

日本字筆跡の変動解析と筆跡個性に関する基礎的検討

上田 勝彦 松尾 賢一

奈良工業高等専門学校情報工学科

〒639-1080 大和郡山市矢田町 22

E-mail: {ueda, matsuo}@info.nara-k.ac.jp

問題となる文書中の筆跡から、その筆者を特定する、いわゆる筆跡鑑定、筆者照合、筆者識別などの研究は古くから行われている。これらの研究は、指紋と同様に筆跡には筆者固有の特徴（筆跡個性）が存在するという前提に立っている。しかしこの前提条件は、一部を除いて主として経験に基づく主観的な判断によるものである。著者らは、このような経験的知見に基づく筆跡の個性の存在を、定量的に検証することを目指している。本研究では、この目的のための基礎的研究として、変動エントロピーと呼ばれる量によって個人内と個人間の筆跡変動を調べた。併せてパターンマッチング法による筆者照合実験を行った。そして両者の結果を比較検討したところ、個人内筆跡の変動エントロピーが小さく、かつ個人間筆跡の変動エントロピーとの比が小さいほど筆者照合の精度が高くなるという結果が得られた。このことから本解析手法によって、筆跡個性（恒常性と希少性）を検証することが可能であるという見通しを得た。

Experimental Analysis of Variation and Individuality of Japanese Handwritings

Katsuhiko UEDA Ken-ichi MATSUO

Department of Information Engineering, Nara National College of Technology

22 Yata-cho, Yamatokoriyama, Nara, 639-1080 Japan

E-mail: {ueda, matsuo}@info.nara-k.ac.jp

The handwriting analysis to determine the writer, such as so-called handwriting examination, writer verification and writer identification are done for a long time. These are based on a hypothesis that handwriting is individualistic. However the individuality of Japanese handwriting has not been established with scientific rigor and therefore its admissibility as forensic evidence can be questioned. Our objective is to make a contribution towards the scientific validation. In this report we propose a method of validating handwriting individuality using variation entropy and a writer verification. As an experimental result, when both the variance entropy of the *within-writer* and the ratio of the variance entropy of the *within-writer* to that of the *between-writer* were small, the accuracy of writer verification result was higher. We got a prospect to be possible of validating handwriting individuality by this analysis technique from this investigation.

1. まえがき

文書中の筆跡から当該文書の正当性を確認したり、既知文書の作成者との異同を判定したりする、いわゆる筆跡鑑定、筆者照合あるいは筆者識別と呼ばれる筆跡の分析は、犯罪捜査や裁判における証拠を提供するために日常多く行われている。筆跡鑑定などが必要とされる状況から考えて、鑑定結果は極めて重要な意味を持つため、十分訓練された専門家による慎重な検査が行われている。しかし現状のこの分野には、以下の基本的な問題点があり、客観的・科学的な進歩の妨げになっていると考えられる。

まず第1に、筆跡鑑定では一部計測値を用いる場合もあるが、基本的には目視観察と鑑定者の経験に基づく主観的判断によって行われており、鑑定結果の客観性や鑑定者の時間的・労力的負担も非常に大きいということがあげられる。第2は、筆跡鑑定の根拠に関する問題である。すなわち筆跡鑑定は、当該筆跡にその筆者の個性が表現されており、他人にはない特徴が存在するというを前提としている。筆跡の個性とは、いわゆる書きぐせのことで、具体的には、筆跡の恒常性（ある個人の筆跡は筆記ごとに若干の変動はあるものの、ほぼ固定化した文字が現れること）と筆跡の希少性（固定化された筆跡が他人のものとは異なっていること）の両者を兼ね備えているということである。この筆跡の存在は、長年にわたる多くの実例を通して、経験的に認められていることであり、また定量的な検証研究の例も報告されている [1] が、十分ではない。

以上述べた2つの課題の中で、第1の課題については、我々は諸外国の研究例 [2], [3] を参考にしながら、筆跡鑑定支援システムの開発を行っている [4], [5]。

本報告では、上の第2の課題である筆跡個性の存在の定量的な検証についての基礎的な検討を行った結果について述べる。従来の研究で

は、配字、文字の大きさ、字画構成など、鑑定に用いられる検査項目（筆跡特徴）を主な対象として検討を行っている。しかし基礎的な検討段階では、まず筆跡の全体的な形態の変動を解析するのが適当であるとの考えから、本研究では、同一字種の筆跡について個人内の変動と個人間の変動を解析することにした。筆跡変動の評価量としては、長谷らによって提案された変動エントロピー [6] を採用した。この変動エントロピーは文字の大きさに依存しないという特徴を有するため、筆跡の構造的な変動を評価するのに適当であると考えられる。他方、筆跡の希少性を評価するために、パターンマッチング法 [7] による筆者照合を行った。そしてこれらの結果を総合して、筆跡全体の形態的な恒常性と希少性について検討を行った。

2. 変動エントロピーによる筆跡変動の評価

ここでは、画像としての筆跡の巨視的変動を評価する量として、長谷ら [6] によって提案された変動エントロピーの定義とその性質について概要を説明する。図1に示すように、2次元平面上の筆跡パターンを m 枚重ね合わせ、座標 (i, j) での黒画素（文字部）数を $n(i, j)$ ($n(i, j) \leq m$) とする。重ね合わせたときの総黒画素数 N は $N = \sum_{i,j} n(i, j)$ であるから、

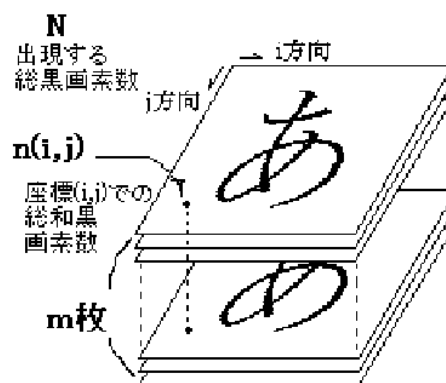


図1 筆跡パターンの重ね合わせ

$n(i, j)$ の分布のエントロピーは次式で与えられる。

$$I = -\sum_{i,j} \frac{n(i,j)}{N} \log \frac{n(i,j)}{N}$$

$$= -\sum_{i,j} \frac{n(i,j)}{N} (\log \frac{n(i,j)}{m} - \log b)$$

ここで $b (= N/m)$ は筆跡画像 1 枚あたりの平均黒画素数である。上式は次の (1) 式となる。

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

ここで、第 1 項を H 、すなわち

$$H = -\sum_{i,j} \frac{n(i,j)}{N} \log \frac{n(i,j)}{m} \quad (2)$$

とおくと、これは分布 $n(i, j)$ のエントロピーから黒画素数 b の同一パターンを m 枚重ねたときの $\log b$ を引いたもので m 枚の画像の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。

(2) 式で定義された変動エントロピー H は、文字の大きさや拡大縮小変換に依存せず、値が一意に定まり、類似度と強い相関を持つことが知られている (詳細は文献 [6] を参照)。

3. パターンマッチング法による筆者照合

筆跡の希少性を評価するための一方法として、筆者照合を行う。筆者照合とは、既知の筆跡資料と未知の筆跡資料とを比較照合することにより、未知筆跡資料の筆者が既知資料と同一か否かを判定することである。本研究では、先に述べたように筆跡の全体的な形態についての個性を検証することが目的であるので、2. で述べた変動エントロピーと強い相関のある類似度に基づく照合方法を採用する。具体的には、著者の一人が日本字署名照合のために提案したパターンマッチングによる方法 [7] を用いる。

次いで本照合法の概要について述べる。まず筆跡の線幅の影響を除去するために Hildich の細線化法 [8] により筆跡の線幅を 1 に正規化する。さらに安定したパターンマッチングの結果を得るために細線化画像に (3) 式によるボカシ処理を行う。

$$g(x, y) = \iint f(x - \alpha, y - \beta) h(\alpha, \beta) d\beta d\alpha \quad (3)$$

上式において、 $g(x, y)$ はボカシ画像、 $f(x, y)$ は細線化画像、 $h(\alpha, \beta)$ は点拡がり関数である。

次いで、このボカシ画像を用いて類似度の計算を行う。既知・未知の筆跡画像のパターンベクトルをそれぞれ \mathbf{X} 、 \mathbf{Y} として、両筆跡間の類似度は

$$S = \frac{(\mathbf{X}, \mathbf{Y})}{\|\mathbf{X}\| \cdot \|\mathbf{Y}\|} \quad (4)$$

で定義される。

他方、 r 個の学習用既知筆跡サンプルの類似度を $\{S_i (i=1, 2, \dots, r)\}$ とし、さらに $\{S_i\}$ の平均値と標準偏差をそれぞれ μ 、 σ として、既知筆跡に対する未知筆跡限界類似度 (閾値) T は、

$$T = \mu - a \cdot \sigma \quad (5)$$

で定義される。上式において a は任意の閾値定数である。未知筆跡の類似度 S_u が閾値 T よりも大きい場合は同一筆者、そうでない場合は異なる筆者と判定する。

4. 検証実験の方法

4.1. 実験に使用する筆跡サンプル

検証実験のための筆跡サンプルとしては、署名照合実験用に収集した署名サンプルを使用した。具体的には、10 名の筆者による本人署名が各々約 80 枚、合計約 800 枚である。全ての署名は 4 文字からなる。本人以外の筆者 (本人を除く 9 名) が、この 10 名の本人署名を見

本として、これを真似て書いた他人署名がそれぞれ約 50 枚、合計約 500 枚である。これらの署名サンプルは、大きさ 752×210 画素の白黒 2 値の pbm 画像として保存されている。署名サンプルの一例を図 2 に示す。本実験では、文字ごとの解析を行うので、これらの署名画像から文字ごとにその外接矩形を切り出して、大きさを 100×100 画素に正規化し、さらに位置の正規化を行ったものをこの実験で用いる筆跡サンプルとした。

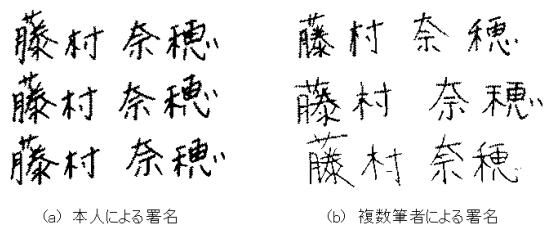


図 2 署名サンプルの例

4. 2. 実験方法

まず用意した署名画像について 4.1 で述べた前処理を施して文字ごとの筆跡画像を生成した。全てのサンプルを用いて、本人の筆跡間と他人の筆跡間の変動エントロピーをそれぞれ計算し、この値から筆跡の恒常性について検討する。

次いで、同じ筆跡サンプルを用いて筆者照合実験を行う。まず本人筆跡の各字種ごとに 5 個の学習用サンプルを選び、文献 [7] の方法で基準筆跡を決定した後、3. で述べた方法に従って筆者照合実験を行った。この際、(5) 式における閾値定数 a を変化しながら、第 1 種誤照合率（本人を他人と判定する誤り）と第 2 種誤照合率（他人を本人と判定する誤り）が等しくなる点の誤照合率で、本人筆跡の希少性を評価する。

5. 実験結果

5. 1. サンプル数と変動エントロピー

変動エントロピー H は、重ね合わせる画像の

枚数 m によって変化する。そこで筆跡変動を評価するためにはどの程度のサンプル数が必要であるかを調べた。具体的には「藤村奈穂」、「石井健一」の 2 種類の署名文字（合計 8 文字）について m を、利用できる最大枚数まで順次変化させながら m と H の関係を調べた。その一例を図 3 に示す。他の文字についても同図と同様な傾向が見られた。図 3 から、本人筆跡についてはサンプル数 60 枚程度で変動エントロピーの飽和が見られ、その値は安定することがわかる。他人筆跡についても、50 枚程度で飽和傾向が見られるが、60 枚程度のサンプルが必要と考えられる（原論文 [6] でも 100 枚程度としている）。今後、さらに多くのサンプルを用いた検討が必要である。

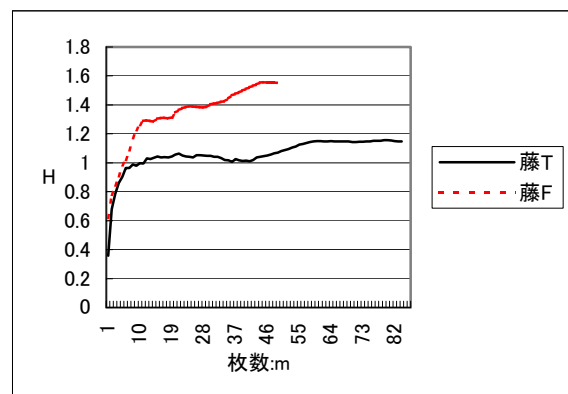


図 3 筆跡サンプル数と変動エントロピー
(藤 T: 本人筆跡, 藤 F: 他人筆跡)

5. 2. 変動エントロピーの計算結果と筆者照合実験の結果

用意した全ての筆跡サンプルについて、変動エントロピーを計算し、筆者照合実験を行った。その結果を表 1 にまとめて示す。表 1 は、左から署名セットの番号、字種、本人筆跡の変動エントロピー H_T 、他人筆跡の変動エントロピー H_F 、 H_F に対する H_T の比、筆者照合における誤照合率、をそれぞれ示している。

まず変動エントロピーの全体的な傾向としては、予期されたとおりほとんどの文字で H_T

表1 変動エントロピーと筆者照合の誤照合率

署名 No.	字種	変動エントロピー			誤照合率 (%)
		本人 H_T	他人 H_F	H_T/H_F	
1	不	1.49	2.14	0.70	21
	殿	1.28	1.94	0.66	22
	健	1.40	2.02	0.69	22
	治	1.48	2.16	0.69	25
2	藤	1.14	1.55	0.74	18
	村	1.15	1.79	0.64	5
	奈	1.38	2.00	0.69	15
	穂	1.34	1.78	0.75	13
3	井	1.33	1.80	0.74	42
	立	1.43	2.29	0.63	37
	充	1.33	2.15	0.62	21
	洋	1.60	2.12	0.76	38
4	石	1.95	2.20	0.89	35
	井	1.59	1.89	0.84	58
	健	1.77	2.03	0.87	33
	一	1.00	0.94	1.06	43
5	轡	0.89	1.54	0.58	1
	華	1.06	1.64	0.64	4
	代	1.47	2.20	0.67	13
	子	1.23	2.04	0.60	13
6	岡	1.55	2.07	0.75	32
	本	1.87	2.04	0.89	48
	圭	1.92	1.87	1.03	54
	司	1.42	1.83	0.77	35
7	田	1.42	1.65	0.86	57
	村	1.51	1.90	0.80	18
	寿	1.30	1.77	0.73	23
	人	1.88	2.39	0.79	38
8	土	1.31	1.75	0.75	42
	屋	1.13	1.37	0.82	24
	雅	0.91	1.26	0.72	30
	信	1.37	1.65	0.83	20
9	若	1.02	1.88	0.54	22
	林	1.17	1.95	0.60	16
	秀	1.15	1.92	0.60	25
	幸	1.01	1.77	0.57	12
10	吉	1.70	2.05	0.83	24
	村	1.81	1.86	0.97	48
	華	1.30	1.55	0.84	36
	代	1.85	2.20	0.84	31

が H_F より小さく、両者の比 H_T/H_F が 1 以下になった。しかし署名 No.4 の「一」と No.6 の「圭」の 2 字種については、逆に H_T が H_F より大きく、

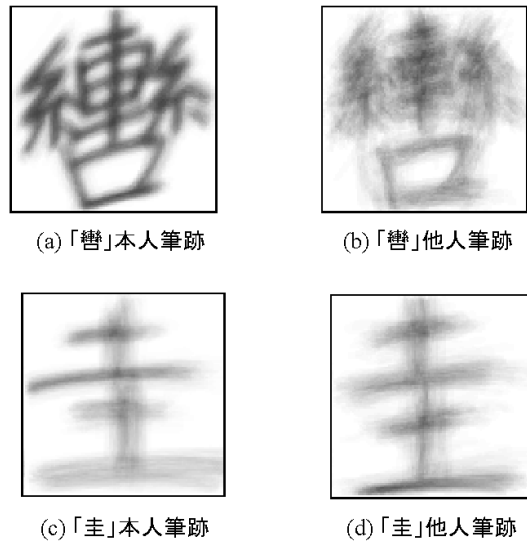


図4 重ね合わせ画像の例

個人内変動が個人間変動よりも大きいという結果になっている。「一」のような極めて単純な字画の場合は、不規則な変動によって偶然このような結果になったと考えられるので、検討対象から除外する。変動エントロピーが筆跡の恒常性を表す評価量になっていることを確認するために、重ね合わせ画像の黒画素頻度分布をグレースケールで表現し、視覚的に検討した。その一例を、図4に示す。同図において、(a)と(b)は、それぞれ表1において最も H_T が小さい署名 No.5「轡」の本人筆跡と他人筆跡の重ね合わせ画像を、また(c)と(d)は、それぞれ前述の署名 No.6「圭」の本人筆跡と他人筆跡の重ね合わせ画像である。これらの比較から、「轡」の本人筆跡は他人筆跡に比べて変動が非常に少ないことがわかる。これに対して「圭」の本人筆跡は、他人筆跡よりも変動が大きいことが視覚的にも読み取れる。従って本研究で採用した変動エントロピーは、筆跡の変動評価量として適切であり、筆者の恒常性の評価に利用できると思われる。また変動エントロピーの値は、字種によっても影響を受けると考えられるので、エントロピーの比 H_T/H_F を用いる方が適当であると思われる。

次に変動エントロピーと筆者照合における誤照合率の関係について検討する。誤照合率の低い本人筆跡は、恒常性と希少性を持つと考えられる。この観点から、表1で誤照合率の比較的低い(15%以下)筆跡は、署名 No.2 の「村」, 「奈」, 「穂」, 署名 No.5 の「響」, 「華」, 「代」, 「子」, 署名 No.9 の「幸」などである。これらは、変動エントロピー H_T と比 H_T/H_F が共に小さいという傾向が認められる。反対に誤照合率が極めて高い筆跡は、署名 No.4 の「井」, 署名 No.6 の「圭」, 署名 No.7 の「田」などで、誤照合率が50%を超えており、変動エントロピー H_T と比 H_T/H_F が共に大きい傾向がある。図5は、表1の全サンプルについて、変動エントロピーの比 H_T/H_F と誤照合率の関係を示す散布図である。同図からも、両者の間にはある程度の相関関係が認められる。

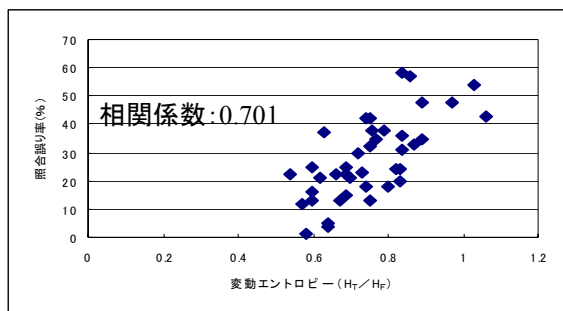


図5 変動エントロピーの比 H_T/H_F と誤照合率

以上を総合すると、他人筆跡から正確に分離できる本人筆跡は、変動エントロピーが小さく、恒常性が認められるものであるということ、すなわち筆跡の恒常性と希少性は表裏一体のものであるということが出来る。さらに筆跡の全体的な形態に関する限り、筆跡鑑定の前提条件とされている恒常性と希少性を満たさない場合があり得るということが明らかになった。

5. あとがき

本報告では、筆跡鑑定をはじめとする筆者認

識の前提条件とされる筆跡の恒常性と希少性を定量的に検証するために、変動エントロピーと筆者照合による基礎的検討を行った。その結果、本解析手法は筆跡全体の形態に関する恒常性・希少性の評価に使用できる見通しを得た。

しかし今後、さらに多くの筆跡サンプルを用いた詳細な評価が必要である。また実際の筆跡鑑定で用いられている字画構成、字画形態など多くの筆跡特徴についても個々に同様の検討を行う必要がある。

謝辞: 卒業研究課題として本実験に協力してくれた本校情報工学科学生 林田翔太君に深謝する。なお本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(C)15500163)の補助により行われた。

文 献

- [1] 高澤則美: 筆跡鑑定, 科学警察研究所報告法科学編, Vol.51, No.2, pp.43-53, 1998.
- [2] G.Holcombe et al.: Computer Aided Creation of Handwriting Comparison Charts in the Forensic Examination of Questioned Documents, *Handwriting and Drawing Research*, pp.493-507, IOS Press, Amsterdam, 1996.
- [3] K. Franke et al.: A Computer-Based System to Support Forensic Studies on Handwritten Documents, *International Journal on Document Analysis and Recognition*, Vol.3, No.4, pp.218-231, 2001.
- [4] 上田勝彦他: 文書鑑定のためのコンピュータ支援システム, 情報処理学会人文科学とコンピュータシンポジウム論文集, pp.273-279, 2002.
- [5] K. Ueda et al.: A Computer-Based system to Support Forensic Analysis of Japanese Handwriting, *Proc. of 11th conference of the International Graphonomics Society*, pp.286-290, 2003.
- [6] 長谷博行他: 変動エントロピーによる文字変動の評価, 信学論 D, Vol.J71-D, No.6, pp.1048-1056, 1988.
- [7] K. Ueda: Investigation of Off-Line Japanese Signature Verification using a Pattern Matching, *Proc. of 7th International Conference on Document Analysis and Recognition*, pp.951-955, 2003.
- [8] 森本吉春: プレイマイコンシリーズ 5 画像処理, 培風館, 1984.