類似度の関係

Fig. 7 Results of simulation (solid line : uniform distribution model, dotted line : normal distribution model).

(a) Similarity versus σ/a (b) Variation entropy versus σ/a
 (c) Relation between similarity and variation entropy

さて、辞書パターン $B(x)$ と $g(x-\tau)$ との類似度 $S(\tau)$ を

$$S(\tau) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} B(x) \cdot g(x-\tau) dx}{\|B\| \cdot \|g\|} \quad (4)$$

で定義するとその期待値は式(5)となる。

$$E[S] = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) S(\tau) d\tau \quad (5)$$

具体的に $f(\tau)$ として分散 σ^2 をもつ正規分布関数式(6)と一様分布関数式(7)を仮定してシミュレートしてみる。

$$f(\tau) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2} \sigma} \exp\left(-\frac{\tau^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

$$f(\tau) = \begin{cases} 1/2\sqrt{3}\sigma & -\sqrt{3}\sigma \leq \tau \leq \sqrt{3}\sigma \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

式(3)より辞書パターンは

$$B(x) = \int_{x-a}^{x+a} f(\tau) d\tau = F(x+a) - F(x-a) \quad (8)$$

となる。ここに F は τ の分布関数である。この $B(x)$ を辞書パターンとして 10,000 個の $g(x-\tau)$ を発生して類似度を求めその平均を計算した。その結果を σ/a を変数とした $E[S]$ のグラフとして図 7(a) に示す。図より σ/a が大きくなるに従って小さな類似度値を示すことがわかる。

また、変動エントロピーは $B(x)$ のエントロピー $I(B)$ より

$$h = I(B) - \log 2a \quad (9)$$

で計算される。その結果を σ/a を変数として図 7(b) に示す。更に図 7(a) および (b) から得られる類似度と変動エントロピーの関係を図 7(c) に示す。図より変動エントロピーの同じ値に対する類似度の値は、 $f(\tau)$ の形状に依存してばらつきが生じることが予想される。図 4 のプロット点は図 7(c) の曲線に沿って分布しており、この場合の縦方向のばらつきも文字種ごとの分布 $f(\tau)$ の違いによるものと考えられる。

なお、密度関数 $f(\tau)$ は理想パターン $g(x)$ と生じたパターン $g(x-\tau)$ との「1 次元的なずれ」を表す確率変数 τ の密度と解釈するより、それらが重なり合う面積を表す確率変数 $2a - |\tau|$ (但し、 $|\tau| > 2a$ のときは 0) の密度と解釈すべきである。現実の文字パターンの類似度は図 4 より 0.47 から 0.68 の範囲に入っている。図 7(a) より、その範囲に対応する 1 次元モデルの σ/a は、1.0 から 2.5 の範囲となる。この値は文字パターンの「位置の変動」と考えると異常に大きな値と思われるが、上述の解釈から「重なり合う面積の変動」と考えると妥当な値である。例えば理想パターンに対しわずかな文字線幅だけずれると重なり合う面積はかなり

小さくなるが、そのようなパターンは頻繁に発生することからも理解できよう。このように $f(\tau)$ を解釈することにより、この1次元モデルを2次元データにも適用することができる共通のモデルとしてとらえることができる。

5. む す び

本論文では巨視的変動を定量化する変動エントロピーを提案した。これは文字の拡大縮小変換に不変であり、文字種間の変動評価が可能である。これを手書き漢字データベース ETL8B, ETL9B に適用した結果、画数の小さい文字種ほど、同一画数では端点の多い文字種ほど変動エントロピーは大きいことが明らかとなった。

変動エントロピーで評価することは類似度で評価することとほぼ等価であるが、値が一意に定まり、類似度計算に必要な辞書パターンを作る必要がなく、計算コストも格段に少なくてよいなどの優れた特徴がある。しかし、これは文字種ごとの変動の評価であり、文字種間関係を考慮に入れなければならない認識率に対する指標とはならない。だが3.4で述べたようにパターン変換に対する認識率の推移の動向はこれにより推測することができるため、簡単な計算でのこのような利用法も有用であろう。

今後は計算量が少なく、値が一意に定まり、かつ文字種間関係を考慮に入れた文字変動の評価量が望まれる。

謝辞 本研究で用いたデータベース ETL8B, ETL9B を提供して下さった電子技術総合研究所の関係各位に感謝します。

本研究に協力して下さった松平正年君(現セイコー・エプソン株式会社)に感謝します。

文 献

- (1) 齊藤, 山田, 山本, 森: “手書き文字データベースの解析(V)”, 電総研彙報, **45**, 1, 2, pp. 49-77 (昭57).
- (2) 齊藤, 山田, 山本: “JIS 第1水準手書き漢字データベース ETL9 とその解析”, 信学論(D), **J68-D**, 4, pp. 757-764 (昭60-04).
- (3) 斐, 蕪山, 山本: “手書き文字認識の一手法—多元圧縮法と部分パターン法による認識”, 信学論(D), **J68-D**, 4, pp. 773-780 (昭60-04).
- (4) 北村, 北川, 真田, 手塚: “ストローク生成規則を用いた手書き文字パターンのストローク抽出方式と実験的検討”, 信学論(D), **J68-D**, 9, pp. 1680-1688 (昭60-09).
- (5) 泉井, 原島, 宮川: “ストロークに基づく辞書の変形を用いた手書き文字の変動吸収”, 信学論(D), **J69-D**, 2, pp. 231-240 (昭61-02).
- (6) 萩田, 増田: “手書き漢字の位置ずれと傾き変動の定量化

法”, 信学技報, **PRL85-75** (1986).

- (7) 齊藤, 山田, 森: “手書き文字データベースの解析(III)”, 電総研彙報, **42**, 5, pp. 385-434 (昭53).
- (8) R. Shinghal and C. Y. Suen: “A method for selecting constrained handprinted character shapes for machine recognition”, IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell., **PAMI-4**, 1, pp. 74-78 (1982).
- (9) 森, 山田, 齊藤, 宮川: “手書き文字の変動解析”, 情報処理, **18**, 8, pp. 814-821 (昭52).
- (10) 長谷, 米田, 酒井, 松平, 吉田: “文字の手書き変動の評価に関する一考察”, 信学技報, **PRU87-29** (1987).
- (11) 山田, 齊藤, 山本: “線密度イコライゼーション—相関法のための非線形正規化”, 信学論(D), **J67-D**, 12, pp. 1379-1394 (昭59-12).

(昭和62年9月28日受付, 12月22日再受付)



長谷 博行

昭46富山大・工・電気卒。同年株式会社ゼネラル入社。昭50富山大・工・技官。現在電子工学科助手。この間、視覚生理の研究。最近は文字、文書認識の研究に従事。情報処理学会会員。



米田 政明

昭42東北大・工・通信卒。昭47同大大学院博士課程了。同年富山大・工・講師。現在、助教授。この間、オートマツン・言語理論、パターン認識、AIの研究に従事。工博。情報処理学会会員。



酒井 充

昭54富山大・工・電子卒。昭56同大大学院修士課程了。同年同大にてパターン認識に関する研究に従事。昭57同大・工・技官。情報処理学会会員。



吉田 順作

昭19北大・工・電気卒。同年陸軍。昭20NHK。昭21同技術研究所。昭54富山大教授。テレビ伝送、磁気記録、ファクシミリなどの研究に従事。工博。テレビジョン学会、画像電子学会、日本応用磁気学会各会員。