

一筆書き曲線の変形法

竹 内 良 亘[†]

二次元平面上に描かれた一筆書き曲線について、行列による相互変換について検討する。一方がぎくしゃくした曲線、他方が滑らかな曲線を念頭に、変換の特徴を簡潔に表現する変換行列を提案する。一筆書き曲線を切片列に分解したとき、ぎくしゃくした曲線から滑らかな曲線への変換は、いくつかの切片の和として新しい切片を生成するものである。この生成行列は、曲線の切片列を上へあるいは下へ1個ずらせる作用をする素行列のべき乗和として表現できることを示す。また、基本生成行列から派生される簡潔な変換行列もいくつか提示する。生成行列の応用として、行書体からの崩し漢字の生成に有効であることを述べる。生成された書体は、筆点の現在ある点から次に書かれるであろう先々の行書体の曲線をうまく現時点に取り込んでいる。つまり、提案する基本生成行列の1つは、速書きするときの意識をよく表している。最後に、逆問題を取りあげ、1個のパラメータを最適化する場合の生成行列について計算効率の点から検討した。

A Deformation Method for Single String Curve

YOSHINOBU TAKEUCHI[†]

A method of mutual transformation between single zigzag curve and single smooth curve is given by matrix formulation. We propose several simplified generation matrices which transform a zigzag curve to a smooth curve by adding several segments to own segment. The basic generation matrix can be represented by power series of an element matrix which shifts the segment array. Other several transformation matrices with similar structure to the basic generation matrix are also shown. We show an application of the generation matrix to generate cursive Chinese characters from semi-cursive style. The generation matrix has the simulated function of the movement in quick handwriting. Finally, we discuss solving the inverse problem from the point of view in which one parameter of the generation matrix is optimized by considering calculation benefit.

1. はじめに

二次元平面の線図形は図形科学の基礎検討対象である。その中でも多角形や円などの1本のつながった曲線で描かれる線図形が基本である。曲線を変形することは線図形の特徴を比較するために、いいかえると2つの曲線どうしの距離を明確にするために重要である。両者の曲線を変換するときの距離を与えるのが変形法である。

ある曲線上の点を複素数 z_1 で表し、これから変換される曲線上の点を z_2 とすると、変換は一般に $z_2 = f(z_1)$ で表される。変換 $f()$ は、非線形変換の場合、等角写像のような特殊な場合を除き逆変換 $f^{-1}()$ が扱いにくい。したがって、逆変換の扱いやすさから線形変換が重要である。

曲線を変形するには、点を点へ移すアフィン変換の写像では不十分であり、曲線上のある点とその曲線上の他の点に依存する形で表現されなければならない。そこで、曲線を、離散的な点列を直線で結ぶことにより表現される折れ線曲線とし、離散的な複素数点列を $z_1, z_2, \dots, z_n$ とすると、変換は次式のように表される。

$$[z_1, z_2, \dots, z_n]_2 = f([z_1, z_2, \dots, z_n]_1)$$

ここで $[\dots]_1$ はもとの曲線の離散点列を表し、 $[\dots]_2$ は変換された曲線の離散点列を表す。上の観点つまり線形変換を満たす変換 $f()$ は、行列変換か、離散間隔を極限的に小さくして一般化された微積分変換ということになる。

ところで、ある曲線から別の曲線を生成する代表的なものは、与えられたデータ点列を直線で結んだぎくしゃくした曲線から、これを近似する滑らかな連続曲線を作る近似法である。これは与えられたデータ点列をもとに補間することによる連続曲線の生成であり、

[†] いわき明星大学理工学部

College of Science and Engineering, Iwaki Meisei University

データ点列そのものを変換するものではない。もっとも、生成された滑らかな連続曲線上の適当な点列をサンプリングして、これらの点列が元の点列から変換されたものであると見なすならば、この場合もデータ点列の一種の変換と見なすことができる³⁾。しかし、滑らかな補間曲線上の点の選び方には任意性があるから、データ点列の一意的な変換とはいえない。そういう意味で補間による曲線の変形はここでは扱わない。以下では曲線は、離散的な点列を直線で結ぶことにより表現される折れ線曲線とする。

さて、ぎくしゃくした曲線と、離散点を直線で結んであるが滑らかに見える曲線との相互の変換について、上で述べた意味での一意的な変換という前提のもとで、検討した報告はないようである。曲線を記述する記述子の検討においても同様であり、たとえば、P型フーリエ記述子で高次のフーリエ成分を0とすると滑らかな曲線が生成されることが報告されているが、逆変換の検討はされていない¹⁾。また、乱数を用いて曲線を変形する方法もあるが、この方法では逆変換は困難である²⁾。

本報告では、二次元平面上の離散点を直線で結ぶことにより構成される1本曲線（一筆書き曲線）について、一方がぎくしゃくした曲線、他方が滑らかな曲線の相互変換について行列変換により検討する。以下、2章においては、ぎくしゃくした曲線から滑らかな曲線への行列変換を扱う。まず、曲線の記述子について述べた後、曲線変形のための基本行列を構成する考え方を説明する。そして、基本行列から派生されるいくつかの生成行列について検討する。3章において、本方法の崩し漢字生成への応用例を示す。4章では、滑らかな曲線からぎくしゃくした曲線への行列変換すなわち逆変換について、計算効率の点から検討する。

2. 一筆書き曲線の行列変換

2.1 曲線の記述子

二次元平面上の離散点を直線で結ぶことにより構成される1本曲線（一筆書き曲線）は、その離散点の座標点列で表される $(z_0, z_1, \dots, z_n)$ 。ここで z_i ($i = 0, 1, \dots, n$) は複素座標である。平行移動した曲線と同じ曲線として扱うために、隣り合う点どうしの差をとって曲線を表す $(z_1 - z_0, z_2 - z_1, \dots, z_n - z_{n-1})$ 。ここで $z_i - z_{i-1}$ を w_i で表して

$$(w_1, w_2, \dots, w_n)$$

を一筆書き曲線の記述子とする。この記述子は、一筆書き曲線の各部分が線分（切片）で近似できるとき、それらを複素ベクトル w_i ($i = 1, \dots, n$) で表したも

のである。長さ $|w_i|$ はそれぞれ異なる。

2.2 曲線変形のための基本行列

与えられた曲線を別の曲線に変形する際、まず考えておかなければならないのが恒等変換である。

$$W_2 = [I]W_1 \quad (1)$$

ここで W_1 は与えられた曲線、 W_2 は変換された曲線を表す縦ベクトルである。

$$W_1 = (w_1, w_2, \dots, w_n)^t|_1$$

$$W_2 = (w_1, w_2, \dots, w_n)^t|_2 \quad (2)$$

右肩の t は転置を表す。 $[I]$ は $n \times n$ の単位行列である。これは曲線の切片数を保存する変換である。

次に、変換行列を構成する基本的な考え方は次のようである。

- (1) ぎくしゃくした曲線と滑らかな曲線との相互変換を対象にすること。
- (2) 行列要素は変換の特徴を簡潔に表現すること。したがって、次のような変換行列は考えない。たとえば、変換行列を対角要素 $a_k \exp i\theta_k$ ($k = 1, 2, \dots, n$)のみからなる行列とすると任意の曲線へ変換できる。しかし、変換を特徴づけるには $2n$ 個の a_k, θ_k が必要となるので、特徴量を構成するには得策でない。上記の(1), (2)を満たす最も単純な変換行列は次式である。

$$[A_2] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & \ddots & \ddots & & \\ 0 & \dots & & 1 & 1 \\ 0 & \dots & & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$[B_2] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & & \\ 0 & \dots & & 1 & 1 & 0 \\ 0 & \dots & & & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

これはとなりの切片を自分自身へ加える操作により新しい曲線を生成するものである。 $[A_2]$ は1つ先の切片を、 $[B_2]$ は1つ後ろの切片を加えることを表す。添え字2は行の1の数を示す。ただし、 $[A_2]$ の n 行目、 $[B_2]$ の1行目は取り込む切片がないので1の数は1個である。

加える切片の数を増すことにより上の行列 $[A_2], [B_2]$ の拡張された行列 $[A_m], [B_m]$ が構成される。

$$[A_m] =$$

$$\begin{bmatrix}
 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\
 0 & 1 & \cdots & 1 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\
 \vdots & \vdots & & & & & & \ddots \\
 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & 1 & 1 \\
 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & 1
 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$[B_m] =$

$$\begin{bmatrix}
 1 & 0 & \cdots & & \cdots & 0 \\
 1 & 1 & 0 & \cdots & & 0 \\
 \vdots & \vdots & & & & \ddots \\
 0 & \cdots & 0 & 1 & \cdots & 1 & 0 \\
 0 & \cdots & 0 & 0 & 1 & \cdots & 1
 \end{bmatrix} \quad (5)$$

ここで $[A_m]$ は、自分自身の切片も含めて合計 m 個の先の切片の和として新しい切片を生成することを表す。ただし、 $n - (m - 2)$ 行目から n 行目までは加える切片の数は 1 つずつ少なくなっている。 $[B_m]$ は後の切片について同様に m 個の切片の和を表す。ただし、1 行目から $m - 1$ 行目までは加える切片数が 1 つずつ少なくなっている。 $[A_m], [B_m]$ を基本生成行列と呼ぶ。これらは行列の次元 n と和をとる m の 2 つのパラメータで特徴づけられる。 $[A_m], [B_m]$ は次の行列のべき乗の和として表現できる。

$$[\alpha] = \begin{bmatrix}
 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\
 & \ddots & \ddots & & \\
 0 & \cdots & & 0 & 1 \\
 0 & \cdots & & & 0
 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$[\beta] = \begin{bmatrix}
 0 & & \cdots & 0 \\
 1 & \ddots & \ddots & \\
 0 & \cdots & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & \cdots & & 0 & 1 & 0
 \end{bmatrix}$$

$$[A_m] = [I] + [\alpha] + [\alpha]^2 + \cdots + [\alpha]^{m-1}$$

$$[B_m] = [I] + [\beta] + [\beta]^2 + \cdots + [\beta]^{m-1} \quad (7)$$

$[\alpha]$ は曲線の切片列を上へ 1 個ずらせる作用をする。

$$\begin{bmatrix}
 w_2 \\
 w_3 \\
 \vdots \\
 w_n \\
 0
 \end{bmatrix} = [\alpha] \begin{bmatrix}
 w_1 \\
 w_2 \\
 \vdots \\
 w_n
 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$[\alpha]^k$ は上へ k 個ずらせる作用をする。同様に $[\beta]$ は下へ 1 個ずらせる作用をする。

$$\begin{bmatrix}
 0 \\
 w_1 \\
 \vdots \\
 w_{n-1}
 \end{bmatrix} = [\beta] \begin{bmatrix}
 w_1 \\
 w_2 \\
 \vdots \\
 w_n
 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$[\beta]^k$ は下へ k 個ずらせる。 $[\alpha], [\beta]$ を素行列と呼ぶ。行列 $[A_m], [B_m]$ により変形される曲線は、切片列がずれたものの和として表現される。

$$W_2 = [A_m]W_1 =$$

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}_1 + \begin{bmatrix} w_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}_1 + \cdots + \begin{bmatrix} w_m \\ w_{m+1} \\ \vdots \\ w_n \\ 0 \end{bmatrix}_1 \quad (10)$$

$$W_2 = [B_m]W_1 =$$

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ w_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ w_{n-1} \end{bmatrix}_1 + \cdots + \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ w_1 \\ \vdots \end{bmatrix}_{w_{n-(m-1)}} \quad (11)$$

図 1, 図 2, 図 3 に $[A_m], [B_m]$ により変形される簡単な曲線の例を示す。

$[A_m]$ により生成される曲線では、始点から順に切片列 W_2 を追ってみると、 W_1 からの変形が始点からすぐに始まり、終点近傍では W_1 の終点近傍がそのまま残る。逆に $[B_m]$ の場合では、 W_1 の始点近傍がそのまま残り、終点まで変形される。ここでいう近傍とは、何個の切片分を含む領域を指すかは、切片分割の細さに依存するので定量的にいえないが、通常数個の切片領域である。この性質は、式 (5) の下で述べたように、終点近傍に対応する $[A_m]$ の下側の行では、1 の数が順に少なくなっており、逆に $[B_m]$ では始点近傍に対応する上側の行で 1 の数が少なくなっているからである。どちらの場合も、変換される前のぎくしゃくした度合いが減る方向に変形される。図 2 の例で与えられた曲線を漢字の人偏と見なすと、変換後の曲線は先の切片あるいは後の切片を取り込む変換に従い a, b 2 通りの崩し曲線となる。3 章に $[A_m]$ による崩し

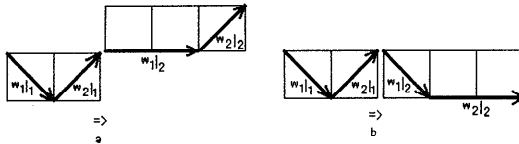


図1 切片数 $n=2$, 取込み数 $1(m=2)$ の場合の変換。a: 先の切片の取込み (式 (10)). b: 後の切片の取込み (式 (11))

Fig. 1 An example of curve deformation in case of $n=2$, $m=2$. a: taking in forward segments (eqn. (10)). b: taking in backward segments (eqn. (11)).

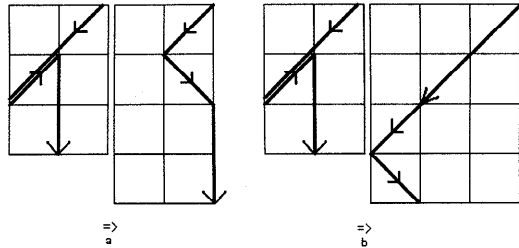


図2 切片数 $n=3$, 取込み数 $1(m=2)$ の場合の変換。a: 先の切片の取込み (式 (10)). b: 後の切片の取込み (式 (11))

Fig. 2 An example of curve deformation in case of $n=3$, $m=2$. a: taking in forward segments (eqn. (10)). b: taking in backward segments (eqn. (11)).

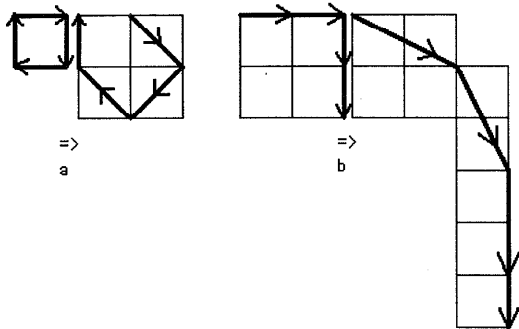


図3 切片数 $4(n=4)$ の場合のぎくしゃくした曲線から滑らかな曲線への変換。a: 先の1個取込み ($m=2$), b: 先の2個取込み ($m=3$)

Fig. 3 An example of smooth curve generation from a zigzag curve in case of $n=4$ taking in forward segments. a: $m=2$. b: $m=3$.

漢字の生成例を示す。

2.3 基本行列から派生される生成行列

基本生成行列 $[A_m]$, $[B_m]$ は2つのパラメータ n , m で特徴づけられるが、これにさらにパラメータを追加することにより新たな生成行列を構成することができる。ただし、前節で述べた基本的な考え方 (1), (2) の枠内で考える。

[1] $[\alpha]$ と $[\beta]$ の両方から変換行列を作る。

$$[C_m] = [I] + [\alpha] + [\beta] + [\alpha]^2 + [\beta]^2 + \dots + [\alpha]^{m-1} + [\beta]^{m-1} \quad (12)$$

[2] $[A_m]$, $[B_m]$ の非対角要素を正の定数 p に置き換える。

$$[A_m] = [I] + p([\alpha] + [\alpha]^2 + \dots + [\alpha]^{m-1})$$

$$[B_m] = [I] + p([\beta] + [\beta]^2 + \dots + [\beta]^{m-1}) \quad (13)$$

[3] 素行列 $[\alpha]$, $[\beta]$ の要素の大きさを q に変える。

$$[\alpha] = \begin{bmatrix} 0 & q & \dots & 0 \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & & q \\ 0 & \dots & & 0 \end{bmatrix},$$

$$[\beta] = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 \\ q & & \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & q & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

このとき $[A_m]$, $[B_m]$ は次のようになる。

$$[A_m] = \begin{bmatrix} 1 & q & q^2 & \dots & q^{m-1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & q & \dots & \dots & q^{m-1} & 0 & \dots \\ & \ddots & \ddots & & & & & \\ & & & 0 & 1 & q & q^2 \\ & & & 0 & 1 & q \\ \dots & & & & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$[B_m] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & & 0 \\ q & 1 & 0 & & \dots \\ & & \ddots & \ddots & \\ 0 & \dots & 0 & q^{m-1} & \dots & q & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

[4] $[\alpha]$, $[\beta]$ の指数関数型行列として $[A_m]$, $[B_m]$ を構成する。

$$[A_m] = \exp(t[\alpha]) = [I] + t[\alpha] + \frac{t^2}{2}[\alpha]^2 + \dots =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & t & t^2/2 & \dots & t^{n-1}/(n-1)! \\ 0 & 1 & t & \dots & t^{n-2}/(n-2)! \\ \vdots & & \ddots & \ddots & \\ 0 & 1 & t & t^2 \\ 0 & 1 & t \\ \dots & & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

左下三角行列の $[B_m]$ も同様に作ることができる。 $[A_m]$, $[B_m]$ はそれぞれの三角行列部分の要素すべてに値が入る。生成の効果は [2] の場合に比べて加えられる切片の寄与が自分から離れるに従い小さくなる。 $[A_m]$, $[B_m]$ を k 回繰り返し適用することは, t を k 倍したものを 1 回適用するのと同じ効果になる。

[5] 切片の長さを変えない変換

上に述べてきた変換行列は, W_1 のいくつかの成分を足し合わせて W_2 の成分とするため, W_1 の第 i 成分の長さ W_2 の第 i 成分の長さとは異なる。各切片の長さを保ったまま曲線を変形するには, 切片の複素ベクトル w_i の偏角 $\arg(w_i)$ に対する変換にすればよい。

$$\begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_n \end{bmatrix}_2 = \begin{bmatrix} 1/m & \cdots & 1/m & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1/m & \cdots & 1/m & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & & & & & & \\ 0 & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & 1/2 & 1/2 \\ 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_n \end{bmatrix}_1 \quad (18)$$

ただし, $\theta_i = \arg(w_i)$ とした。この変換方法では, 与えられた W_1 の m 個の先の切片について, それらの偏角の平均を計算して, W_2 の各切片の偏角としている。最後の行から $m-1$ 行目までは $[A_m]$ と同様に足される切片数が少なくなる。同様に $[B_m]$ に対応する左下三角行列の変換行列も作ることができる。

[6] 切片列の数を変える変換

上に述べてきた変換行列は, n 個の切片からなる W_1 を n 個の切片列 W_2 へ変換するものであった。ぎくしゃくした曲線から特徴を大づかみにした曲線へ変換するときは, 切片数を少なくする変換が必要となる。

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_j \end{bmatrix}_2 =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & \cdots & \cdots & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ & \cdots & 1 & \cdots & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ & & & & \ddots & & & \\ & & & & & & & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}_1 \quad (19)$$

ここで, 上式の変換行列は, n 個の切片列を j 個の切片列へ変換する。各行では m 個の先の切片の和をとる。ただし, $[A_m]$ と同様に, 下の行で m 個までとれないときは, $w_n|_1$ までの和をとる。第 i 行で最初の 1 の位置は $([n/j](i-1)+1)$ とする。

3. 崩し漢字生成への応用

本章では, 上述の変形法の応用として手書き崩し漢字の生成について述べる。ここでは崩し漢字を次のような考え方で定義する。まず, 活字体の漢字を手本にして, できるだけ忠実に手書きで書かれる字体を楷書体とする。厳密には書学では, 中国の漢代に広く用いられた隸書を簡易化し, 早書きに便利でしかも謹厳な書体を楷書体と定義するが⁴⁾, 実用上, 上の定義で代用できる。次に, 楷書を少し崩して書いた書体を行書体と定義する。ここで少し崩してという表現は次の内容を意味する⁴⁾。楷書体の字体を容易に類推できる範囲内で, (1) 曲線的である。(2) 点画を連続したり, 省くことがある。(3) 筆順が変わることがある。(4) 点画の方向に変化が多い。最後に, これらの (1) から (4) の特徴が強く現れた字体を崩し字体と定義する。この場合は, 楷書体を容易には類推できない程度まで字体が変形していることになる。

崩し字体は, 書き手によって上記 (1) から (4) の千差万別の崩し方で書かれることになり, 2 章の方法がこれらすべてに対応できるかが問題になる。その問題の第 1 点は, 2 章の方法における与えられた曲線と変換された曲線は, 離散点を直線で結ぶことにより構成される一筆書き曲線であったから, 本章で扱う字体もそれに合わせる必要があることである。崩し字体の多くは一筆書きになっており, 筆点が紙面を離れず描かれる。したがって, その表現モデルとしては一筆書き曲線モデルが適している。それに対応して行書体も一筆書き曲線で表現して原字体とする。行書体漢字を書くときに筆点が空中を動いて描く軌跡(虚画)も実線として表現する。このように行書体と崩し字体をともに一筆書き曲線で表現しておけば, 両者の対応は一筆

書き曲線の変換で扱えることになる。

第2点は、上述の千差万別の崩し方に対応できるかについてであり、与えられた行書体に対して2章の方法が平面全体を覆うことができる変形曲線を生成できるならば、任意の崩し字体を生成できることがいえる。しかし、平面全体を覆うことができるという条件は厳しすぎる。なぜならば、ある行書体に対する代表的な崩し字体に近い字体が生成できることがいえれば、2章の方法の有用性がいえる。その場合、近いということはどう表すか、代表的な崩し字体をどう設定するかのポイントになる。

まず、近さを距離として表す。代表的な崩し字体を W_a 、それと比較される字体を W_b で表し、両者の切片数は等しいと仮定すると、両者の距離 $D(a, b)$ は各切片どうしの差を成分とするユークリッド距離で表される。

$$D(a, b) = (|w_{a1} - w_{b1}|^2 + |w_{a2} - w_{b2}|^2 + \cdots + |w_{an} - w_{bn}|^2)^{1/2} \quad (20)$$

ただし、 w_{ai} , w_{bi} ($i = 1, 2, \dots, n$) はそれぞれ W_a , W_b の切片成分である。ここで、 W_a , W_b が1つの字体 W_o から生成行列 $[M_a]$, $[M_b]$ で生成されると仮定すると、

$$W_a = [M_a]W_o, \quad W_b = [M_b]W_o \quad (21)$$

これを式(20)に代入すると次式となる。

$$D(a, b) = (|(M_{a11} - M_{b11})w_{o1} + (M_{a12} - M_{b12})w_{o2} + \cdots + (M_{a1n} - M_{b1n})w_{on}|^2 + |(M_{a21} - M_{b21})w_{o1} + (M_{a22} - M_{b22})w_{o2} + \cdots + (M_{a2n} - M_{b2n})w_{on}|^2 + \cdots + |(M_{an1} - M_{bn1})w_{o1} + (M_{an2} - M_{bn2})w_{o2} + \cdots + (M_{ann} - M_{bnn})w_{on}|^2)^{1/2} \quad (22)$$

ただし、 M_{aij} , M_{bij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$) は、生成行列 $[M_a]$, $[M_b]$ の i, j 成分である。上式で w_{oj} にかかる係数 $(M_{aij} - M_{bij})$ ($i = 1, 2, \dots, n$) のうち絶対値の大きさが最大のものを C_j と書くと、距離 $D(a, b)$ の上限は次式でおさえられる。

$$D(a, b) \leq \left(n \left(\sum_{j=1}^n |C_j| |w_{oj}| \right)^2 \right)^{1/2} \quad (23)$$

上式は距離という単一の物差しで計る場合の2つの字体の近さを与える。2つの字体 W_a , W_b が W_o という1つの字体から生成されるとき、左辺について W_a , W_b の距離 $D(a, b)$ を計算する。一方、 W_o の各切片に対するあらかじめ決められた係数 C_j ($j = 1, 2, \dots, n$) を用いて上式右辺を計算し、これが $D(a, b)$ よりも大きければ、 W_a と W_b の字体は距離的に近いことに

なる。実際上は、 C_j あるいはそれらのうちの最大値 $C_{\max}$ を推定する必要がある、これは崩し字体に対する未知の M_{aij} , M_{bij} を見出す問題になる。これについては次章で述べる。ここでは、式(23)が満足される上限が設定されたと仮定する。

次に、代表的な崩し字体をどう設定するかについて述べる。崩し漢字の典型は草書体漢字である。草書体は、隸書体と呼ばれる後漢の時代に用いられた公式の文字をもっと速く書けて便利な書体として発生した字体である。その後、三国、西晋の時代に楷書体、行書体、草書体が区別して書かれるようになった。その後の草書体を発生の元となった字体に基づいて分類すると3つに分類される⁴⁾。(1) 隸書体の崩し字体、(2) 行書体の崩し字体、(3) 楷書体の略体の崩し字体。これらのうち(2)の草書体の墨跡を代表的な崩し字体として設定する。

代表的な崩し字体と生成字体との比較においては、近さには筆の動きが似ている、つまり運筆が近いことが必要である。これは本章の最初の段落で述べた(1)から(4)の筆の動きの比較である。特に草書体の運筆としての特徴をまとめ直すと次のようになる。(1) 簡略化が進んだ結果生じる抽象化とそれにとまなう字の大小が現れる。(2) 運筆が省略される。(3) 虚画が実際に描かれる。(4) 筆順が変化する。(5) 扁平型の字体と正方形型の字体との相互の変形、正方形型の字体と長方形型の字体との相互の変形が行われる⁶⁾。これらの特徴は、筆の動きが先を急ぐあまり出てくる性質であり、筆の動きを紙の上に記した筆跡に対してこれらの項目が近さの基準になる。これらの項目による比較の目的は、ぎくしゃくした曲線と滑らかな曲線との関係を、行書体とそれから生成される崩し字体との関係に対応づけて、行書体に起源を持つと見られる草書体は、生成結果の妥当性を問う根拠にすることである。

ここで特に、(4)の筆順が変化することをどう考慮するかについて述べる。字体を崩すときは軽快で簡素な運筆をねらう書きぶりになり、最短の線で書かれることになる。このために最も動かしやすい筆順が選ばれることになる。筆順の変化は上述したように行書体においてすでに現れている傾向である。2章の方法を崩し字体の生成に応用するのが目的であるから、そこでの元の字体、つまり行書体も崩しを前提とした筆順に変更して与えるのが目的に添うと考えられる。

2章で述べた生成行列のうち、筆の動きが先を急ぐ特徴をモデル化しているのは、先の切片を取り込む行列である。これは図2において、人偏の崩しかたではaの方が自然であることに例示されている。以下に2.2

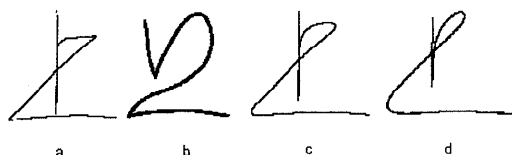


図4 a:「上」の行書体の一筆書き入力, b: 辞典の草書体の一筆書き, c: 生成書体 ($m = 20$), d: 生成書体 ($m = 40$)

Fig. 4 a: an input of single string curve representing the semi-cursive style of “上”, b: the example of dictionary cursive style, c: the generated cursive style ($m = 20$), d: ($m = 40$).

節で述べた基本生成行列 $[A_m]$ により, 入力行書体漢字から崩し漢字を生成した例を示す. 入力行書体としては, 丁寧に一筆書きで作成した手書き漢字とし, その1本曲線を均等に256等分した切片の両端座標を入力データとした. 生成した字体が崩し漢字として妥当なものであるかどうかは, 行書体に起源を持つと見られる代表的な草書体漢字を文献5), 7) から選びそれを一筆書き曲線に改めたものを用いて, 上述した考え方で比較した. ただし, 距離の近さについては, 式(23)の下で述べたように, 生成行列の行列要素を見出す問題であり, 次章で検討することとし, ここでは, 十分大きい上限が設定されたとして式(23)は満足されていると仮定する.

図4から図12に示す例では, aが入力行書体, bが行書体に起源を持つと見られる辞典草書体の一筆書き, c, dが本方法で生成した崩し字体2種類である. これらの生成書体は, 生成モデルの式(4)の $[A_m]$ における m を変えて得られたものである.

m の値を1から順に増していくと, 生成書体はごくしゃくした元の入力行書体から順次少しずつ滑らかな字体になっていく. 生成字体の滑らかさ, つまり崩しの度合いという量を定量的に定めるのは難しいが, 定性的にいうと, 文字記号として機能する限界が崩しの度合いの最大である. このときの m は入力行書体の字種と形状に依存する. 1つの字体については, 崩しの度合いを示す m の大きさは滑らかさの指標になるので, 限界の崩しの度合いにおける m で規格化しておく, 異なる漢字についても滑らかさを共通の尺度で記述できる. しかし, 文字記号として機能する限界を客観的に定めるのは難しいので, 以下では元の入力行書体からある程度崩された字体, 相当崩された字体と見られる2例を示した.

図4では, 辞典の字体bの筆順は, 縦画-短い横画-下の横画の順に変更されている. それに合わせて入力行書体aの一筆書きもその順で描いている(上記

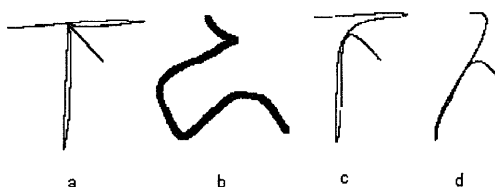


図5 a:「下」の行書体の一筆書き入力, b: 辞典の草書体の一筆書き, c: 生成書体 ($m = 40$), d: 生成書体 ($m = 100$)

Fig. 5 a: an input of single string curve representing the semi-cursive style of “下”, b: the example of dictionary cursive style, c: the generated cursive style ($m = 40$), d: ($m = 100$).

運筆の特徴(4)). 辞典の字体bの縦画は運筆が短くなっている. 生成字体c, dも m が増すほど縦画が短くなっている(上記運筆の特徴(1), (2)). 辞典の字体bの短い横画から下の横画へつなぐ部分は, はじめは右上がりに, それから左下へと丸みを帯びた筆画で画かれている. 生成書体c, dにおいても, はじめは右上がりに, 次に左下へとまるみのある曲線が作られている. 下の横画については, 辞典の字体bと生成書体c, dともにほぼ同じである. 辞典の字体bは, 生成書体c, dに比べて全体として幅が広く書かれているが, 草書体の特徴として偏平形に書いたり縦長の長方形に書いたりされるので, この差異は変形の自由度の範囲内である(上記運筆の特徴(1), (5)). 以上の比較検討により, 生成字体は崩し字体として妥当であるといえる.

図5では, 辞典の字体bの筆順は, 横画-縦画-右下方向への点という通常の順である. 辞典の字体bの横画は右下方向への短い斜画に簡略化されている. 生成字体c, dでも m が増すほど横画の長さが短くなる(上記運筆の特徴(1), (2)). 辞典の字体bの縦画に相当する部分は, 右下向きの短い斜画に簡略化され, 横画からのつながりの曲線を含めて全体として「く」の字型になっている. 生成字体の縦画は, ある程度の崩しcでは横画から縦画へのつながり部分も含めると全体としてやはり「く」の字型になっている. 相当な崩しdでは, 生成字体の縦画はかなり短くなり, 横画からのつなぎ曲線である斜め曲線が長くなる. これら3つの縦画の変形は崩し字体の変形の自由度の範囲内である(上記運筆の特徴(1), (2)). 辞典の字体bの右下方向への点は, 書かれる位置が横画と縦画の交点からではなく, 右下に離れた位置になっている. これは草書体の運筆の自由度が大きい現れである. 生成書体c, dでは, 右下方向への点は横画と縦画のほぼ交点近くに作られる. これら3つの右下方向への点は崩し字体の変形の自由度の範囲内である(上記運筆の特

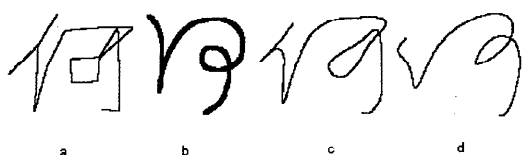


図 6 a:「何」の行書体の一筆書き入力, b: 辞典の草書体の一筆書き, c: 生成書体 ($m = 20$), d: 生成書体 ($m = 40$)

Fig. 6 a: an input of single string curve representing the semi-cursive style of “何”, b: the example of dictionary cursive style, c: the generated cursive style ($m = 20$), d: ($m = 40$).

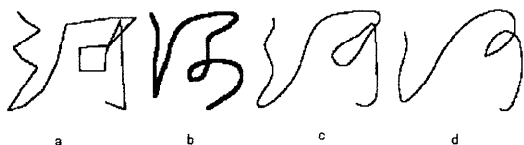


図 7 a:「河」の行書体の一筆書き入力, b: 辞典の草書体の一筆書き, c: 生成書体 ($m = 20$), d: 生成書体 ($m = 40$)

Fig. 7 a: an input of single string curve representing the semi-cursive style of “河”, b: the example of dictionary cursive style, c: the generated cursive style ($m = 20$), d: ($m = 40$).

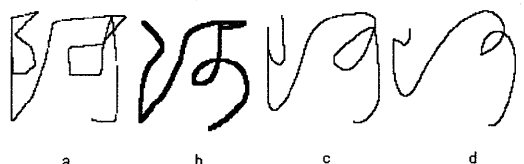


図 8 a:「阿」の行書体の一筆書き入力, b: 辞典の草書体の一筆書き, c: 生成書体 ($m = 20$), d: 生成書体 ($m = 40$)

Fig. 8 a: an input of single string curve representing the semi-cursive style of “阿”, b: the example of dictionary cursive style, c: the generated cursive style ($m = 20$), d: ($m = 40$).

徴 (1), (5)). 以上の比較検討により, 生成字体は崩し字体として妥当であるといえる。

図 6, 図 7, 図 8 では, 辞典の字体 b の筆順が「口」の部分で通常の順序と違って右回りに書かれている。これに対応して, 上述した理由により入力行書体 a の筆順も「口」の部分で右回りとした (上記運筆の特徴 (4)). 図 6 の「人偏」と図 7 の「さんずい偏」は, 辞典の字体 b ではほぼ同様に簡略化されて書かれる。生成字体では, ある程度の崩し c では「人偏」, 「さんずい偏」の形は残されるが, 相当の崩し d では両者は辞典の字体 b の簡略化された「偏」に近づく (上記運筆の特徴 (1), (2)). 図 8 の「こざと偏」では, 辞典の字体 b は「人偏」, 「さんずい偏」とは区別できる筆画が書かれ, 一方, 生成字体 c, d でも同様であり, 特に d では b と似た筆画ができています。図 6, 図 7, 図 8 の

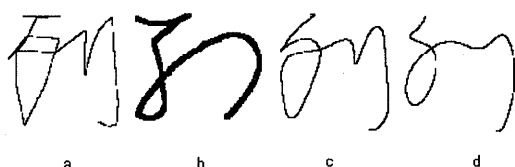


図 9 a:「列」の行書体の一筆書き入力, b: 辞典の草書体の一筆書き, c: 生成書体 ($m = 20$), d: 生成書体 ($m = 40$)

Fig. 9 a: an input of single string curve representing the semi-cursive style of “列”, b: the example of dictionary cursive style, c: the generated cursive style ($m = 20$), d: ($m = 40$).

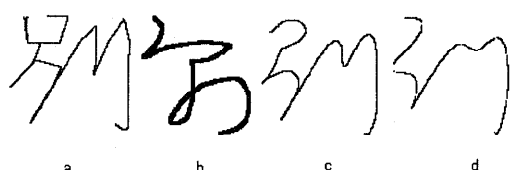


図 10 a:「別」の行書体の一筆書き入力, b: 辞典の草書体の一筆書き, c: 生成書体 ($m = 20$), d: 生成書体 ($m = 35$)

Fig. 10 a: an input of single string curve representing the semi-cursive style of “別”, b: the example of dictionary cursive style, c: the generated cursive style ($m = 20$), d: ($m = 35$).

「旁」である「可」は三者共通であるが, 辞典の字体 b は三者それぞれ簡略化の程度が異なるが, これらの差異は変形の自由度の範囲内である (上記運筆の特徴 (1), (2)). 生成字体 c, d では三者共通の形状となっており, 図 6 の辞典の字体 b の筆画に近い。以上の比較検討により, 生成字体は崩し字体として妥当であるといえる。

図 9 では, 辞典の字体 b において筆順の最初の横画がほぼ残されており, 後の筆画は簡略化がなされている。生成字体では m が大きくなるに従い, 最初の横画がだんだん短くなり, c, d に示す崩しでは横画がなくなっている。したがって, 適切な崩しの m は c の m より少し小さい m がよい。c, d を示したのは「旁」の崩しが辞典の字体の崩しまで生成できることを示すためである。繰り返すと適切な生成字体は c より少し崩しが小さい字体である。上記運筆の特徴 (1), (2) があるといっても, 残すべき筆画も省略してしまうと適切な崩しができないことに注意すべきである。この点に注意して m を選べば, 妥当な崩し字体が生成できる。

図 10 では, 入力行書体 a を崩したものが辞典の字体 b であることをまず説明する。「口」の部分が, b の最初の短い縦画と, 横画でつながれた右にある左下へ向かう転画とで表現されている。いわば「口」を点 2

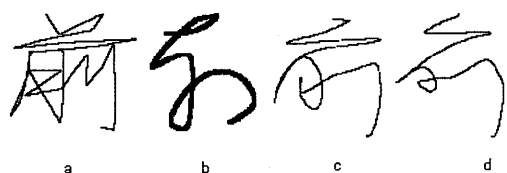


図 11 a:「前」の行書体の一筆書き入力, b: 辞典の草書体の一筆書き, c: 生成書体 ($m = 20$), d: 生成書体 ($m = 35$)

Fig. 11 a: an input of single string curve representing the semi-cursive style of “前”, b: the example of dictionary cursive style, c: the generated cursive style ($m = 20$), d: ($m = 35$).

つで表したことになるっており、この簡略化はよく行われる。bで次に書かれる縦画は「口」の下の部分であり、これから「旁」の部分へかけて丸い筆画で簡略化されている。このようにaの各部分の配置はbでは自由度を大きくして再配置されているが、あくまでaの筆順に沿って描かれているのである（上記運筆の特徴(1), (2), (5)）。次に、生成字体cでは「口」の部分とその下、そこから「旁」の部分へと筆順と各部の配置を保って簡略化ができています。生成字体dでは「旁」の部分の簡略化は辞典の字体bのそれに近い筆画ができていますが、「偏」の部分は、「口」の簡略化がいきすぎである。妥当な崩し字体は、 m の値がcとdの間の m で生成される。

図 11 では、入力行書体 a は通常の筆順であるが、辞典の字体 b は次のように簡略化されている。a の第 1 画から第 3 画までが、b では横画から上側へ跳ねて左下へつなぐという単純な筆画で表されている。これは筆順の変更というよりは視覚的にとらえた簡略化となっている。次に b の短い横画から長い縦画をへて左はねから右上方へつなぐ筆画が、a の「月」の部分である。b の最後の丸い筆画は a の「月」の右側部分の簡略表現である。これらの簡略化は、上記運筆の特徴 (1), (2) が強く現れたものである。一方、生成字体 c では、入力行書体 a の筆順に沿った簡略化がされており、a の第 1 画から第 3 画まで、「月」の部分、その右側部分の崩しが b ほど極端ではなく、適度な上記運筆の特徴 (1), (2) に基づく簡略化となっている。生成字体 d では c の簡略化が進んだ結果、a の第 1 画と第 2 画が左はらいに、a の「月」の簡略化が c より進んで縦方向に圧縮された形に、a の「月」の右側の部分は c と同程度の簡略化となっている。問題は a の第 1 画と第 2 画が左はらいになったことであり、簡略化がいきすぎである。こうなる前の m が妥当な崩し字体を与える。

図 12 では、辞典の字体 b は、a の入力行書体の筆

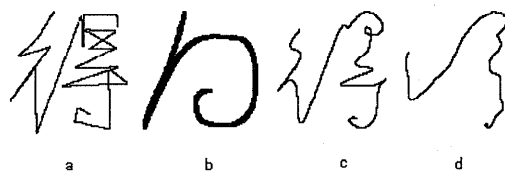


図 12 a:「得」の行書体の一筆書き入力, b: 辞典の草書体の一筆書き, c: 生成書体 ($m = 15$), d: 生成書体 ($m = 50$)

Fig. 12 a: an input of single string curve representing the semi-cursive style of “得”, b: the example of dictionary cursive style, c: the generated cursive style ($m = 15$), d: ($m = 50$).

順に沿った概略の方向に、単純な筆画で表す簡略化が行われている。生成字体 c は a の筆順を推定できる程度の崩しである。さらに m を大きくした d では、a の筆順を推定できず、また b における最後の筆画の巻きも d では小さな筆画になっている。これは辞典の字体として例があり、上記運筆の特徴 (1), (2), (5) に基づく崩し字体として妥当である。

以上の数例に示す生成字体の検討結果から、本方法による生成字体は、崩し文字として妥当な字体を与えると推測される。そこで、日常よく使用する 750 文字を選び、上述と同様の検討を行った結果、これらの字種に対しても本方法は有効であることが確かめられた。この結果は、生成モデルの式 (4) の $[A_m]$ が、筆点の現在ある点から次に書かれるであろう先々の行書体の曲線をうまく現時点に取り込んでいることを示している。繰り返していうと、行書体という変化の激しいぎくしゃくした曲線から崩し字体という滑らかな曲線へ変換するには、一筆書きで表した行書体の筆跡の n 個の切片に先々で書かれるであろう m 個の切片を取り込めばよいということである。つまり、 $[A_m]$ は速書きするときの意識をよく表しているということである。

4. 行列変換の逆問題

2 章で述べた一筆書き曲線の変形法は、入力曲線 W_1 を滑らかな曲線 W_2 へ変換するものであった。ここでは逆に W_2 が入力として与えられたとき、 W_1 を推定する逆問題を考える。ここで扱おうとしている逆問題は、与えられた滑らかな入力曲線 W_2 の特徴を曲線の変形手段の逆変換で際立たせようとするものである。2 章で扱った行列はどれも逆行列が存在するから、パラメータ n, m 等を適当に仮定すれば逆変換は容易にできる。そのような場合、得られた解 W_1 は、これを滑らかに変化させると入力曲線 W_2 になるとは限らない。ぎくしゃくした曲線として求められるとは限らな

い。たいていの場合、得られた W_1 からは、もとの W_2 がまったく推定できないような解として W_1 が求まる可能性が高い。

その原因は、ここでは辞書を仮定しないため、解としての W_1 に対する規範がないことから、何が解なのか明解でないためである。もし、辞書を用いる場合は、辞書の標準曲線パターンから生成行列により滑らかな曲線を生成して、この生成結果と入力曲線とのマッチングをとる問題になる。この場合は、生成結果と入力曲線との距離が最小になるように生成行列 M_{ij} のパラメータ n, m を最適化するとともに、最小距離の標準パターンを探索する問題となる。

ここでは、辞書を用いないことを前提とするので、上記のように、滑らかな曲線がどのようなぎくしゃくした曲線から、いかなる変換で生成されたかは、答えに無限の可能性がある。そこで問題の前提として次の条件を設定する。

- (1) 入力 W_2 は滑らかな一筆書き曲線である。
- (2) W_2 は 2 章で述べた行列変換から生成されたものと類似の形状を持つ。
- (3) 逆問題の解曲線 W_1 は、入力 W_2 に対応づけられる妥当な形状を持っていないなければならない。

以下では逆問題の完全解を求めることを目指すのではなく、上記の前提条件の下で解曲線 W_1 に近づく方法を検討する。入力 W_2 からもっともらしい解曲線 W_1 を推定するには、試行錯誤的繰返し計算は避けられないので、できるだけ逆変換の計算手順が簡単な方法から試みるのが効率的である。

まず、2.3 節の [4] に示した指数関数型の生成行列式 (17) を用いて、入力曲線の逆変換を試みる。この場合、 t を $-t$ とすれば逆変換になる。 $-t$ の値を走査することにより解曲線に見当をつけることになる。答えが分かっている問題について例を示す。図 13 の a は、解曲線 W_1 である。同図 b は、同図 a に対して $t = 16$ の生成行列式 (17) を適用して作られた滑らかな曲線で、これをここでの入力 W_2 と見なす。切片数は 256 である。同図 c, d, e は、入力に対してそれぞれ $t = -12$, $t = -16$, $t = -18$ として逆変換を施して解曲線に見当をつけた結果である。今の場合答えが分かっているので $t = -16$ の d が解曲線ということになるが、解曲線が分からない場合は、 $t = -12$ から不安定性の現れる直前 ($t = -18$ の手前) まだが解の候補となる。この例は生成行列で作られた曲線を入力としたが、これと類似の形状を持つ一般の場合では、 $-t$ の値はもっと 0 に近い値 (たとえば $t = -3$) で e のように不安定性が現れてしまう。したがって、解曲

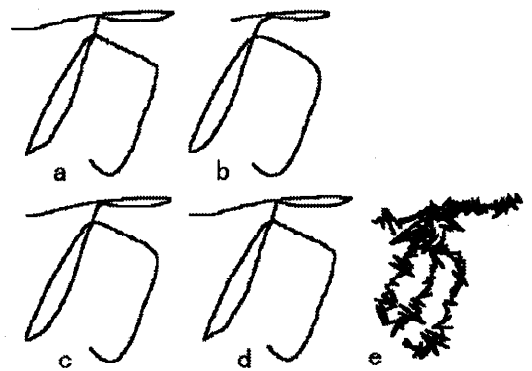


図 13 a: 滑らかな曲線からぎくしゃくした曲線を推定する問題において、解曲線としてのぎくしゃくした曲線。b: a から $t = 16$ の生成行列式 (17) を適用して作られた滑らかな曲線 (入力曲線)。c: b から $t = -12$ により得られた逆変換。d: b から $t = -16$ により得られた逆変換。e: b から $t = -18$ により得られた逆変換

Fig. 13 a: A solution of zigzag curve in the inverse problem of estimating the zigzag curve from a smooth one. b: A generated smooth curve obtained from a by applying Eq. (17) in the condition of $t = 16$. c: A zigzag curve inverted from b in the condition of $t = -12$. d: A zigzag curve inverted from b in the condition of $t = -16$. e: A zigzag curve inverted from b in the condition of $t = -18$.

線の推定はもっと困難になる。

このように指数関数型の生成行列式 (17) を用いて入力曲線の逆変換を試みる場合は、1 個のパラメータを走査するだけでよいので計算手順は簡単である。同様に、2.2 節の基本生成行列 $[A_m]$ の逆行列を用いて解曲線を推定する場合は、切片数 n は固定とすると、1 個のパラメータ m (先の取込み数) を振って最適の m を見出すことになる。ただし毎回逆行列を計算する必要がある。そのような場合、毎回厳密に逆行列計算をしなくても、近似的な計算で判断できる方法があれば計算量が少なくてすむ。

基本生成行列 $[A_m]$ の場合を考える。 $[A_m]$ を $[\alpha]$ のべき乗を使って表した式を利用すると次式が得られる。

$$[I]W_1 = W_2 - ([\alpha] + [\alpha]^2 + \cdots + [\alpha]^{m-1})W_1 \quad (24)$$

ここで W_2 が与えられて、求めようとするのは W_1 である。逐次近似で第 0 次解 $W_1^{(0)} = W_2$ から出発する。1 次近似解は

$$W_1^{(1)} = ([I] - [D])W_2 \quad (25)$$

ただし、 $[D] = [\alpha] + [\alpha]^2 + \cdots + [\alpha]^{m-1}$ である。2 次近似解は

$$W_1^{(2)} = ([I] - [D] + [D]^2)W_2 \quad (26)$$

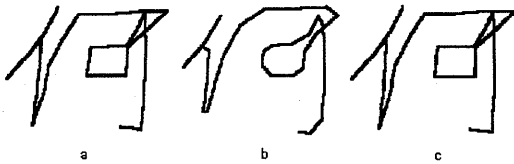


図 14 a:「何」の入力行書体 (図 6), b: $n = 33$, $m = 2$ で生成した崩し文字, c: 逆行列計算で復元

Fig. 14 a: An input of semi-cursive style of 「何」, b: the generated curve under $n = 33$, $m = 2$, c: the reverse curve obtained by the inverse matrix.

3 次近似解は

$$W_1^{(3)} = ([I] - [D] + [D]^2 - [D]^3)W_2 \quad (27)$$

第 k 次近似解は

$$W_1^{(k)} = \left[\sum_{j=0}^k (-[D])^j \right] W_2 \quad (28)$$

行列の次元が n のとき $[a]^n = 0$ となるので $[D]^n = 0$ となり, $n-1$ 次近似で終わりとなる。

各次数の近似精度は, 厳密な式 (24) において, W_1 に近似解を代入して左辺から右辺を引いたものとして評価できる。

- 第 0 近似の誤差: $[D]W_2$
- 第 1 近似の誤差: $-[D]^2W_2$
- 第 2 近似の誤差: $[D]^3W_2$
- 第 k 近似の誤差: $(-1)^k [D]^{k+1}W_2$
- 第 $n-1$ 近似の誤差: $(-1)^{n-1} [D]^n W_2 = 0$

第 $n-1$ 近似では逆行列計算を行ったことに等しい。この逐次近似解の意義は, 低次の近似解の計算から始めて, 適当な次数の結果で判断し, 厳密解である $n-1$ 次近似解に至るまでは計算せずに済みますということである。第 0 近似から始めて順次次数をあげて第 $n-1$ 近似まで計算する計算量が, 厳密な逆行列計算に等しいから, 途中の次数で計算を止めればそれだけ計算量は少なくなっている。

次の例で説明する。図 14 は, 図 6 の a に示す「何」の入力行書体から, $n = 33$, $m = 2$ のパラメータで崩し文字 b を作り, それを逆行列計算で c のようにもとの戻ること確かめた図である。図 15 は, 図 14 の崩し文字 b が与えられたとして, 上述の逐次近似で復元していった図である。d は 24 次近似, e は 26 次, f は 28 次, g は 30 次, h は 32 次で逆行列計算と同じである。この例では 24 次近似で計算を打ち切っても十分であることを示す。

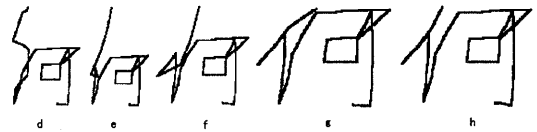


図 15 図 14 の崩し文字 b の逐次近似による復元. d: 24 次近似, e: 26 次, f: 28 次, g: 30 次, h: 32 次で逆行列計算と同じ
Fig. 15 The process of iterated inverse calculation starting from the curve of b in figure 14, d: 24th-order, e: 26th-order, f: 28th-order, g: 30th-order, h: 32th-order equal to the inverse matrix result.

5. む す び

二次元平面上に描かれた一筆書き曲線について, 一方がぎくしゃくした曲線, 他方が滑らかな曲線の相互変換について行列変換により検討した。変換の特徴を簡潔に表現する基本生成行列を提案した。これは, 一筆書き曲線のいくつかの切片の和として新しい切片を生成するものである。生成行列は, 曲線の切片列を上へあるいは下へ 1 個ずらせる作用をする素行列のべき乗和として表現できることを示し, これをもとに逆問題解法を与えた。また, 基本生成行列から派生される簡潔な変換行列も示した。

1 つの応用として, 本方法が行書体漢字から崩し漢字の生成に有効であることを示した。生成された書体は, 筆点の現在ある点から次に書かれるであろう先々の行書体の曲線をうまく現時点に取り込んでいることを明らかにした。つまり, 提案した基本生成行列の 1 つは, 速書きするときの意識をよく表していることを示した。

最後に, 逆問題を取りあげ, 1 個のパラメータを最適化する場合の生成行列について計算効率の点から検討した。

謝辞 日頃本学においてご指導いただく川合英俊教授ならびに高山文雄助教授を始めとして, 情報科学教育研究センターの諸先生方々に深謝する。

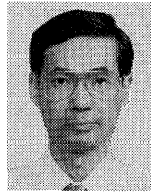
参 考 文 献

- 1) 上坂吉則: 開曲線にも適用できる新しいフーリエ記述子, 信学論, Vol.J67-A, No.3, pp.166-173 (1984).
- 2) 石井健一郎: 変形文字パターン発生法とその応用, 信学論, Vol.J66-D, No.11, pp.1270-1277 (1983).
- 3) 田村 (編): コンピュータ画像処理入門, p.93, 総研出版, 東京 (1985).
- 4) 阿保直彦 (編): 書道百科事典, pp.37-40, 木耳社, 東京 (1991).

- 5) 江守 (編): 大きな活字の楷行草筆順・字体辞典, 三省堂, 東京 (1983).
- 6) 青山杉雨ほか (監修): 読売書法講座 4 草書, pp.14-23, 読売新聞社, 東京 (1992).
- 7) 伏見沖敬: 書道辞典, 角川書店, 東京 (1977).

(平成 9 年 8 月 25 日受付)

(平成 10 年 9 月 7 日採録)



竹内 良亘 (正会員)

1947 年生. 1970 年九州工業大学工学部電子工学科卒業. 1975 年大阪大学大学院博士課程修了. 工学博士. 同年日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所入所. 半導体集積回路の製造装置の開発に従事. 1996 年いわき明星大学理工学部電子工学科助教授. 情報科学の研究に従事.