

## 多重辞書類似度法による手書き漢字識別の基礎実験†

塩 野 充\*\*

文字認識の最も基本的な方法である重ね合わせの手法はその簡便さと、雑音に対する強さから近年手書き文字認識にも応用が活発化している。しかしながら単純な重ね合わせだけでは認識性能においてある限度を越えることは困難であり、大分類段階で利用するにも不十分な能力である。重ね合わせの手法の典型である単純類似度法においては辞書パターンは一般に1カテゴリ1個である。そこで本研究では1カテゴリの辞書パターンを複数化した類似度法(多重辞書類似度法と呼ぶ)において、辞書パターン数を次第に増加させていった場合、認識率はどのように変化してゆくかを調べることに、類似度法の持つ基本的な識別能力を検討する実験を電脳研手書き漢字データベース ETL 8-B 2 により行ってみた。この実験は膨大な類似度計算を必要とするので通常の汎用超大型計算機でも時間的、経済的に不可能に近いので、東京大学大型計算機センターのスーパーコンピュータ S-810/20 を用いて行った。実験では辞書パターン数の増加に伴い、認識率が単調増加してゆき、1カテゴリ当たり80個の辞書パターンを使用した場合、同じ80個の辞書パターンを加算して作成した単一の辞書パターンを使用した単純類似度法より約11.7%高い認識率91.45%が得られた。

## 1. ま え が き

文字認識の最も基本的な方法である重ね合わせの手法(テンプレートマッチングあるいはパターンマッチング的手法とも言われ、類似度法はその典型である)はその簡便さと、構造解析の手法等に見られる些細な雑音に対する弱さが少ないことから近年手書き文字認識にも応用が活発化している。しかしながら類似度法のような単純な重ね合わせだけでは認識性能においてある限度を越えることは困難である。その理由は印刷文字の場合と異なり、手書き文字の場合、筆記者の個性による書き癖(手書き歪みと呼ぶ)が多種多様であり、辞書パターンがその歪みを吸収しきれないからである。同じ文字を書いても十人十色で各人各様の手書き文字が存在し、ミクロ的に見れば筆記者の数だけ手書き歪みが存在しうることになり、また同一人でもいつも同じ手書き歪みで文字を書くとは限らない。しかし、重ね合わせの手法による文字認識レベルで見た場合、筆記者数に比例して手書き歪みの多様性も限りなく増加してゆくとは考えにくい。手書き歪みの多様性は筆記者数を増加させていった場合、ある程度のところで徐々に収束してゆくのではないかという予測ができる。すなわち十人十色とは言えても百人百色、千人千色とは必ずしも言えないのではないかという予測である。

一般に通常の類似度法(単純類似度法)においては

† A Fundamental Experiment on Handprinted KANJI Recognition by Multidictionary Templet Matching Method by MITSURU SHIONO (Department of Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Okayama University of Science).

\*\* 岡山理科大学工学部電子工学科

辞書パターンの数は1カテゴリ1個である。そこで本研究では前述の予測に基づき、類似度法において1カテゴリの辞書パターン数を次第に増加させていった場合、認識率はどのように変化してゆくかを調べることに、類似度法の持つ基本的な識別能力を検討する実験を行ってみた。1カテゴリの辞書パターンを増加させた場合、必ずしも認識率が向上するとは限らず、かえって類似文字間の誤読が増える可能性もある。例えば「ソ」と「ン」ではかなり区別の不明確な書き方をする筆記者もあり、それらが学習サンプルに混入しているとかえって誤読を増やす作用をしてしまう可能性がある。

このような実験は膨大な類似度計算を必要とするので通常の汎用超大型計算機でも時間的、経済的に不可能に近いので、スーパーコンピュータ(ベクトル計算機)を用いて行った<sup>1)~3)</sup>。

## 2. 多重辞書類似度法

## 2.1 単純類似度法

文字画面次数を  $I \times J$  とし、未知入力パターンを  $F(1: I, 1: J)$ 、第  $k$  カテゴリ ( $k=1, \dots, K$ ;  $K$  は全カテゴリ数) の辞書パターンを  $D^{(k)}(1: I, 1: J)$  とし、 $F(i, j)$  を  $F_{ij}$  等と略記すると単純類似度  $s$  は、

$$s(F, D^{(k)}) = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (F_{ij} \cdot D^{(k)}_{ij})}{\left( \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J F_{ij}^2 \right)^{1/2}} \cdot \left( \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J D^{(k)}_{ij}^2 \right)^{1/2} \right\} \quad (1)$$

と定義される<sup>4)</sup>。カテゴリ決定は、 $F$  と全カテゴリの全辞書パターン  $D^{(k)}$  との  $K$  個の類似度を求めてか

ら、

$$s(F, D^{(c)}) = \max_k \{s(F, D^{(k)})\} \quad (2)$$

なる  $c$  を求めて決定カテゴリとする。

1 個の未知入力パターンを認識するためには  $K$  回の類似度計算が必要である。1 回の類似度計算では式 (1) の分子で  $IJ$  回の積和計算、分母で  $2IJ$  回、合計  $3IJ$  回の積和計算が必要である。したがって 1 個の未知入力パターンの認識には  $3IJK$  回の積和計算 (2 値画面ゆえ整数演算) と 2 回の平方根計算、1 回の乗算と除算 (いずれも浮動小数点演算) が必要である。

## 2.2 多重辞書類似度法

1 カテゴリ 1 辞書パターンの単純類似度法に対して、1 カテゴリに複数個の辞書パターンを用いる次の方法を多重辞書類似度法と呼ぶことにする。多重辞書類似度法では類似度の計算においては同じ式 (1) を用いるが、複数の辞書パターンを使うので第  $k$  カテゴリの第  $m$  辞書パターン ( $m=1, \dots, M; M$  は 1 カテゴリ当たりの辞書パターン数) を  $G_m^{(k)}(1: I, 1: J)$  と表すと、カテゴリ決定は、 $F$  と全カテゴリの全辞書パターン  $G_m^{(k)}$  との  $KM$  個の類似度を求めてから、

$$s(F, G^{(c)}) = \max_{k, m} \{s(F, G_m^{(k)})\} \quad (3)$$

なる  $c$  を求めて決定カテゴリとする。したがって単純類似度法の場合の  $M$  倍の計算量、すなわち  $3IJKM$  回の積和計算、 $2M$  回の平方根計算、 $M$  回の乗算と除算を必要とする。

## 2.3 複合類似度法

複数の辞書パターンを使用する他の類似度法としてはよく知られている複合類似度法<sup>5)</sup>がある。第  $k$  カテゴリの辞書パターンを、

$$G^{(k)} = \{G_m^{(k)} | m=1, \dots, M\} \quad (4)$$

とすると、 $F$  と  $G^{(k)}$  との複合類似度  $s$  は次のように定義される<sup>6)</sup>。

$$s(F, G^{(k)}) = \left[ \frac{(1/M) \cdot \sum_{m=1}^M \left\{ \left( \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J F_{ij} \cdot G_m^{(k)} \right)^2 \right. \right.}{\left. \left. \left( \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J F_{ij}^2 \cdot \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J G_m^{(k)} \right)^2 \right\}} \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$= \left[ \frac{\sum_{i=1}^I \left\{ (\lambda_i^{(k)} / \lambda_i^{(k)}) \left( \sum_{j=1}^J F_{ij} \cdot \Phi_i^{(k)} \right)^2 \right. \right.}{\left. \left. \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J F_{ij}^2 \right\}} \right]^{1/2} \quad (6)$$

ここで  $\Phi_i^{(k)}$  は  $G_m^{(k)}$  をベクトルと見なしたときの固有ベクトルであり、 $\lambda_i^{(k)}$  はその固有値である。また、

$$\lambda_l^{(k)} \geq \lambda_{l+1}^{(k)} \quad (l=1, \dots, M-1)$$

$$M' \leq M \quad (7)$$

とする。すなわち、固有ベクトル  $\Phi_i^{(k)}$  は固有値の大きい順に並べ換える。学習サンプル数は  $M$  より少ない  $M'$  で近似する。計算量は式 (5) では  $3IJKM$  回の積和計算、 $KM$  回の乗算と除算、 $K$  回の除算と平方根計算が必要である。式 (6) では  $2IJKM'$  回の積和計算、 $2KM'$  回の乗算と除算、 $K$  回の平方根計算が必要である。

## 3. 認識実験

### 3.1 実験概要

実験に用いたサンプルは電総研手書き教育漢字データベース ETL8-B2 である。本データベースは 2 値化および位置と大きさの正規化済みデータ<sup>7)</sup>であるので、そのまま重ね合わせ的手法に適用できる。1 カテゴリ 160 サンプルで教育漢字 881 カテゴリ分合計 140,960 個の漢字サンプルが収納されている。実験では 1 カテゴリのうち奇数番目 (#1, #3, ..., #159) の 80 個を辞書パターン作成 (学習) サンプル、偶数番目 (#2, #4, ..., #160) の 80 個を未知サンプルとして用いた。全カテゴリ数  $K$  は収納されている 881 カテゴリすべてを用いるのが理想であるが費用等の関係で  $K=50$  カテゴリとした。音読みの 50 音順に並んでいる先頭からの 50 カテゴリで、以下に示す漢字であり、画数は「一」の 1 画から「衛」の 16 画まで各種混在している。

愛悪庄安暗案以位依困委意易異移胃遺医育一老印  
員因引飲院右雨運雲宮榮永泳英衛液益駅円園延遠  
遠塩央往応横

画面次数  $I \times J$  は  $63 \times 64$  である。使用したスーパーコンピュータは東京大学大型計算機センターの HITAC S-810/20 で、ピーク処理速度は 630 MFLOPS である。使用言語は FORTRAN 77 であり、文字画面配列をすべて 1 次元配列にするなどのベクトル化を行った結果、プログラムのベクトル化率は 99.363% となった。1 カテゴリの辞書数  $M$  は、 $M=10, 20, 40, 60, 80$  の 5 通りの場合を設定した。いずれも学習サンプルの先頭 (#1) から 10 個、先頭から 20 個、先頭から 40 個、などと使用した。行った実験は次の (a) ~ (e) の 5 種類である。ただし、本実験では認識不能と判断するリジェクト設定は行わず、正読と誤読のみとした。

実験 (a) :  $K=50$  で、 $M=10, 20, 40, 60, 80$  の五つの場合についての多重辞書類似度法による

表1 単純類似度法と多重辞書類似度法によるカテゴリ別認識率 (%)  
 Table 1 Categorical recognition ratio of simple templet matching method and multidictionary templet matching method.

カテゴリ	単純類似度法					多重辞書類似度法				
	M=10	M=20	M=40	M=60	M=80	M=10	M=20	M=40	M=60	M=80
01 愛	80.00	^71.25	93.75	^91.25	^90.00	67.50	^57.50	82.50	91.25	93.75
02 悪	65.00	71.25	82.50	^81.25	83.75	73.75	83.75	87.50	91.25	93.75
03 庄	62.50	^56.25	62.50	71.25	^70.00	75.00	81.25	91.25	93.75	97.50
04 安	62.50	68.75	70.00	70.00	^67.50	63.75	67.50	72.50	77.50	80.00
05 暗	78.75	81.25	95.00	97.50	97.50	86.25	93.75	97.50	98.75	98.75
06 案	82.50	82.50	82.50	83.75	^80.00	68.75	80.00	85.00	87.50	87.50
07 以	57.50	61.25	^58.75	63.75	65.00	78.75	83.75	92.50	96.25	97.50
08 位	33.75	36.25	53.75	58.75	62.50	60.00	72.50	78.75	78.75	80.00
09 依	63.75	65.00	73.75	76.25	76.25	73.75	80.00	86.25	90.00	93.75
10 罍	46.25	55.00	71.25	^61.25	63.75	63.75	^58.75	65.00	65.00	75.00
11 委	81.25	^78.75	85.00	85.00	86.25	82.50	83.75	92.50	^91.25	95.00
12 意	67.50	68.75	78.75	81.25	81.25	63.75	73.75	81.25	82.50	^81.25
13 易	68.75	67.50	76.25	^71.25	80.00	83.75	83.75	90.00	91.25	91.25
14 異	66.25	76.25	80.00	85.00	^82.50	68.75	80.00	83.75	92.50	92.50
15 移	77.50	90.00	91.25	91.25	^90.00	80.00	88.75	92.50	^90.00	90.00
16 胃	67.50	^56.25	73.75	77.50	81.25	72.50	^62.50	78.75	83.75	87.50
17 遣	78.75	83.75	^67.50	73.75	^72.50	81.25	82.50	83.75	88.75	90.00
18 医	72.50	82.50	91.25	92.50	^91.25	83.75	85.00	90.00	93.75	95.00
19 育	46.25	63.75	86.25	^80.00	83.75	57.50	88.75	90.00	92.50	92.50
20 一	92.50	93.75	93.75	95.00	95.00	98.75	98.75	^97.50	98.75	98.75
21 耆	68.75	77.50	83.75	83.75	85.00	76.25	90.00	95.00	^93.75	95.00
22 印	67.50	70.00	71.25	75.00	80.00	83.75	92.50	95.00	96.25	98.75
23 員	73.75	^61.25	71.25	77.50	77.50	62.50	70.00	85.00	85.00	91.25
24 因	63.75	65.00	75.00	77.50	^75.00	66.25	75.00	80.00	81.25	82.50
25 引	77.50	^75.00	80.00	^77.50	^75.00	83.75	87.50	92.50	95.00	95.00
26 飲	91.25	^87.50	^86.25	91.25	^90.00	83.75	88.75	93.75	96.25	97.50
27 院	73.75	75.00	83.75	85.00	86.25	67.50	73.75	87.50	91.25	93.75
28 右	68.75	71.25	72.50	^71.25	71.25	78.75	88.75	91.25	91.25	92.50
29 雨	67.50	71.25	75.00	80.00	^78.75	71.25	80.00	91.25	97.50	97.50
30 運	83.75	83.75	90.00	^86.25	87.50	80.00	90.00	90.00	92.50	92.50
31 雲	72.50	77.50	81.25	^80.00	88.75	66.25	80.00	90.00	93.75	96.25
32 營	67.50	78.75	82.50	85.00	85.00	60.00	76.25	91.25	93.75	93.75
33 榮	66.25	73.75	76.25	76.25	^75.00	60.00	76.25	87.50	87.50	88.75
34 永	72.50	^67.50	68.75	70.00	75.00	83.75	87.50	91.25	91.25	95.00
35 泳	43.75	45.00	58.75	63.75	67.50	62.50	71.25	91.25	95.00	96.25
36 英	68.75	77.50	81.25	^78.75	83.75	67.50	77.50	88.75	92.50	93.75
37 衛	82.50	^81.25	83.75	88.75	^83.75	80.00	^77.50	91.25	95.00	95.00
38 液	61.25	73.75	^72.50	^71.25	^70.00	67.50	82.50	83.75	86.25	86.25
39 益	71.25	87.50	91.25	93.75	93.75	86.25	87.50	96.25	98.75	98.75
40 駅	90.00	96.25	97.50	97.50	97.50	93.75	93.75	98.75	98.75	98.75
41 円	55.00	80.00	^75.00	78.75	80.00	75.00	85.00	91.25	^88.75	90.00
42 園	53.75	78.75	78.75	82.50	^81.25	47.50	78.75	82.50	86.25	^82.50
43 延	52.50	62.50	68.75	71.25	71.25	66.25	71.25	85.00	95.00	96.25
44 演	77.50	^68.75	72.50	73.75	80.00	76.25	77.50	82.50	83.75	83.75
45 遠	32.50	33.75	51.25	^42.50	47.50	48.75	^47.50	72.50	^68.75	68.75
46 塩	93.75	^91.25	96.25	^95.00	^93.75	87.50	^83.75	91.25	91.25	92.50
47 央	61.25	^55.00	73.75	76.25	80.00	73.75	75.00	85.00	91.25	92.50
48 往	62.50	67.50	75.00	76.25	76.25	68.75	78.75	^76.25	86.25	86.25
49 応	56.25	65.00	^56.25	60.00	^57.50	66.25	80.00	81.25	83.75	90.00
50 横	88.75	93.75	^92.50	93.75	95.00	86.25	92.50	95.00	98.75	100.00
平均認識率 (%)	68.35	72.05	77.80	78.95	79.78	73.23	80.05	87.45	90.03	91.45
処理時間 (秒/字)	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.400	0.796	1.590	2.389	3.180

## 認識実験.

実験(b):  $K=50$  で, 実験(a)と同じこれら  $M$  個 ( $M=10, 20, 40, 60, 80$ ) の学習サンプルを加算して  $M$  で割って濃度値を  $[0, 1]$  に正規化し, しきい値  $0.25^7$  で 2 値化した画面を辞書パターンとする単純類似度法による認識実験.

実験(c):  $K=50, M=80$  で画面次数を  $32 \times 32$  および  $16 \times 16$  に縮小した場合の多重辞書類似度法による認識実験. (縮小は  $2 \times 2$  の 4 画素を縮小画面の 1 画素に対応させ, 4 画素のうち 2 画素以上が黒ならばその 1 画素を黒とする簡単な方法を用いた.)

実験(d):  $M=80, K=881$  (全カテゴリ) の場合の「愛」, 「悪」, 「庄」, 「安」, 「暗」の先頭 5 カテゴリだけについての多重辞書類似度法と単純類似度法による認識実験.

実験(e):  $K=50, M=80$  なる複合類似度法による認識実験. なお, この実験は参考までに式(5)を用いて簡単に行ったものであり, 固有ベクトルによる式(6)を用いた本格的な意味の複合類似度法ではない.

## 3.2 実験結果

表1に実験(a)と(b)のカテゴリ別認識結果をまとめて示す. 表2に実験(c)の結果を示す. 表3に実験(d)の結果を認識率と誤読状況で示す. 誤読先のカテゴリを多い順に 3 位まで示し, カッコ内にその個数を示す. 表4に実験(a), (b)の  $M=80$  の場合と実験(e)の結果を合わせて, 認識率と誤読状況で示す. 誤読先のカテゴリを多い順に 2 位まで示し, カッコ内にその個数を示す. 2 位以内でも 1 個の場合は省略してある. 表5に実験(a), (b)の  $M=80$  の場合および

表2 画面を縮小した多重辞書類似度法による認識結果  
Table 2 Recognition ratio by multidictionary templet matching method with reduced picture sizes.

画面次数 $I \times J$	63×64	32×32	16×16
平均認識率(%)	91.45	92.67	86.42

実験(e)における類似度の値を示す. 「愛」の未知サンプル 80 個のうち最大の類似度で整合したものと最小の類似度で整合したものの 2 個のサンプルについて, 各サンプルの示した類似度値を降順に第 1~5 位と, 最低位(単純類似度法と複合類似度法では第 50 位, 多重辞書類似度法では  $50 \times 80$  ゆえ第 400 位となる)について整合カテゴリとともに示す. 類似度値の値域は各方式とも  $[0, 1]$  である. 整合類似度値の大小は認識性能とは直接の関わりはないが参考までに示す.

スーパーコンピュータを用いた効果を検証するために実験(a)における  $M=10$  の場合を同センターの主システムである汎用超大型計算機 HITAC M-280 H を使用して行ってみた. その場合の 1 文字当たりの処理時間(CPU 時間)は, 9.132 秒となり, [S-810/20] の場合の 0.400 秒に対し約 22.8 倍の処理時間を要した. これより, 例えば実験(a)の S-810/20 の総 CPU 時間は表 1 より  $(0.400 + 0.796 + 1.590 + 2.389 + 3.180) \times 80 \times 50 = 33420$  (秒)  $\div 9.28$  (時間) となるがこれをもし M-280 H で実行するとして 22.8 倍すると  $211.66$  (時間)  $\div 8.8$  (日) となり一般的にはまず不可能である.

## 3.3 考察

表 1 より, 多重辞書類似度法では学習サンプル数(辞書パターン数)  $M$  の増加に伴い, 認識率も単調に増加している場合がほとんどである. 減少している箇

表3 881 カテゴリの辞書パターンを用いた単純類似度法と多重辞書類似度法による先頭 5 カテゴリの認識率と誤読状況  
Table 3 Recognition ratio and erroneous categories of leading 5 categories by simple templet matching method and multidictionary templet matching method using the dictionary patterns of 881 categories.

カテゴリ	単純類似度法		多重辞書類似度法	
	認識率(%)	誤読(個)	認識率(%)	誤読(個)
01 愛	62.50	豊(6), 夏(3), 挙, 受, 童, 農, 番, 鼠(各2)	61.25	受(4), 費(4), 夏(3), 責(3)
02 悪	50.00	恩(5), 電(3), 要(3)	71.25	恩, 苦, 見, 是, 星, 男, 要(各2)
03 庄	50.00	厚(4), 三(4), 区(3), 風(3)	75.00	王(5), 左(4), 三(2)
04 安	43.75	要(7), 察(4), 革, 守, 申, 中(各2)	57.50	守(4), 中(4), 要(4)
05 暗	62.50	晴(8), 精(3), 略(3)	75.00	時(4), 晴(4), 略(4)
平均認識率	53.75 (%)		68.00 (%)	
処理時間	0.915 (秒/字)		55.985 (秒/字)	

表 4 単純類似度法, 多重辞書類似度法, 複合類似度法による認識における誤読状況 (M=80)

Table 4 Erroneous categories of simple templet matching method, multidictionary templet matching method and complex similarity method.

カテゴリー	単純類似度法		多重辞書類似度法		複合類似度法	
	認識率 (%)	誤読 (個)	認識率 (%)	誤読 (個)	認識率 (%)	誤読 (個)
01 愛	90.00	員(2)	93.75	員(2)	87.50	
02 惡	83.75	園(5), 意(2)	93.75	異(3)	87.50	異(4), 意(2), 運(2)
03 庄	70.00	医(6), 横(4)	97.50		75.00	医(5), 横(5)
04 安	67.50	委(4), 英(4)	80.00	委(4), 英(4)	72.50	委(5), 案(3), 英(3)
05 暗	97.50	横(2)	98.75		95.00	横(3)
06 案	80.00	育(3), 雲(3), 榮(3)	87.50	意(2), 異(2), 英(2)	88.75	異(3), 英(2)
07 以	65.00	駅(9), 塩(6)	97.50	医(2)	72.50	塩(8), 暗(5)
08 位	62.50	依(7), 塩(7), 横(7)	80.00	依(6), 往(4)	47.50	横(10), 依(9)
09 依	76.25	液(4), 塩(3)	93.75	位(3)	82.50	液(5), 飲(2), 衛(2), 横(2)
10 困	63.75	園(12), 因(9)	75.00	因(9), 園(9)	77.50	園(15)
11 委	86.25	雲(2), 濱(2)	95.00		87.50	雲(2)
12 意	81.25	惡(6), 育(5)	81.25	育(7), 惡(4)	75.00	惡(8), 育(8)
13 易	80.00	員(7), 異(2), 胃(2), 運(2)	91.25	異(4), 員(2)	76.25	異(6), 胃(5)
14 異	82.50	胃(6), 員(6)	92.50	胃(3)	87.50	胃(6)
15 移	90.00	横(5)	90.00	横(8)	87.50	横(9)
16 胃	81.25	異(10), 育(4)	87.50	異(4), 育(3)	91.25	異(6)
17 遣	72.50	遠(10), 運(6)	90.00	遠(5), 運(2)	90.00	運(3), 横(2)
18 医	91.25	困(2), 園(2)	95.00	園(2)	95.00	園(2)
19 育	83.75	胃(4), 委(2), 意(2)	92.50	胃(4)	87.50	意(3), 委(2), 異(2), 胃(2)
20 一	95.00	移(2)	98.75		97.50	
21 尠	85.00	育(2), 園(2)	95.00		90.00	異(2), 雨(2)
22 印	80.00	円(4), 横(3)	98.75		88.75	横(3)
23 員	77.50	胃(7), 異(4)	91.25	胃(5)	76.25	胃(9), 異(8)
24 因	75.00	困(9), 園(4)	82.50	困(5), 園(5)	71.25	困(9), 園(8)
25 引	75.00	園(7), 胃(3)	95.00	困(2)	82.50	胃(4), 円(3), 園(3)
26 飲	90.00	駅(3), 院(2)	97.50		92.50	駅(3)
27 院	86.25	横(4), 塩(3)	93.75	横(2)	80.00	横(8), 塩(2)
28 右	71.25	尠(6), 益(4)	92.50	尠(2)	72.50	尠(7), 益(3)
29 雨	78.75	衛(4), 因(3)	97.50		91.25	衛(3), 園(2)
30 運	87.50	医(2), 園(2), 横(2)	92.50	遣(2)	90.00	園(3)
31 雲	88.75	愛(4)	96.25		83.75	園(5), 委(2), 異(2), 胃(2)
32 營	85.00	雲(4), 胃(3)	93.75	榮(2)	83.75	胃(6), 異(4)
33 榮	75.00	案(3), 營(3)	88.75	英(4), 營(2), 液(2)	80.00	園(4), 案(3), 英(3)
34 永	75.00	駅(4), 暗(3), 医(3), 液(3)	95.00	榮(2)	73.75	医(3), 榮(3), 駅(3)
35 泳	67.50	液(10), 塩(5)	96.25		61.25	液(7), 困(4), 運(4), 塩(4)
36 英	83.75	意(4), 央(4)	93.75	央(2)	92.50	異(3)
37 衛	83.75	塩(4), 央(2)	95.00	園(4)	95.00	園(2)
38 液	70.00	育(7), 塩(4)	86.25	依(2), 塩(2)	76.25	育(5), 横(5)
39 益	93.75	塩(3)	98.75		93.75	央(2)
40 駅	97.50		98.75		97.50	
41 円	80.00	因(4), 引(3), 運(3), 横(3)	90.00	因(4), 園(2)	83.75	因(3), 引(3)
42 園	81.25	衛(4), 運(3)	82.50	因(8), 園(6)	97.50	
43 延	71.25	横(6), 塩(4)	96.25		57.50	横(16), 遣(4), 運(4)
44 濱	80.00	育(4), 液(4)	83.75	運(3), 液(3), 横(3)	71.25	遣(5), 横(5)
45 遣	47.50	遣(24), 運(6)	68.75	遣(14), 運(4)	23.75	遣(46), 運(6)
46 塩	93.75	運(2), 横(2)	92.50	益(2)	91.25	横(3)
47 央	80.00	英(7), 異(2), 横(2)	92.50	英(4)	80.00	英(6), 横(4)
48 往	76.25	横(9), 位(2), 移(2), 衛(2)	86.25	位(7)	72.50	横(16), 衛(2)
49 応	57.50	益(10), 央(6)	90.00	庄(3), 益(3)	57.50	益(9), 英(6)
50 横	95.00		100.00		98.75	
平均認識率		79.78 (%)		91.45 (%)		81.35 (%)
処理時間		0.014 (秒/字)		3.180 (秒/字)		3.012 (秒/字)

表 5 各類似度法における類似度値と整合カテゴリ (『愛』の場合)  
Table 5 Values of similarity degree and its matching category in each method (in the case of "愛").

手 法		1 位	カテ ゴリ	2 位	カテ ゴリ	3 位	カテ ゴリ	4 位	カテ ゴリ	5 位	カテ ゴリ	最低位	カテ ゴリ
単純類似度法	最大整合	0.6558	愛	0.5459	委 益	0.5456	意 横	0.5271	雲 委	0.5115	員 愛	0.1360	—
	最小整合	0.3015	愛 院	0.2973	—	0.2966	—	0.2928	—	0.2801	—	0.1058	—
多重辞書類似 度法	最大整合	0.6152	愛	0.5464	愛	0.5412	愛	0.5171	愛	0.5166	愛	0.0460	以
	最小整合	0.3175	横	0.3031	愛	0.3014	委	0.2993	横	0.2949	雲	0.0449	—
複合類似度法	最大整合	0.4154	愛	0.3851	案 園	0.3762	衛 委	0.3747	員 胃	0.3702	英 益	0.1566	—
	最小整合	0.2166	横	0.2008	—	0.2001	—	0.1985	—	0.1981	—	0.0851	—

所に△印を付してあるが、全体 200 箇所中 15 箇所 (7.5%) だけである。また、 $M=80$  の時に認識率が最高になっていないのは「意」、「移」、「園」、「遠」の 4 カテゴリだけである。平均認識率では  $M$  の増加につれて +6.83%, +7.40%, +2.58%, +1.43% 増加している。このことから、多重辞書類似度法において辞書パターン数をやたら増やすとかえって誤読が増えるのではないかという当初の懸念は局所的には散見されるにしても全体的に見ればほぼ否定されると考える。一方、単純類似度法の実験結果では認識率減少を示す△印が 50 箇所 (25%) も付いている。平均認識率では +3.70%, +5.75%, +1.15%, +0.83% の増加を呈しており、 $M=80$  の時に認識率が一応最高になってはいるが  $M=60$  と  $80$  では有意な差は見られない。1 文字当たりの処理時間に関しては多重辞書類似度法ではスーパーコンピュータでも相当に時間がかかり、 $M=80$  の場合では 3.180 秒もかかる。単純類似度法では一律に 0.014 秒である。多重辞書類似度法の  $M=10$  の場合に 0.400 秒となり、単純類似度法の 10 倍に相当していないのは全く別のプログラムを用いたのでプログラム構造の違いによるベクトル化率の差が影響しているのではないと思われる。

表 2 より、画面次数  $63 \times 64$ ,  $32 \times 32$ ,  $16 \times 16$  の比較では  $32 \times 32$  が 92.68% で最高となっている。本実験ではオリジナルの画面次数  $63 \times 64$  を基本に他の全ての実験を行ったが、この結果から画面次数は大きい方が良いとは限らないことが分かり、最適画面次数を求めるのも今後の課題の一つである。

表 3 より、881 カテゴリの辞書パターンを用いた場合でも多重辞書類似度法では単純類似度法より 14.25% 向上している。しかしながら処理時間は 1 分近くかかる。誤読状況では単純類似度法と多重辞書類似度法ではかなりの違いが見られる。例えば「愛」では前者で 6 個誤読した「豊」が後者では入っていない。

い。後者の誤読先の「受」「費」「夏」「責」はいずれも最下部に「ハ」形の類似したストロークがあるなど、構造的共通点も見られるが、前者の「豊」への誤読は単なる黒点分布の類似に過ぎないものと思われる。「庄」「安」「暗」等についても同様である。

表 4 では単純類似度法、多重辞書類似度法、複合類似度法の 3 者の比較を行っているが、多重辞書類似度法は複合類似度法よりも 10.1% 高い認識率となった。ただし、前述したようにここでの複合類似度法は式 (5) による簡便な実験であり、ボケ処理と正準化処理<sup>6)</sup> を施し、固有ベクトルによる式 (6) を用いた本格的な複合類似度法によれば、もっと高い認識率が得られる可能性が強い。処理時間に関しては多重辞書類似度法と複合類似度法では大差はないが、多重辞書類似度法が 0.168 秒長くなっているのは類似度の最大値を求める計算回数が 80 倍多いからである。ただし、複合類似度法でも固有ベクトルによる式 (6) を用いればもっと高速化されるであろう。

表 5 から、整合類似度値に関しては単純類似度法が 0.6558 と最大となり、複合類似度法で 0.4154 と最も低い。また、整合類似度値が最小となったサンプルの場合、いずれの方式でも誤読になっている。

#### 4. む す び

重ね合わせの手法による手書き漢字認識において、手書き歪みの多様性の収束可能性を調べるために、単純類似度法において 1 カテゴリ当たりの辞書パターン数を複数化した多重辞書類似度法なる方法による手書き漢字認識実験を行った。使用したデータベースの関係から学習サンプル、未知サンプルとも 1 カテゴリ当たり 80 個であり、また、計算費用等の制約からカテゴリ数も 50 個であるので、いずれも決して十分な数ではないのであまり断定的なことは言えないが、この範囲で得られた結果からは次のようなことが言えるで

あろう。多重辞書類似度法では、同じ 80 個の学習サンプルを加算して単一辞書パターンとした単純類似度法の 79.78% に対して、11.67% 高い認識率 91.45% が得られた。また、辞書数を増やすほど、認識率も向上してゆくことが分かった。学習サンプル数  $M$  を 80 よりもっと大きくしてゆくと認識率も微増してゆくことが予想されるが、増加状況から推測すると  $M$  を非常に大きくしても認識率が容易に 100% 近くに到達するとは考えにくい。しかしながら、辞書数をやたら増やすとかえって類似文字間の誤読が増えるのではないかという当初の懸念は局所的には散見されるが全体的にはほぼ否定できよう。多重辞書類似度法は単純類似度法において辞書数を複数化しただけで、手法的に特に工夫のある新しいものではないが、重ね合わせ的手法の持つ基礎的特性を明らかにするための実験であり、スーパーコンピュータの高速性を用いた言わば力づくの実験ではある。しかし処理時間を度外視すれば、構造解析的手法による精細認識の前段階の大分類に適用した場合、単純類似度法よりは優れた性能を発揮しうる。処理時間を短縮するために類似度計算のハードウェア化等を実現すれば、かなり現実的なシステムに近づきうると考える。

今後の課題としては認識率をできるだけ低下させずに学習サンプル数（すなわち辞書パターン数） $M$  を小さくするために、1カテゴリーの 80 個の学習サンプルをクラスタリングにより 5~10 個程度のクラスタに分け、そのクラスタ重心を辞書パターンに用いること、できるだけ小さい最適画面次数を使用すること、および前述した類似度計算の並列ハードウェア化の検討等である。

**謝辞** 本実験に使用させていただいた電総研手書き教育漢字データベースを作成された関係各位に深謝する。また、本研究に際し、種々有益なご助言を頂いた大阪大学工学部通信工学科の手塚慶一教授、真田英彦助教授に深謝する。

## 参 考 文 献

- 1) 塩野 充：多重辞書類似度法による手書き漢字認識—スーパーコンピュータによる実験—，昭和 60 年電気関係学会北陸支部連合大会，B-3 (1985. 10)。
- 2) 塩野 充：スーパーコンピュータを用いた多重辞書類似度法による手書き漢字認識実験，昭和 60 年電子通信学会情報・システム部門全国大会，79 (1985. 11)。
- 3) 塩野 充：スーパーコンピュータを用いた重ね合わせによる手書き漢字識別能力の基礎的検証，日本学術会議 1986 年情報学シンポジウム (1986. 1)。
- 4) 中田和男 (編)：パターン認識とその応用，コロナ社，東京 (1978)。
- 5) 飯島泰蔵：パターン認識，コロナ社，東京 (1973)。
- 6) 橋本新一郎 (編著)：文字認識概論，電気通信協会 (1982)。
- 7) 斎藤 山田，山本，森：手書き漢字データベースの解析 (V)，電子技術総合研究所彙報，Vol. 45, No. 1, 2, pp. 49-77 (1981)。

(昭和 60 年 11 月 22 日受付)

(昭和 61 年 6 月 18 日採録)



塩野 充 (正会員)

昭和 22 年生。昭和 47 年大阪大学工学部通信工学科卒業。昭和 56 年同大学院博士後期課程修了。工学博士。昭和 57 年岡山理科大学理学部講師。昭和 59 年同助教授，現在に至る。電磁界理論の研究を経て現在，パターン認識，画像処理の研究に従事。著書「FORTRAN ユーザのための PL/I 入門」，「新 JIS FORTRAN 入門」，「ニューメディア入門シリーズ コンピュータ & 通信」，「PC-9800 シリーズ実践 No.8-日本語 BASIC (86)」(以上，オーム社)，「電子計算機基礎論第 2 版」(昭晃堂)，「ニューメディア概論」(朝倉書店) など。電子通信学会，テレビジョン学会各会員。