

毛筆書体におけるくりこみ群を用いたかすれ・にじみ表現

真野 淳 治[†] 中村 剛 士[†]
世木 博 久[†] 伊藤 英 則[†]

計算機を用いて毛筆文字を出力する際、文字入力するユーザの筆速や筆圧などの個性に応じてかすれやにじみを付加して表現する方法は出力文字の多様性を図るうえで興味深い。我々は、フラクタル計算法を用いたかすれ表現と、ファジィ計算法を用いたにじみ表現を行うシステムについて報告した。本稿では、くりこみ群計算法を用いた新たなかすれとにじみの表現方法を提案する。この方法ではかすれとにじみを同一方法で表現できる特徴を有する。すなわち、筆内部での墨量の変化に着目し、墨が筆先に染み込む様子をくりこみ群を用いて表現し筆モデルを作成する。次に、このモデルを用いて筆内部の墨量の変化と紙に染み出す墨量を表現し、ユーザが入力機器として用いる電子ペンの筆速と墨量によりかすれとにじみを疑似的に表現するシステムを試作した。また、かすれ具合の1つの評価としてフラクタル次元の解析により実際の毛筆文字のかすれ具合とフラクタル計算法を用いた毛筆文字のかすれ具合との比較評価の結果を示す。

A Scratched-look Expression and a Blurred-look Expression on Calligraphic Characters Using Renormalization Group

JUNJI MANO,[†] TSUYOSHI NAKAMURA,[†] HIROHISA SEKI[†]
and HIDENORI ITOH[†]

For the purpose to output calligraphic characters by computers, it is very interesting to add a variety of a scratched look and a blurred look to them according to user's individual characteristics. We have reported a system to express scratched-look characters using a fractal-calculation-method and to express blurred-look characters using a fuzzy-calculation-method. In this paper we propose a new method for a scratched and blurred expression of bluish characters using a renormalization-group-method. This method can make both a scratched look and a blurred look in a single process. A brush is modeled by the renormalization group which represents a soaking behavior of ink to the top of the brush. The brush model makes a scratched look and a blurred look depending on quantity of ink. A model of permeation of ink from the brush into a paper is also defined. Under these models, we have made a system to produce scratched-look and blurred-look characters according to a writing speed with an electronic pen that is an input device. We evaluate fractal dimensions of the scratched-look characters produced by the method, and compare it with the scratched-looks by the old method.

1. はじめに

毛筆文字におけるかすれとにじみは、個性を表現するための重要な要素の1つであり、美的な視点からも批評の対象となる。実際の書道においてはかすれとにじみは多様に変化し、これらを完全に計算機上で表現することは困難である。筆者らは、これまでユーザの個性がある程度反映でき、疑似的にかすれとにじみが表現できる毛筆文字を生成することを目的とした毛筆

文字出力システムを作成してきた^{1)~6)}。このシステムでは楷書漢字の基本構成要素であるストロークに着目してストロークに関するデータベースを蓄積し、ユーザが入力するストロークごとにニューロ計算法を用いて認識し、データベース内のストロークに対応させ、かすれとにじみ情報をこれに付加して出力処理を行う。ここでいうユーザの個性とは、各ストロークの配置、長さ、太さ、曲がり具合、筆速および筆圧である。すでに、筆者らはフラクタル計算法⁷⁾を用いることにより、計算機上で疑似的にかすれを表現する方法の提案と、ファジィ計算法を用いてにじみを表現する方法の提案を行った^{1),2)}。引続き、くりこみ群^{8),9)}を用いた

[†] 名古屋工業大学
Nagoya Institute of Technology

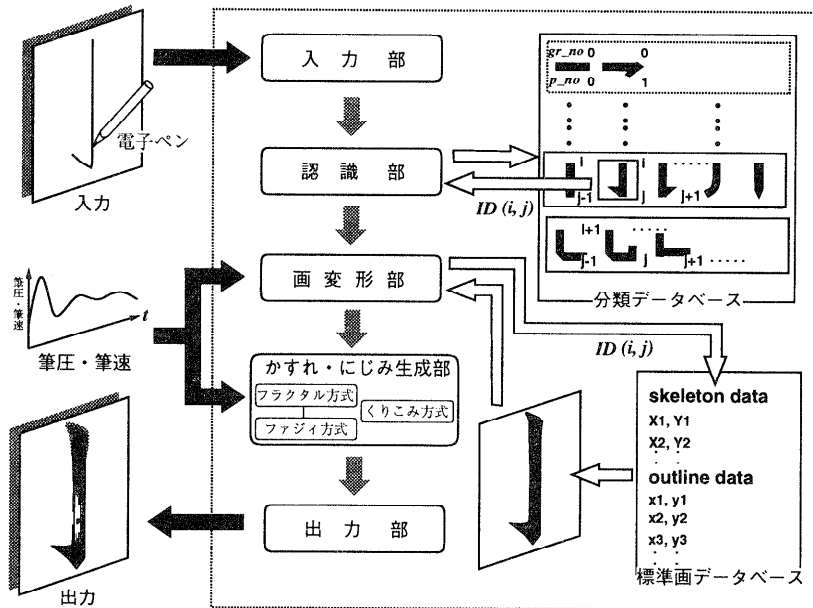


図1 システム構成

Fig. 1 System structure and data flow process.

筆モデルにより毛筆文字のかすれとにじみを表現する方法を提案する。なお、このようなくりこみ群を用いた方法のシステム作成の試みはこれまでに例を見ない。

本論文の2章ではこれまでに作成したシステムを基本としてくりこみ群によるかすれとにじみを生成するための構成方法について述べ、次に3章ではくりこみ群を用いたかすれとにじみを表現する方法を述べる。すなわち、かすれとにじみに影響を与える筆内部の墨量の変化に着目し、墨が筆先に染み込む様子をくりこみ群を用いてモデル化する。なお、このモデルは従来のかすれとにじみの表現方法^{1)~6)}とは異なり、染み込む様子をモデル化していることより墨量が多量のときにじみ、少量のときかすれる処理方法である。4章では、このモデルに基づき、毛筆文字におけるかすれとにじみを表現するシステムの出力結果を示す。さらに、墨の流動性と墨の量の変化によるかすれのフラクタル次元、およびシステムの処理時間についての評価結果を示す。

2. システム構成

ここで提案するシステムの構成を図1に示す。本システムは入力部、認識部、画変形部、かすれ・にじみ生成部、出力部、分類データベース、標準画データベースの7つの部分から構成される^{1)~6)}。入力部、認識部、画変形部および標準画データベースは文献1)と同一である。次に、かすれ・にじみ生成部ではくり

こみ群による処理(3章で詳述)を行う。入力画の認識に用いる分類データベースにはJIS第1第2水準の楷書をそのストロークの類似度により分類した21グループ・46種のストロークを蓄積する^{1)~6)}(表1参照)。

システムの基本的処理の流れを図1に示す。システムはユーザによって電子ペンにより入力されるストロークごとに以下の(1)から(5)までの処理を行い、毛筆画に変換し出力する。システムは、これをストロークごとに繰り返し画面上に重ねて出力することにより毛筆文字を完成する。

- (1) システム・ウィンドウ上に画面入力された、あるストロークから入力画データ(座標、筆圧、筆速)を得る。
- (2) 入力画データを基に認識部でストロークの認識を行い、分類データベースから $ID(gr_no, p_no)$ を得る。
- (3) 画変形部で $ID(gr_no, p_no)$ に対応する出力画データを標準画データベースから検索し、入力画データを基に出力画に変形する。
- (4) かすれ・にじみ生成部でくりこみ方式⁹⁾を用いてかすれとにじみを生成し、これを出力画に施す^{*}。
- (5) 毛筆出力画を画面上に表示する。

^{*} 文献1), 2)ではフラクタル方式とファジィ方式を用いた。

表1 画の分類 (分類データベース)
Table 1 Classification table database.

$\begin{matrix} p_no \\ gr_no \end{matrix}$	0	1	2	3	4
0	—	→			
1	3	3	3		
2	ㇿ	ㇿ			
3	ㇿ	ㇿ			
4	ㇿ	ㇿ	フ		
5	フ	フ	マ		
6	丨	丨	レ	丨	丨
7	し	し	レ		
8	ㇿ	ㇿ	ㇿ		
9	ㇿ	ㇿ			
10	ノ	フ			
11	ㇿ	ㇿ			
12	ㇿ				
13	く				
14	ㇿ				
15	ㇿ				
16	ㇿ	ㇿ	ㇿ		
17	ㇿ	ㇿ			
18	ㇿ	ㇿ			
19	ㇿ	ㇿ			
20	ㇿ				

なお、ここでは入力装置として筆圧の測定が可能である電子ペンを用いており、ユーザは容易な操作でウィンドウ上に文字ストロークを入力できる。

3. かすれ・にじみ表現

従来のシステムでは、かすれをフラクタル計算法で、にじみはファジィ計算法を用いてモデル化した。すなわち、かすれとにじみの表現は別々に処理した。

しかし、現実の筆を用いて書いた毛筆文字では、にじみとかすれは完全に独立しているものではなく、かすれの生じた箇所であってもにじみを生じている場合もあり、ほとんどの場合、かすれとにじみは混在している。

従来の方法では、かすれが生じた箇所ではにじみを表現することはできなかった。ここで提案するくりこみ方式⁹⁾では、筆内に多層に存在するそれぞれの墨粒に注目して、この墨粒の量によりかすれとにじみの双方を表現して同一モデル内で処理する。したがって、にじみとかすれの混在した文字を作成することができ、従来手法では表現不可能であったかすれとにじみの表現が可能である。

3.1 フラクタル・ファジィ計算法を用いたかすれ・にじみ表現^{1),2)}

くりこみ方式との比較のために、まず従来のフラクタル・ファジィ計算法を用いた出力例を示す。ファジィ方式では、筆速、筆圧、墨量によるファジィ推論によりにじみの度合いを決定し、その度合いに応じて標準画データベース (図1 参照) の出力画を部分的に太くすることによりにじみを表現する。

フラクタル方式では、ストローク上にかすれ線と呼ぶ線を複数本描き、そのかすれ線にフラクタル計算法を用いて白点をプロットしていくことで疑似的にかすれを表現する (図2 参照)。この方式の基本アルゴリズムを付録に述べる。

図3 に実際の毛筆文字とフラクタル・ファジィ方式による出力例^{1),2)}を示す。

3.2 くりこみ群を用いたかすれ・にじみ表現

くりこみ方式では、筆をモデル化し、その筆モデル内部の墨量の変化をくりこみ群を用いて表現する。モデル化された筆から仮想の紙上に墨が染み出すことでかすれとにじみを表現する。

3.2.1 くりこみ方式

くりこみ群⁹⁾の基本例を図4 に示す。左側の4つの格子点に存在する“o”の数が3個以上のとき右側の1つの格子点にくりこまれ、2個以下のときくりこまれない例である。なお、左側の4つの格子点の中央に右側の1つの格子点が配置される。

本システムでは、この概念を拡張しくりこみ変換⁹⁾ f を以下のように定義する。前述と同様、4格子点を1格子点にくりこむ。ここでは、各格子点に重み w_i を付け、4格子点の重み w_i ($i=1,2,3,4$) からくりこみ後の格子点の重み w_5 を式(1)で決定する^{*}。その概念を図5 に示す。ここでは、このくりこみ変換 f を筆内で墨粒が染み込むモデルに適用する。

$$\begin{aligned} w_5 &= f(w_1, w_2, w_3, w_4) \\ &= w_1 + w_2 + w_3 + w_4 \end{aligned} \quad (1)$$

3.2.2 筆モデル

筆のモデルを図6 に示す。

- 筆を n 層からなる階層構造とする。最下位層を L^1 とし、最下位層から上方に i 番目の層を L^i ($i=1,2,\dots,n$) とする (図6(a))。
- 各層 L^i ($i=1,2,\dots,n$) を格子状に分割し、 L^i 上の格子点を n_{jk}^i ($j=1,\dots,j_{\max}, k=1,\dots,k_{\max}$) とする (図6(b))。
- ここでは、最下位層 L^1 は64個 (8×8) の格子

* ここでは、処理の単純化のため変換 f を単に加算とした。

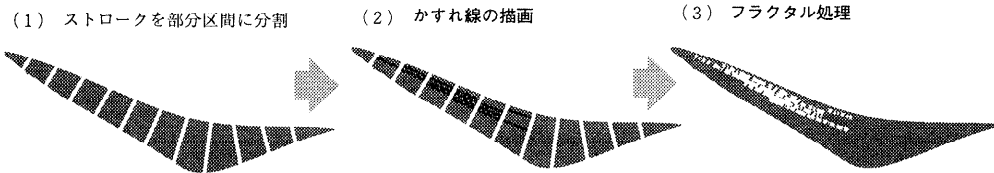


図2 フラクタル処理によるかすれ表現
Fig. 2 Scratched-look expressions by fractal process.

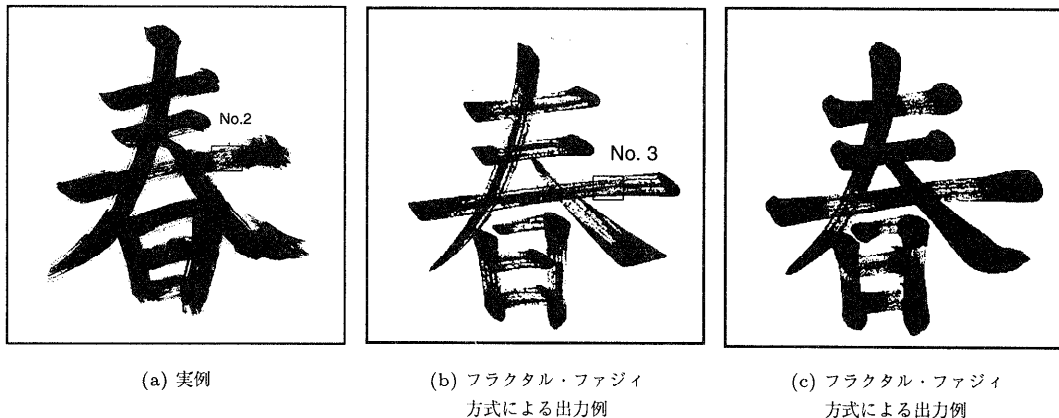


図3 実例とフラクタル・ファジィ方式による出力例☆
Fig. 3 Examples by real calligraphy and fractal method.

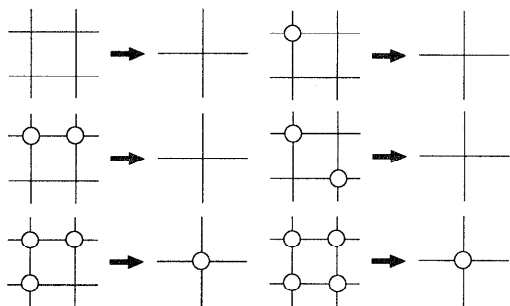


図4 くりこみ例
Fig. 4 Renormalization example.

点を持つ。また、 L^i 上の縦、横の格子幅は下位層 L^{i+1} 上の縦、横の格子幅のそれぞれ 2 倍とする (図 6 (b))。すなわち、 $j'_{max} = 2 \times j_{max}$ 、 $k'_{max} = 2 \times k_{max}$ 。

- L^i に存在する各々の格子点 n_{jk}^i の重み w_{jk}^i で墨量を表現する。
- 電子ペンの移動位置をここで述べた多層からなる格子点筆モデルが移動する。

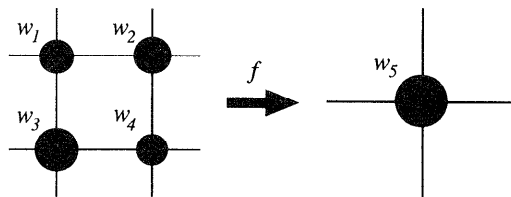


図5 くりこみ変換 f の概念
Fig. 5 Image of the renormalization transformation f.

3.2.3 染み込みモデル

次に、筆内部での墨が下位層へ染み込むモデルを定義する。墨の流動性を表す指数 α を一定時間 T^{**} に第 $i+1$ 層 L^{i+1} から第 i 層 L^i に染み込む墨量の割合とする (以降、 α ($0.0 \leq \alpha < 1.0$) を流動指数と呼ぶ)。また、 w_{jk}^i を時刻 t での格子点 n_{jk}^i の墨量、 p_{jk}^i を T 秒間に上位層格子点から n_{jk}^i に染み込む墨量、 m_{jk}^i を T 秒間に n_{jk}^i から下位層格子点に染み込む墨量とする。 n_{jk}^i における T 秒後の墨量 \hat{w}_{jk}^i は次式で表される。

$$\hat{w}_{jk}^i = w_{jk}^i - m_{jk}^i + p_{jk}^i \tag{2}$$

☆ (b) と (c) の違いは標準画データベースの違いによる。

☆☆ ここでは、 $T=0.05$ 秒としている。

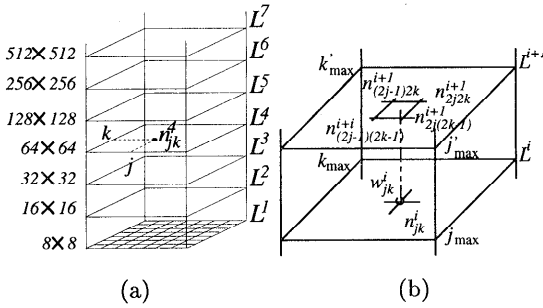


図6 筆モデル
Fig. 6 Writing brush model.

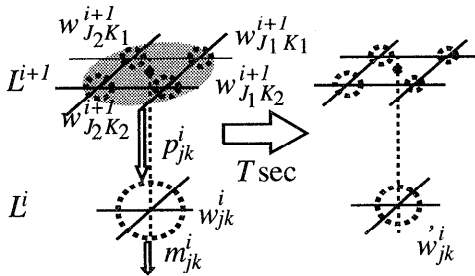


図7 墨の染み込みモデル
Fig. 7 Model of Ink-Soaking.

なお、 m_{jk}^i および p_{jk}^i は流動指数 α とくりこみ変換 f を用いて式 (3), (4) で決定する* (図7 参照)。

$$m_{jk}^i = \alpha w_{jk}^i \tag{3}$$

$$p_{jk}^i = \alpha f(w_{J_1 K_1}^{i+1}, w_{J_2 K_1}^{i+1}, w_{J_1 K_2}^{i+1}, w_{J_2 K_2}^{i+1}) \tag{4}$$

$$= \alpha (w_{J_1 K_1}^{i+1} + w_{J_2 K_1}^{i+1} + w_{J_1 K_2}^{i+1} + w_{J_2 K_2}^{i+1})$$

ただし、 $J_1 = 2j, J_2 = 2j - 1, K_1 = 2k, K_2 = 2k - 1$.
ここでは、筆モデル内の各層の各格子点に墨粒 (w_{jk}^i) が存在し、これらがそれぞれ下位層に染み込むモデルについて述べた。

3.2.4 かすれ・にじみ生成処理

次に、前述の筆モデルから、墨が紙に染み出す処理モデルを述べる。この処理はかすれ・にじみ生成部で実行される。

ここでは最下位層 L^1 上の各格子点 n_{jk}^1 からのみ墨が紙に染み出すものとする (図8 参照)。ただし、図1の画変形部で得た入力ストロークの標準画データベースが規定する領域内に存在する L^1 上の格子点のみから染み出す処理を施す。このとき、T秒間に最下位層から染み出す墨量 m_{jk}^1 を格子点 n_{jk}^1 がT秒間に移動

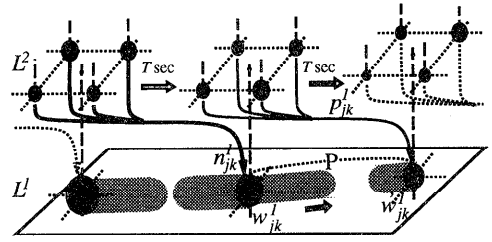


図8 墨の紙への染み出し
Fig. 8 Permeation of ink into a paper.

した距離内に存在する P 個のピクセルで均等配分する。均等配分された各々のピクセルはこれを半径 r_{jk} の同心円状に染み出す。また、その半径 r_{jk} を式 (5) で決定する。 r_{jk} が1ピクセルよりも小さくなるときは染み出さないものとし、配分された墨量は次のピクセルに持ち越す。この半径 r_{jk} が大きい場合にはじみが生じ、小さい場合はかすれが生じる。

$$r_{jk} = \beta \left(\frac{m_{jk}^1}{P} \right)^{\frac{1}{3}} \tag{5}$$

ここで、 β^{**} は墨の紙へのにじみ指数であり、設定する β 値の大小により染み出す墨の広がりを制御できる。

4. 出力例と評価

本システムでくりこみ方式を用いて作成した毛筆文字の出力例 ($\alpha=0.06$, 階層数=7) を図9に示す。

本章では筆モデル内部の墨量の変化について示し、実際の毛筆文字やフラクタル方式による出力例との比較評価を行う。

4.1 筆モデルにおける墨量の変化

前述の流動指数 α および筆モデルの階層数を変えることによるにじみとかすれ度合の変化を評価する。図10は評価のためにかすれを強調した例であり、同一入力データ“春”に対して α および階層数のみを変化させた場合の出力例である。図11は、図10の“春”を入力したときの最下位層 L^1 上の総墨量 ($\sum_{j,k} w_{jk}^1$) の変化を示したものである。ここで、1unitは式(5)において $\beta = 1$ としたとき $r_{jk} = 1$ となる墨量である。なお、ここでは途中で墨を付け足さない場合の評価である。流動指数 α の値が増加すると墨が速く下位層に染み込み、早い段階で墨が大量に紙に染み出す。逆に、 α の値が小さいと墨の染み込みが遅く、 L^1 の墨の総量は経過時間に鈍感である。また、階層数が少ない場合は墨の減少が早期に現れる結果を示した。

* ここでは、 L^{i+1} から L^i へ染み込む墨量の割合は全格子点で同じ α としている。

** ここでは、かすれについて評価するため β は固定値とした。

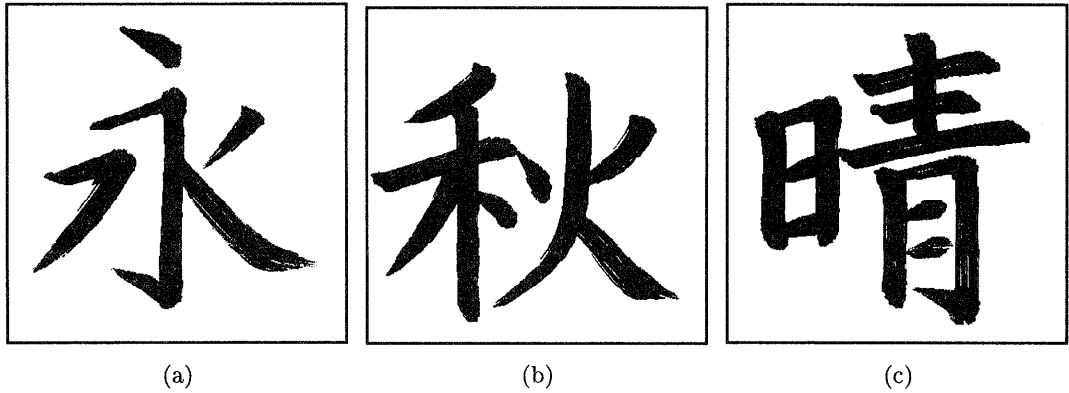


図9 くりこみ方式による出力例
Fig. 9 Output example by renormalization method.

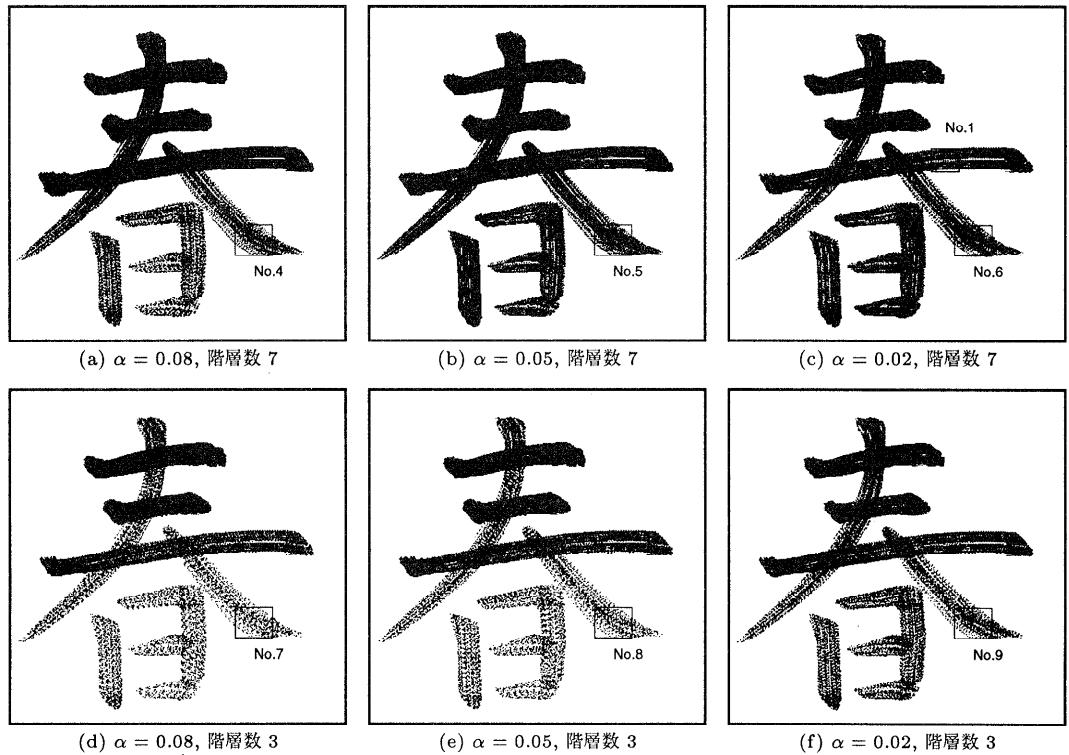


図10 α および階層数を変えたときの出力例
Fig. 10 Output examples.

4.2 ハウズドルフ次元の解析

次に、実際の毛筆文字のかすれとフラクタル方式によるかすれと比較するためハウズドルフ次元¹⁰⁾を用いる。パターン P の領域を 1 辺 s の“矩形”で覆い、そのうちパターン P を構成する矩形のうち少なくとも 1 つの黒点を含む数を $N(s)$ とする。このとき、パターン P のハウズドルフ次元 $H(P)$ は式 (6) で定義される。

$$H(P) = \lim_{s \rightarrow 0} [-\log N(s) / \log s] \tag{6}$$

図 10 (c)、図 3 (a) および図 3 (b) に示す No.1, No.2, No.3 の領域のそれぞれのハウズドルフ次元を表 2 に示す。なお、これらの領域はかすれ部分が視覚的に類似していると判断した箇所ので、白部分の面積と黒部分の面積の比が 0.73 である箇所を選定した ($s = 1$ pixel 幅で測定)。

最下位層 L^1 の墨の総量 $\sum_{j,k} w_{jk}^1$ (unit)

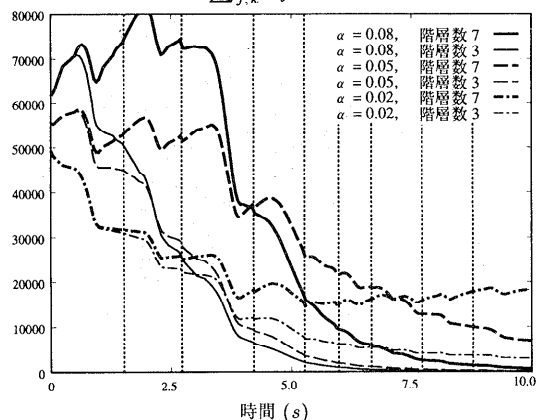


図 11 最下位層の総墨量の変化

Fig. 11 Changes of a total ink quantity on the lowest layer.

表 2 ハウスドルフ次元

Table 2 Hausdorff dimensions.

かすれ箇所	No.1	No.2	No.3
図番号	図 10(c)	図 3(a)	図 3(b)
$H(P)$	1.92	1.92	1.91

表 3 ハウスドルフ次元

Table 3 Hausdorff dimensions.

かすれ箇所	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
$H(P)$	1.89	1.93	1.92	1.79	1.80	1.87
面積比(白/黒)	0.54	0.68	0.74	3.19	2.82	1.57

また、図 10 の No.4~9 ではくりこみ方式における出力例の同一箇所をハウスドルフ次元を表 3 に示す。

4.3 システム処理時間

くりこみ方式による本システムの 1 ストロークごとの処理時間*を表 4 に示す。ここにあげた処理時間とは電子ペンの描画入力時間を除く認識から出力表示までの時間である。

階層数が増加につれて格子点が指数関数的に増加することより処理時間が大幅に増加する。また、流動指数 α の違いにより紙に染み出す墨量が異なり処理時間に差がでる。すなわち、 α が大きい場合は、墨の紙への染み出しが速く、初期はプロットする黒点数が多いため処理時間が長い。最後はプロットする黒点数が少ないため処理時間が短い。一方、 α が小さい場合は、初期からプロットする黒点数が少ないため α が大きい場合より処理が短くなる。しかし、最後にはプロットする黒点数が α が大きい場合より多いため、処理

表 4 認識から出力までの処理時間

Table 4 Processing time from recognition to output.

	入力座標 データ数	処理時間 (sec.)			
		図 10(a)	図 10(c)	図 10(d)	図 10(f)
一画目	32	3.10	2.94	1.35	1.24
二画目	25	2.36	2.11	1.19	1.23
三画目	31	2.80	2.68	1.34	1.30
四画目	22	2.66	2.52	1.39	1.41
五画目	15	2.16	1.98	1.58	1.43
六画目	15	2.25	2.16	1.41	1.34
七画目	22	2.70	2.63	1.54	1.53
八画目	22	2.45	2.40	1.17	1.28
九画目	26	2.39	2.52	1.16	1.17
階層数		7	7	3	3
流動指数 α		0.08	0.02	0.08	0.02

時間が長くなる。

5. おわりに

本稿では、筆モデル内部における墨量の変化をくりこみ群を用いて表現し、毛筆書体の疑似的なかすれやにじみを表現するシステムの構成法とその評価について述べた。このシステムでは、かすれとにじみを同一処理で表現でき、ユーザはシステムパラメータの設定や電子ペンの移動によりかすれやにじみの度合の異なる毛筆漢字を書くことができる。

本システムでは、墨を紙面に染み出す処理を筆モデルの最下層のみとし、その墨を紙に浸透させる処理は各格子点で独立に行った。なお、筆圧による層間距離などの動的な変化および流動指数 α や染み出し指数 β を動的に変化させた表示方法については今後の検討が必要である。また、今後は筆モデルの格子点領域による墨量の配置に多様性を持たせることによる表現能力の向上について、および紙質などを考慮に入れた拡張方法の検討を行う。

自然なにじみ、かすれにどれだけ近いかにについての客観的な評価はきわめて困難であるが、今後さらに自然感を持たせるためにこれらの手法の検討を行う。また、本システムでは楷書体の漢字しか扱えないが、草書体や平仮名も扱えるようデータベースの拡張も行う必要がある。

参考文献

- 1) 中村剛士, 松下政親, 野崎勝彦, 世木博久, 伊藤英則: フラクタルを用いた毛筆文字のかすれ表現について, 日本ファジイ学会論文誌, Vol.8, No.3, pp.558-566 (1996).
- 2) 中村剛士, 松下政親, 野崎勝彦, 世木博久, 伊藤英則: 毛筆書体におけるフラクタルを用いたかすれ表現, 第 11 回ファジイ・システム・シンポジ

* 実験環境: Sun SPARCstation 5 (micro SPARCII, 85 MHz, 48 MB), SunOS 4.1.4-JL, GNU C Compiler version 2.7.2.

ウム講演論文集, pp.756-757 (1995).

- 3) 中村剛士, 黒田 崇, 世木博久, 伊藤英則: 筆記速度のファジィ評価方法を導入した毛筆文字生成システムについて, 日本ファジィ学会誌, Vol.7, No.2, pp.371-379 (1995).
- 4) Nakamura, T., Kuroda, T., Itoh, H. and Seki, H.: Fuzzy-based Writing System for Acquiring Good Writing Skill of Brush Characters Based on the Analysis of Writing Speed, *3rd Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence*, Vol.2, pp.822-827 (1994).
- 5) Nakamura, T., Kuroda, T., Itoh, H. and Seki, H.: A Calligraphy System Based on Analyzing User Writing Speed, *3rd International Conference on Fuzzy Logic, Neural Nets and Soft Computing*, pp.189-190 (1994).
- 6) Nakamura, T., Itoh, H., Seki, H. and Law, T.: A Writing System for Brush Characters Using Neural Recognition and Fuzzy Interpretation, *International Joint Conference on Neural Networks*, Vol.3, pp.2901-2904 (1993).
- 7) Barnsley, M.: *Fractals Everywhere*, Academic Press (1988).
- 8) Wilson, K.G. and Kogut, J.: Renormalization Group and ε -expansion, *Phys. Repts*, Vol.12c, No.2, pp.75-200 (1974).
- 9) 高安秀樹: フラクタル, pp.131-137, 朝倉書店 (1986).
- 10) 金子 博: フラクタル特徴とテキスト解析, 信学論, Vol.J70-D, No.5, pp.964-972 (1987).

付録 フラクタル方式の基本アルゴリズム^{1),2)}

- (1) 画変形部で出力毛筆画を部分区間に分割する。分割数については出力画の長さによる。
- (2) 各部分区間ごとに線分を複数本描く。この線分をかすれ線分と呼ぶ。各部分区間のかすれ線分数は、筆速、筆圧、墨量からファジィ推論を用いて求められたかすれ割合により決定する。このかすれ線分を連結してかすれ線を形成する。
- (3) 各かすれ線にフラクタル処理を施し、かすれを生成する。フラクタル処理とは、かすれ線上にアフィン変換⁷⁾を用いて白点（ここでは、かすれ点と呼ぶ）を以下に述べるアルゴリズムによりプロットしていく。なお、かすれ線は図12に示すように{点 $P_i(x_i, y_i) : i = n-1, n, \dots, m$ } を通るものとする。以降、区間 $P_{i-1}P_i$ を第 i 区間と呼ぶ。
 - (a) 第 j 区間上に任意な $P(x, y)$ をとる。
 - (b) かすれ点をプロットする区間 i を選択する。ここで第 i 区間が選択される確率は第 i 区間におけるかすれ割合に依存する。

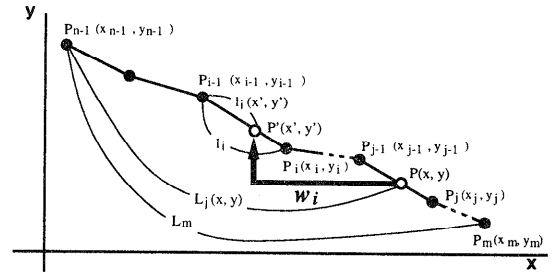


図12 かすれ線上的アフィン変換

Fig.12 Affine transformations on scratched lines.

- (c) アフィン変換 w_i を用いて第 i 区間上に $P'(x', y')$ を決定し、かすれ点をプロットする。
- (d) $P'(x', y')$ を新たに $P(x, y)$ とし (b), (c) を繰り返す (図12 参照)。

この方式で用いたアフィン変換 w_i ($i = n, n+1, \dots, m$) は条件式 (7) を満たす。

$$\frac{L_j(x, y)}{L_m} = \frac{l_i(x', y')}{l_i} \quad (7)$$

ただし、

$$l_i(x', y') = \sqrt{(x' - x_{i-1})^2 + (y' - y_{i-1})^2},$$

$$l_{n-1} = 0,$$

$$l_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2},$$

$$L_j(x, y) = \sum_{k=n-1}^{j-1} l_k + l_j(x, y),$$

$$L_m = \sum_{i=n-1}^m l_i.$$

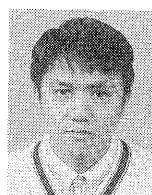
(平成8年4月1日受付)

(平成9年2月5日採録)



真野 淳治 (学生会員)

1996年名古屋工業大学知能情報システム学科卒業。現在、同大学院博士前期課程在籍中。毛筆文字生成システムの研究開発に従事。



中村 剛士 (学生会員)

1993年名古屋工業大学工学部電気情報工学科卒業。1995年同大学院博士前期課程修了。現在、同大学院博士後期課程在籍中。ニューラルネットワーク、ファジィ推論等に興味を持つ。ファジィ学会会員。



世木 博久（正会員）

1979年東京大学工学部計数工学科卒業。1981年同大学院工学系研究科修士課程修了。同年4月より三菱電機（株）中央研究所に勤務。1985～1989年（財）新世代コンピュータ技術開発機構に出向。1992年4月より名古屋工業大学工学部知能情報システム学科助教授。工学博士。論理プログラミング、演繹データベース等に興味を持つ。電子情報通信学会，人工知能学会，ACM，IEEE Computer Society 各会員。



伊藤 英則（正会員）

1974年名古屋大学大学院工学研究科博士課程電気・電子専攻満了。工学博士号取得。同年日本電信電話公社入社，横須賀研究所勤務。1985年（財）新世代コンピュータ技術開発機構出向。1989年より名古屋工業大学教授，現在知能情報システム学科所属，人工知能学会理事。これまでに，数理言語理論とオートマトン，計算機ネットワーク通信 OS，知識ベースシステムなどの研究と開発に従事。電子情報通信学会，人工知能学会，形の科学学会，ファジィ学会各会員。