

## 日本字筆跡の変動解析と筆跡個性に関する基礎的検討 (第2報)

上田 勝彦

大阪電気通信大学短期大学部電子情報学科

〒572-8530 寝屋川市初町18-8

E-mail: k-ueda@isc.osakac.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、個々の筆者は他人の筆跡とは異なる安定した筆跡（筆跡個性）を持っているという仮説に基づいている。この仮説は、長年にわたる多数の事例研究をとおして経験的に広く認められている。しかし鑑定結果の法科学的証拠としての信頼性を高めるためには、科学的・定量的に厳密に検証されなければならない。著者らは先にこのような立場から日本字署名を対照として、変動エントロピーと呼ばれる量と筆者照合実験によって筆跡個性の存在を検証する方法を提案した。本報告では、この手法を日本字の通常筆跡に適用した結果について述べる。さらに、この結果と先の署名筆跡に対する結果とを比較して、筆跡個性の表れ方の字種依存性と筆者依存性について検討し、筆跡個性に関する仮説の成立要件を考察する。

## Experimental Analysis of Variation and Individuality of Japanese Handwriting -Second Report-

Katsuhiko UEDA

Department of Electronics and Information Technology, Osaka Electro-Communication  
Junior College

18-8 Hatsu-cho, Neyagawa, Osaka 572-8530, Japan

E-mail: k-ueda@isc.osakac.ac.jp

The handwriting analysis to determine the writer, such as so-called handwriting examination, writer verification and writer identification is based on the hypothesis that each individual person has consistent handwriting that is distinct from the handwriting of other individuals. This hypothesis has been accepted subjectively through many case studies. However this hypothesis must be established with scientific and quantitative rigor in order to raise its admissibility as forensic evidence. From this point of view, the author proposed a method to validate individuality of Japanese signature by variation entropy and a writer verification experiment previously. This report describes the result that applied this method to normal Japanese handwriting. The author discusses on difference of a property of individuality expression between normal handwriting and signatures. The author discusses also a condition to which the hypothesis about handwriting individuality is accepted.

## 1. まえがき

問題の文書中の筆跡から当該文書の筆者を特定する、いわゆる筆跡鑑定（状況・目的によって筆者照合あるいは筆者識別とも呼ばれる）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。

筆跡鑑定は、個々の筆者は他人の筆跡とは異なる安定した筆跡を持っているという仮説に基づいて行われている。具体的には、個々の筆者の筆跡は、「筆記ごとに若干の変動はあるものの、ほぼ固定化している」、そして「固定化した筆跡が他人のものと異なる」という仮説である（図1）。本報告では、前者を筆跡の「筆者内恒常性」、後者を「個人差」と呼ぶ。そしてこの両者を併せて「筆跡個性」と呼ぶ。

筆跡個性の存在に関するこの仮説は、長年にわたる多数の事例研究をとおして経験的に広く認められている。しかし鑑定結果の法科学的証拠としての信頼性と説明性（説得力）を高めるためには、科学的・定量的に厳密に検証されなければならない。この認識は、諸外国においても同様であり、多くの研究が行われている。例えば米国において、Srihariらは約1500人の被験者から通常筆跡を収集して筆跡個性の検証実験を行った[1]。また日本においても、筆跡鑑定で用いられる筆跡特徴を中心に様々な観

点から研究が行われている[2]。しかし日本字は、欧文文字とは異なり、漢字、平仮名、片仮名、英数字など多くの字種からなる。また漢字は約2000字種にもなる。さらに漢字は、2次元的に組み合わせられた複雑な字画構造を持つ。したがって日本字の筆跡個性に関する研究は、様々な観点から行なわれなければならない。まだ十分な検証が行なわれたとは言えない。

以上の背景に基づいて、我々は前報[3]、[4]において変動エントロピーと呼ばれる評価量と筆者照合とを用いて日本字筆跡の個性を検証する方法を提案した。この研究においては、10人の被験者からの真正署名と偽造署名（単純偽署名）とを用いて署名の筆跡個性を検討した。その結果、この手法が筆跡個性の存在に関する仮説の検証に用いることができるという見通しを得た。

本報告では、前報の結果の一般性を高めるために、100名の被験者から収集した漢字、平仮名、片仮名文字の通常筆跡に対して、前報と同様の分析を行なった結果について述べる。すなわち、字種ごとに筆跡の筆者内変動および筆者間変動を求めて、筆者内恒常性を評価する。また筆者照合実験により、筆跡の個人差を評価する。そしてこれらの結果から通常筆跡における筆跡個性について検討する。さらに、これらの結果と前報における署名筆跡に対する結果を総合して、日本字筆跡における筆跡個性の現れ方について検討する。

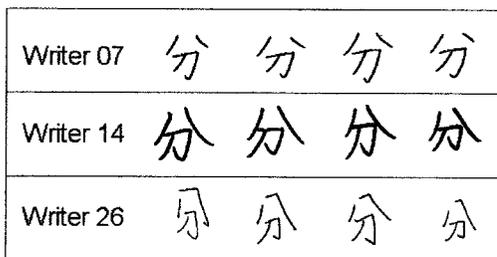


図1. 筆跡変動（3名の筆者の筆跡）

## 2. 筆跡の恒常性と個人差の評価

### 2.1 変動エントロピーによる恒常性の評価

本研究では、まず筆跡の全体的な形態に関する筆者内変動と筆者間変動を求めて、この結果から筆者内恒常性を評価する。筆跡の巨視的変動を評価する量としては、長谷らによって提案された変動エントロピー [5] を採用する。

まず文献[5]に基づいて、変動エントロピーの定義とその性質の概要を述べる。図2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、 $n(i, j)$  の分布のエントロピーは次式で与えられる。

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

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。

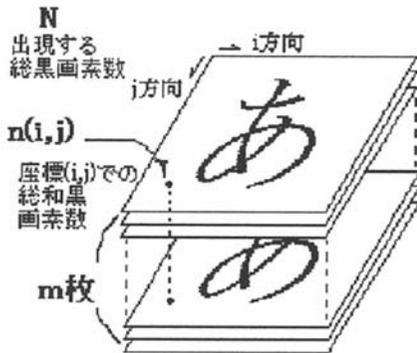


図2. 筆跡画像の重ね合わせ

(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 [5] を参照）。

## 2. 2 筆者照合による個人差の評価

筆跡の個人差を評価するための一方法として、筆者照合を行うことがある。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. 1で述べた変動エントロピーと強い負の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 [6] を用いる。

次に本照合法の概要について述べる。図3に照合過程と処理の概要を示す。まず筆跡の線幅の影響を除去するために Hildich の細線化法 [7] 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。

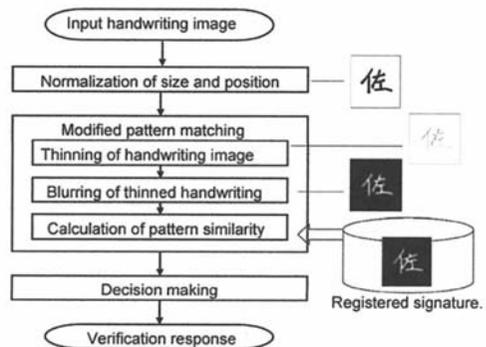


図3. パターンマッチングによる筆者照合過程

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

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筆者既知の登録筆跡との類似度を計算する。既知・入力筆跡画像のパターンベクトルをそれぞれ  $X, Y$  とし、両筆跡間の類似度は

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

により計算される。

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  $\mu, \sigma$  とし、既知筆跡に対する入力筆跡の限界類似度 (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。入力筆跡の類似度  $S_u$  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。

### 3. 検証実験のための筆跡サンプルと実験方法

検証実験のための筆跡サンプルを収集するために、漢字・平仮名・片仮名からなる原文書を用意した (図 4 (a))。そして 100 名の被験者が、この原文書をもとに約 3 ヶ月間で 80 枚の

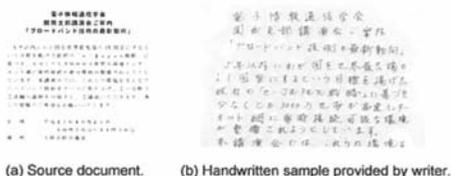


図 4. 筆跡サンプル作成のための文書例

手書き文書を作成した (図 4 (b))。これらの文書は、イメージスキャナを用いて解像度 300dpi、階調数 8 ビットの白黒濃淡画像としてコンピュータに入力され、さらに各筆跡画像が大きさ 185×185 画素で切り出される。最後に、切り出された濃淡筆跡画像は 2 値画像に変換され、筆跡の大きさと位置の正規化が行われる。このようにして準備した筆跡サンプルの中から、今回の実験では、表 1 に示すように漢字 19 字種、平仮名と片仮名それぞれ 10 字種を分析対象とした。各字種、各筆者あたり約 80 個の筆跡サンプルを実験に使用した。

上の筆跡サンプルを用いて、まず字種ごとの筆者内変動および筆者間変動を計算し、筆跡の筆者内恒常性を検討する。次いで、筆跡の個人差を検討するために、筆者照合実験を行う。これらの結果を総合して、筆跡の個性について検討する。さらに、以上の結果と前報における署名筆跡についての分析結果から、両者の筆跡個性の現れ方について検討する。

## 4. 実験結果

### 4.1 筆跡個性の字種依存性

最初に全ての筆者内・筆者間筆跡サンプルについて、字種ごとに変動エントロピーを(2)式に基づいて計算した。平仮名と片仮名に対する計算結果を図 5 に、漢字に対する計算結果を

表 1. 本実験に使用する字種

| Kanji characters-1            |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Character class No.           | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| Character                     | 人  | 上  | 大  | 文  | 日  | 分  | 永  | 田  | 合  | 長  |
| The number of strokes         | 2  | 3  | 3  | 4  | 4  | 4  | 5  | 5  | 6  | 8  |
| Order of appearance frequency | 6  | -  | 5  | -  | 1  | 28 | -  | 33 | 40 | 22 |
| Kanji characters-2            |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Character class No.           | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |    |
| Character                     | 事  | 変  | 点  | 時  | 間  | 慣  | 輪  | 権  | 離  |    |
| The number of strokes         | 8  | 9  | 9  | 10 | 12 | 14 | 15 | 16 | 18 |    |
| Order of appearance frequency | 26 | -  | -  | 15 | 30 | -  | -  | -  | -  |    |
| Hiragana characters           |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Character class No.           | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| Character                     | あ  | か  | さ  | た  | な  | は  | ま  | や  | ら  | わ  |
| Katakana characters           |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Character class No.           | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 |
| Character                     | ア  | カ  | サ  | タ  | ナ  | ハ  | マ  | ヤ  | ラ  | ワ  |

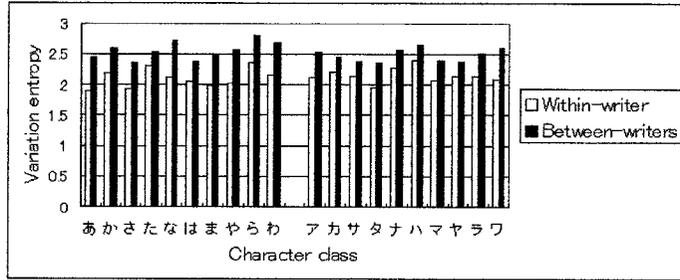


図5. 平仮名と片仮名の変動エントロピー

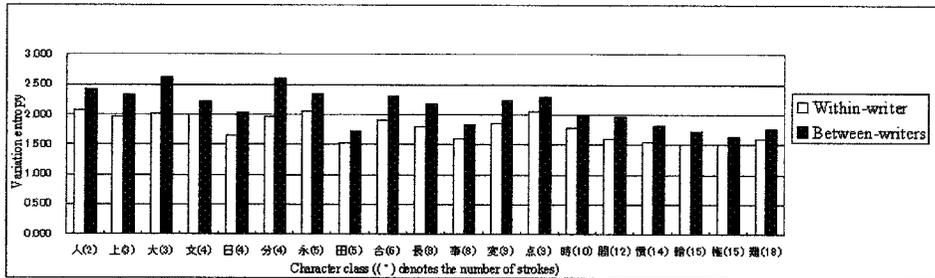


図6. 漢字の変動エントロピー

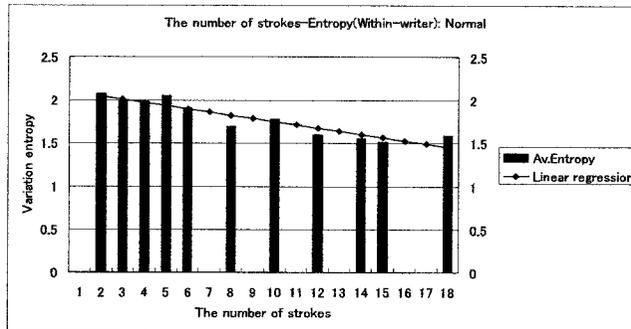


図7. 漢字の画数と変動エントロピーの関係

図6示す。両図において、筆者内筆跡の変動エントロピーは、各筆者の筆者内変動エントロピーを100名について平均した結果である。また図6において、漢字は左から右へ字画数の昇順に並べられている。

図5と図6から明らかのように、全体として筆者内変動は筆者間変動よりも小さく、筆跡個性の仮説の一部である「筆者内恒常性」を支持しているように見える。図5に示す平仮名と片

仮名は、図6の漢字に比べて相対的に変動エントロピーが大きく、2~3画の漢字に相当する大きさである。一方、図6の漢字の場合も一部の例外を除いて、画数の増加と共に筆者内・筆者間変動が小さくなる傾向が認められる。これは、複雑な字画構成の字種の場合は、各字画の空間配置が互いに制限されるためであると考えられる。そこで筆者内変動エントロピーについて、図6の横軸を画数の平等目盛りにとり、漢字を

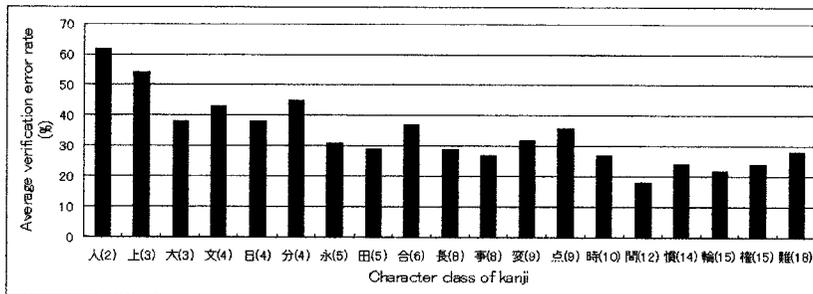


図 8. 漢字筆跡を用いた筆者照合実験の結果

再配置した結果が図 7 である。同図の直線は線形回帰であり、変動エントロピーの値はこの回帰直線によく一致していることがわかる。複雑な字種の場合は、画線が互いに重なるためにエントロピーの値が減少することも考えられるので、この結果からすぐに画数の多い筆跡は個人内恒常性が高いとは言えない。この点については、筆者照合の結果と併せて次に考察する。

図 8 は、漢字筆跡について筆者照合実験を行った結果である。同図において、平均誤照合率とは 100 名の本人筆跡の誤照合率の平均値である。図 8 の画数と平均誤照合率の関係は、図 6、図 7 の結果と類似の傾向が見られ、画数の多い字種に個人差が現れやすいといえる。また、平均誤照合率と筆者内変動エントロピーの相関係数を求めたところ、0.7 であった。

以上のことから、今回実験対象にした字種に関する限り、筆跡個性（個人内恒常性と個人差）は画数の多い字種に現れやすい傾向があると言える。なお、平仮名、片仮名についても照合実験を行ったが、誤照合率が高く 2~3 画の漢字に相当する値であり、字種に関しても一般的な傾向が認められなかったため、本稿では述べない。

#### 4.2 筆跡個性の筆者依存性

ここでは漢字筆跡について、筆跡個性の筆者

依存性を検討する。図 9 は、筆者内恒常性を検討するために 9 名の筆者について、筆者間変動エントロピー  $H_F$  に対する筆者内変動エントロピー  $H_T$  の比  $H_R$ （エントロピー比という）を示す。同図から明らかなように、エントロピー比  $H_R$  は筆者に強く依存していることがわかる。特に筆者 No.26 は、筆者内変動エントロピー  $H_T$  が筆者間変動エントロピー  $H_F$  を上回っており、筆者内変動が大きいと言える。

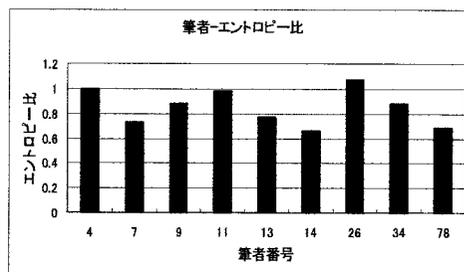


図 9. 筆者による変動エントロピーの変化

他方、筆者照合実験の結果を筆者毎にまとめた直したところ、100 名の筆者の誤照合率は、約 20%~60% の範囲に分布した。この中で最小・最大の誤照合率の筆者を表 2 に示す。  $H_R$  が最大であった筆者 No.26 の誤照合率は、100 名中最大であった。反対に最小の誤照合率を与えた筆者 No.14 の  $H_R$  は、100 名中最小であった。

以上を総合すると、変動エントロピーで表現

表 2. 筆者照合実験結果の例

|  |                     |                     |
|--|---------------------|---------------------|
| Writer No.   | 14                  | 26                  |
| Verification error rate (%)                                  | 19.6                | 61.2                |
| Ratio of variation entropy<br>(within-writer/between-writer) | 0.61<br>(1.40/2.31) | 1.02<br>(2.36/2.31) |

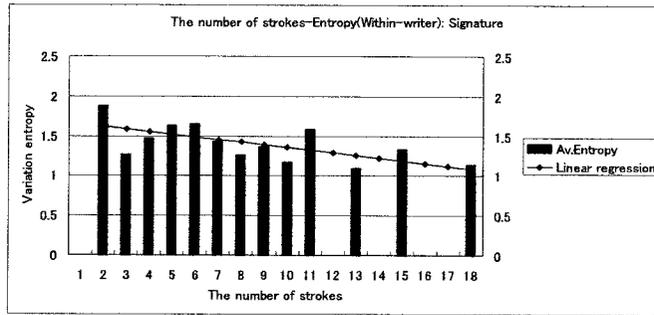


図 10. 署名筆跡の画数と変動エントロピーの関係

表 3. 通常筆跡と署名筆跡の比較

|                    | Average of entropy ratio ( $H_T/H_F$ ) | Average verification error rate (%) | Correlation coefficient of $H_T$ and $H_F$ |
|--------------------|--|-------------------------------------|--|
| Normal handwriting | 0.85                                   | 33.90                               | 0.93                                       |
| Signatures         | 0.75                                   | 27.85                               | 0.65                                       |

した筆者内恒常性と誤照合率で表現した個人差の間には密接な関係があり、変動エントロピー、誤照合率共に小さな筆跡集合には、その筆者の筆跡個性が存在するという仮説が成立していると言える。しかし今回の実験対象となった筆者の中には、この仮説を満たさないものがあるということは注意すべきである。

#### 4. 3 通常筆跡と署名筆跡の比較

今回の実験で得られた通常筆跡と前報[3]、[4]で得られた署名筆跡に対する分析結果を比較し、筆跡個性の現れ方について検討する。

まず署名筆跡の字種ごとの変動エントロピーを、図7の形にまとめ直した結果を図10に示す。対象字種が今回のものと異なるが、図10では、図7に見られたような変動エントロピーの字種依存性が明確に現れておらず、字種(画数)よりも筆者に依存する傾向があるように推察される。

このことをさらに詳しく見るために、通常筆跡と署名筆跡それぞれの全サンプルについて、筆者内変動エントロピー $H_T$ の筆者間変動エントロピー $H_F$ に対する比の平均値、平均誤照合率、 $H_T$ と $H_F$ の相関係数をまとめた結果を表3に示す。同表から明らかのように、エントロピ

一比の平均値および誤照合率は、署名筆跡の方が小さく、筆跡個性が顕著に表現されていることがわかる。また $H_T$ と $H_F$ の相関係数は、通常筆跡では極めて高く、筆跡変動は字種の影響を強く受けていることを示唆している。一方署名筆跡の場合は、字種よりも筆者の影響が強く現れていることを示唆している。

以上の事実から、通常筆跡と比較して署名筆跡の筆者内恒常性および個人差は高く、より強く筆跡個性が表出していると考えられる。

## 5. あとがき

本報告では、筆跡鑑定の拠り所となっている筆跡個性（筆者内恒常性と個人差）の検証を進めるために、漢字、平仮名、片仮名の筆跡を対象にして、前報で提案した分析手法を適用した。その結果、筆跡個性の表出は筆者に依存することは勿論、字種にも依存することが明らかになった。さらに、この結果を署名筆跡に対する結果と比較したところ、筆跡個性の現れ方が通常筆跡とは異なり、字種よりも筆者に強く依存することがわかった。

しかし本研究で取り扱った筆跡サンプルは、日常使用されている字種の数に比べて極めて少数である。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。

## 文 献

- [1] Srihari S. N. et al.: Individuality of handwriting, *Journal of Forensic Sciences*, Vol.47, No.4, pp.1-17, 2002.
- [2] 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.
- [3] 上田勝彦他: 日本字筆跡の変動解析と筆跡個性に関する基礎的検討, 情報処理学会研究報告, 2004-CH-63, pp.1-6, 2004.
- [4] Ueda K. et al.: Experimental Analysis of Variation and Individuality of Japanese Handwriting, *Journal of Forensic Document Examination*, pp.15-31, 2006.
- [5] 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.
- [6] Ueda K.: Investigation of Off-Line Japanese Signature Verification using a Pattern Matching, *Proc. of the 7<sup>th</sup> International Conference on Document Analysis and Recognition*, pp.951-955, 2003.
- [7] Hilditch C. J.: Linear Skeletons from Square Cupboards, *Machine Intelligence IV (Meltzer B. & Michie D. Eds.)*, University Press, Edinburgh, pp.403-420, 1969.