

# 文字集団の進化に関する構成論的アプローチ

原良田 直子 鈴木 麗璽 有田 隆也  
名古屋大学大学院情報科学研究科

## Constructive Approach to Evolution of Alphabetic Letters

\*Naoko Harada Reiji Suzuki Takaya Arita  
Graduate School of Information Science, Nagoya University

**Abstract**— Humans have invented various types of writing systems based on character sets. From the other perspective, the writing systems have evolved to form family trees. It is totally unclear why they have changed their forms of letters, in other words, the mechanism of the change, although we can observe how they have changed their forms of letters to some extent. We present two computational models for the evolution of the character set like the alphabet. In the models each genotype represents a character set and each letter is defined as a set of strokes. We can examine the effect of various selection pressures on the evolution of the character sets, which can lead to our understanding and prediction of the change in character sets. It might also be applicable in the industrial or artistic design field. This paper reports on the preliminary experiments demonstrating several transitive steps in the course of character set evolution, which might be partially parallel with the historical evolution of alphabetic letters.

**Key Words:** Alphabetic letters, letter shape, evolution, genetic algorithm, artificial life

## 1 はじめに

世界中には多種多様な文字が存在し、かつ、その形を変化させてきた。従来の研究により、過去 5000 年ほどの間に 600 種類以上もの、字体セットとしての「文字」が確認されている。それらは異なる歴史的背景をもつが、言語を何らかの記号で保存するという基本的性質は同一である。従って、その基本的性質さえ維持されれば、現在の文字の形もまた変化し得る。

時代毎の代表的な文字の形を文献等で確認し、またその系統を推測できても、字形変化そのものに影響する普遍的な力、変化の過程や要因については明らかでない。しかしその変化を適応性に基づくものと考えるとき、文字を使用する立場からいくつかの適応性判断基準を見出すことができる。草書体の発展が正式な書体の変化を引き起こすという現象<sup>2)</sup>から、その適応性は草書、つまり手書きという行為を前提に考えるべきであろう。押木<sup>3)</sup>は書字行為に関し「読みやすさ(間違いなく読める等)」「書きやすさ(疲れずに書ける等)」のバランスを意識することの必要性をのべている。

文字は記録として保存され、人間を介して遺伝する際、書字行為を通して変異が加わる。前述の適応性とあわせて考えると、文字の見た目や筆順を生物の遺伝子のように、そしてその変化を様々な環境下での自然淘汰による進化と考えることができる。本研究ではこの仮定により、構成論的手法による字形変化の原理に関する知見が得られるとする。

本研究の目的は、ある文字セットの変化を「進化」とみなし、そのメカニズムを調べるためのフレームワークを構築することである。具体的には、構成論的アプローチとして GA を用いた進化モデルを構築し、アルファベットのような文字集合の進化シミュレーションを行う。異なる時代の文字間の過渡的段階を推測することができれば、過去の文字体系のさらなる解明への貢献や今後の予測が可能である。また情報機器への手書き入力文字設定等の工学的応用や、さらにはアート、エンタテインメント分野への応用も考えることができる。

## 2 字形集団進化モデル

読み手及び書き手の評価により文字の筆順情報、並びにそれに従う字形が進化する状況を考える。様々なバリエーションが考えられるという立場から、次のように 2 つのモデルを提案する。

### 2.1 遺伝子表現

遺伝子は一筆書きのように文字を書く手の動きを筆順情報として持つ。1step はペンの上げ下げと移動一回分の手の動きに対応する。十分な広さの書字フィールドを考え、書き始めのペン位置はフィールドの中心点、2step 目以降の始点は直前の画の終点とする。

#### • モデル 1

$l$  個の文字を文字集合を表す 1 セットとし、その中の各文字の書き方を表すビット列を連結した、長さ  $7 \times step \times l$  のビット列を一つの遺伝子として扱う。具体的には、7 ビットで 1step の動きを表すものとし、その中で 1 ビット、3 ビット、3 ビットをそれぞれペンの on/off、ベクトルの方向 (8 通り)、移動距離 (8 通り) を定める。

#### • モデル 2

$l$  個の文字を文字集合を表す 1 セットとし、その中の各文字の書き方を表すビット列を連結した、長さ  $11 \times step \times l$  のビット列を一つの遺伝子として扱う。1step はペンの上げ下げと移動一回分の手の動きに対応し、11 ビットで 1step の動きを表すものとする。その中で 1 ビット、5 ビット、5 ビットをそれぞれペンの on/off、ベクトルの x 方向 (-15 ~ 16)、y 方向 (-15 ~ 16) を定める。ペンの上げ下げに関する規則は次のように定める。

- off 状態：移動する。
- on 状態 (連続 2step まで): それぞれの step において現在位置から移動点に直線をひく。

- on 状態 (連続 3step 以上): on 状態の開始位置と終了位置をそれぞれ始点と終点, その間の移動点を制御点としたベジェ曲線をひく.

なお各文字の境目は決まっており, 隣接する文字同士は混ざらない.

## 2.2 進化手法

遺伝的アルゴリズムをベースに, 世代交代の過程で遺伝子に変異が加わるという手法をとる. 以下は具体的な流れである. まず, サイズ  $N$  の初期集団を用意する. つぎに  $N$  個の子集団の生成であるが, 各親個体で適応度評価を行い, エリート個体 (交叉も突然変異も行わない) を 1 個保存し,  $N-1$  セットの選択・交叉・突然変異により残りの子個体を生成し世代交代を行う.

選択はトーナメント選択方式で, 2 個体を選ぶ. そして交叉率  $c$  に基づき, step 単位で二点交叉を行い, 個体が複数字の集合であればさらに文字単位で二点交叉を行う. 交叉点は, step 単位では親同士の同じ位置にある文字同士における, ランダムな step の切れ目とし (両端含む), 文字単位では親同士の文字の切れ目を交叉点とする (交叉点は親同士で同一の位置). 突然変異はビット単位で起こるビット反転 (突然変異率  $\mu_1$ ) と文字単位で起こるランダムな位置への 1step 追加 or 削除 (突然変異率  $\mu_2$ ) の 3 種類である.

## 2.3 適応度評価

### ● モデル 1

$l$  個の文字からなる字形集団に対し, 全体の適応度を「読み手の評価」「書き手の評価」の組み合わせによって導く. 読み手の評価値として「初期字形との類似度合  $v_1$ 」「集団内部の非類似度合  $v_2$ 」を, 書き手の評価値として「疲労度  $v_3$ 」「書き連ねやすさ  $v_4$ 」を用意する.

#### (1) 字形比較に関する評価 $v_1, v_2$

比較対象の 2 字を遺伝子型から表現型 (字形) に変換する. 表現型はペンの軌跡を 1 ベクトル距離=1 ピクセルとした画像データとする. 2 つの字形データに対し, 各々を囲む最小の四角形について, 隅で合わせて重ね, 重なっているドット数の割合を 4 隅に関して求め, その最大値を 2 字の類似度とする.  $v_1$  は「元の字から形が崩れても, その文字と認識できる」かどうかに関する評価であり, 各文字の初期個体の字形との類似度の平均値  $s_1$  と, 設定した目標値 1 との近さで定義する. また  $v_2$  は「文字セット内で文字同士の読み間違いが起こらない」という評価で, 集団内の全ての 2 字の組み合わせについて, 類似度の平均値  $s_2$  と設定した目標値 2 との近さで表す.

$$v_x = \begin{cases} 1 - \frac{|s_x - \alpha_x|}{\alpha_x} & (0 \leq \alpha_x < 0.5) \\ 1 - \frac{|s_x - \alpha_x|}{1 - \alpha_x} & (0.5 \leq \alpha_x < 1) \end{cases} \quad (1)$$

#### (2) 疲労度評価 $v_3$

疲労度はペンの上げ下げに関わらず, 書字に費やす手の動き全体に対し, 少ないほど評価する. 評価値  $v_3$  は各文字にかかるコストの

集合内平均値  $avecost$  に対し, 次式で表す.

$$v_3 = \frac{1}{avecost + 1} \quad (2)$$

#### (3) 連続書字評価 $v_4$

集団内の任意の 2 字を左から右に並べて書くときの書きやすさを想定し, 1 字目の終点 ~ 2 字目の始点間の直線距離について, それが短いほど書き連ねやすいとして評価する. 2 字の間を 2 ピクセルあけ, 下揃えで書くことを想定し, 文字集団内の考える全ての 2 字のペアについてこれを求め, その平均値を  $betcost$  として次式で評価する.

$$v_4 = \frac{1}{betcost + 1} \quad (3)$$

### ● モデル 2

モデル 2 では, モデル 1 の評価値における読み手, 書き手の区別を排除した. また用いる評価値は「初期字形との類似度合  $v_1$ 」「集団内の非類似度合  $v_2$ 」「規定サイズを満たしている度合  $v_3$ 」「疲労度  $v_4$ 」「インク密度  $v_5$ 」「書き連ねやすさ  $v_6$ 」の 6 つとした. 評価値  $v_1, v_2$  はモデル 1 と同様である.

#### (1) サイズ評価 $v_3$

廣村による文字の共通パターンの 1 つ「 $4 \pm 1$ mm 大である」という性質<sup>1)</sup>に基づく評価である. 本研究ではこのサイズにを「一定の大きさである」という性質の具体例として扱う. そのサイズを実際のフォントサイズに換算した約 8~14 ポイントは, 標準ディスプレイ上の 10~19 ピクセルに相当する<sup>1)</sup>. そこでこれを規定サイズとし, 各文字について規定サイズを  $s$  だけ超えた / 満たない場合 (縦と横で異なる場合は大きい方の値) 次式でサイズ評価値  $v_3'$  を求め, その集団平均をサイズ評価値  $v_3$  とする.

$$v_3' = \beta^s (0 < \beta < 1) \quad (4)$$

#### (2) 疲労度評価 $v_4$

疲労度評価値はペンの上げ下げに関わらず, 書字に費やす手の動き全体に対し, 少ないほど評価する  $v_{4-1}$  と, 多いほど評価する  $v_{4-2}$  を用意しいずれかをを用いる. 各文字にかかるコストの集合内平均値  $avecost$  に対し, それぞれを次式で表す.

$$v_{4-1} = \frac{1}{avecost + 1} \quad (5)$$

$$v_{4-2} = 1 - v_{4-1} \quad (6)$$

#### (3) 密度評価 $v_5$

前述の疲労度が手の動き全体を指すのに対し, そのうちのインク消費量を評価値する. 同じ

<sup>1)</sup> 1 ポイント=0.3514mm (JIS やアメリカ式規格), 1 ポイント=0.3527mm (Mac, Windows). 一般的なディスプレイでは 1 ピクセル=0.75 ポイントであることが多い.

軌跡をなぞった場合はカウントせず、見た目のインク量=ドット面積を文字のフィールド面積で割った、文字のインク密度つまり「濃淡」を評価し、文字集合内の平均値  $inkcost$  を用いて、次式のように評価値  $v_{5-1}$  を表す。

$$v_{5-1} = \frac{1}{inkcost + 1} \quad (7)$$

逆に密度を高め「濃さ」を評価する評価値  $v_{5-2}$  は  $inkcost$  そのもので表す。以上 2 設定を用意し、いずれかを用いる。

#### (4) 連続書字評価 $v_6$

2字を左右、あるいは上下に並べて書くときの書きやすさを想定し、1字目の終点~2字目の始点間の直線距離について、それが短いほど書き連ねやすいとして評価する。従って、横に並べて書く場合は文字の始点はその字の左端に、終点が右端に近いほど、同様に縦に並べて書く場合は始点が字の上端に、終点が下端に近いほど高く評価する。集団内の各々の文字についてこれを求め、その平均値を  $horcost, vercost$  として以下の式で評価する。

$$v_{6-1} = \frac{1}{horcost + 1} \quad (8)$$

$$v_{6-2} = \frac{1}{vercost + 1} \quad (9)$$

### 3 モデル1 ローマ字からの進化実験

#### 3.1 設定

以上のモデルに基づき、ローマ字アルファベット A~H の大文字 8 字の集団を初期個体とした進化実験を行った。初期個体の表現型、各文字の始点及び終点を Fig. 1 に示す。ここで  $\bullet$  は各文字の始点、 $\circ$  は終点、線は次の字を書くための手の軌跡を表す。



Fig. 1: 初期個体のもつ文字集団

適応度評価は読み手の評価値重みを  $r$  とし、読み手と書き手それぞれにおける 2 個の評価値を 1:1 の重みで用いた次式で表す。

$$fitness = r * \frac{v_1 + v_2}{2} + (1 - r) * \frac{v_3 + v_4}{2} \quad (10)$$

主なパラメータは、 $N=100$ , 世代数 10000,  $c=0.9$ ,  $\mu_1=0.0001$ ,  $\mu_2=0.001$ ,  $\alpha_1=0.9$ ,  $\alpha_2=0.0$ , 規定サイズ  $10 \times 10$ ,  $r=0.1 \sim 1.0$  (0.1 刻み), トーナメントサイズ 5, 試行数 5 である。

#### 3.2 結果

読み手重み  $r$  による各評価値の推移を Fig. 2 に示す。 $v_4$  は全体を通してほぼ 1 という高い値をとり続けた。また読み手重みの働く限り、全体を通して相互作用の評価値  $v_2$  は常に 0.7~0.8 であった。 $v_1$  は  $0.5 \leq r < 1.0$  では  $v_2$  に近い値をとり続けたが、 $r \leq 0.4$  では書き手への「手を動かさない」力が強く働くことで次第に低い値になり、同時に  $v_3$  が高くなった。

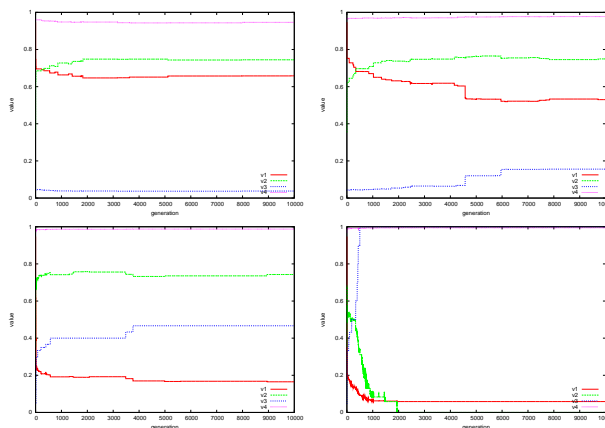


Fig. 2: 各評価値の推移 (5 試行平均, 左上: $r = 1.0$ , 右上: $r = 0.4$ , 左下: $r = 0.2$ , 右下: $r = 0.0$ )

字形に関しては、 $r = 0.4$  では 1 試行において字形が崩れ (4573 世代目),  $r \leq 0.3$  では 500 世代目までに全試行で字形の点状や線状へ大きく崩れた。 $0.4 \leq r$  では字形はある程度のサイズを保って Fig. 3 のように様々な形に進化した。このように読み手重み  $r$  が大きいとき、「初期字形と似せる」力と「互いに似せない」力が共に強く働くことで大きな崩れが抑えられ多様に变化した。また、形によっては初期字形からその小文字と似た字形を得た。ただしそれらの step 数は実際の小文字よりも多く、実際の小文字のように書きやすくなかった。 $v_1$  が減少し全体的に字形が崩れることで、集団内に同じ字形が出現しても  $v_2$  に反映されにくくなるなど、次第に相互作用の影響が弱まることが確認できる。 $r = 0.0$  では適応度は書き手の評価値のみを反映するため、読み手を無視した「手を動かさない」力ばかりが働き、字形が全て点の状態に収束した。

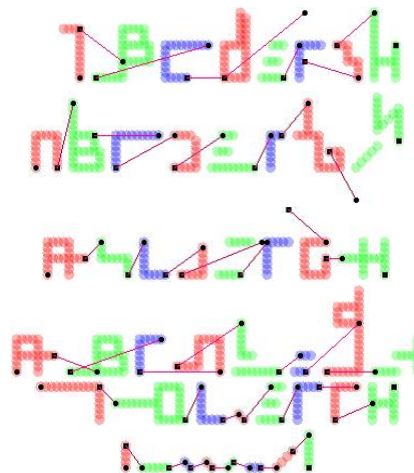


Fig. 3: 変化後の字形 (上から順に、書きにくい d と h ( $r = 0.8$ ),  $N$  が反転したような H ( $r = 0.7$ ), 全体的に単純化 ( $r = 0.6$ ), 書きにくい g ( $r = 0.6$ ), 字形の重複 ( $r = 0.5$ ), 読み手を無視した単純化 ( $r = 0.3$ ))

見た目は単純な字形で、コストも少ないが、一本の直線を数回に分けて書いたり、同じ軌跡をなぞるなど、step 数の多い文字が出現した。そこで集団内総 step 数の 5 試行平均を重み毎に Fig. 4 のように抽出し、その推移の挙動を大きく 4 つに分類した (なお初期個体の集団総 step 数は 42)。

まず  $r = 0.5 \sim 1.0$  では、総 step 数は 40 ~ 52step の範囲で、比較的緩やかな増加傾向にあった。2 つ目に、 $r = 0.4$  では、わずかに増加した後、最終世代までに約 27step にまで減少した。3 つ目に、 $r = 0.1 \sim 0.3$  では、コスト減少の影響で 500 世代までに 10step 程度になり、ほぼ収束した。最後に、 $r = 0.0$  での字形は点の状態、コストもほぼゼロだが、step 数は激しく増減した。これはペンが下りたまま移動距離がゼロである step によるものであった。これは相互作用が弱まることで互いの類似度が無視され、コストがかからない書き方が生き残ったことを示す。

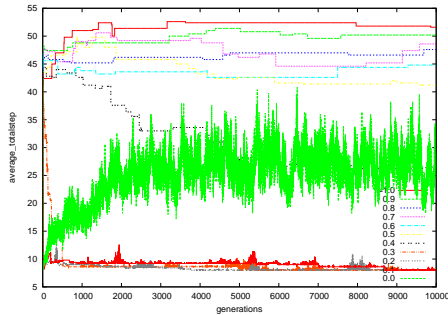


Fig. 4: 読み手重みによる集団総 step 数推移

読み手側の評価が強く働くとき、相互作用による反発で字形が変化すると同時に書き手側のコストを抑える力は弱まり、文字の多くはコストは少ないが step 数が増加し、筆順が複雑になった。また書き手側の評価が強く働くとき、読み手側の文字を識別する力が弱まり、書きやすさがより探索され、結果似たような字形ばかりになった。しかし中には  $r = 0.6$  (Fig. 3 の上から 3 番目) のように、識別しやすかつ step 数も少なく進化する集団もみられた。これは読み手と書き手双方で高い評価が示され、両者の均衡がとれたことを示している。

このように、4 つの評価値及び読み手評価値重みを用いて様々な字形への進化をさせた。しかし「点状になるなど字のサイズがばらける」「字形の単純さとコストが比例しない」などの問題点もあった。また、書字ルールの問題として「8 方向の直線しか書けない」ことも人間による書字行為にはない制限であった。

#### 4 モデル 2 ローマ字からの進化実験

まず、各評価値の性能を確認するため、評価値  $v_2, v_{4_2}, v_{5_1}, v_{5_2}, v_{6_1}, v_{6_2}$  をそれぞれ単体で適応度とした進化シミュレーションを行った。 $v_2, v_{4_2}, v_{5_1}, v_{5_2}$  は初期字形との類似度評価  $v_1$  やサイズ評価  $v_3$  と組み合わせても調べた。

##### 4.1 設定

初期集団としてローマ字アルファベットから 8 字を、次のように用意した。



Fig. 5: 初期集団 (アルファベット A ~ H)

複数の評価重み係数パターンを用いて実験を行った。また、固定パラメータは  $N=100$ , 世代数 500,  $c=0.9$ ,  $\mu_1=0.0008$ ,  $\mu_2=0.009$ ,  $\alpha_1=1.0$ ,  $\alpha_2=0.0$ ,  $\beta=0.857$ , トーナメントサイズ 5, 試行数 2 である。

#### 4.2 結果

##### (1) 集団内非類似度評価 $v_2$ の影響



Fig. 6: 上: 2 世代目, 下: 200 世代目

文字サイズが大きいほど字形比較時に「似ていな」くなりやすいため、個々の文字サイズが次第にはらつき、大きな差が生じた。つぎに、初期字形との類似度評価  $v_1$  との重みの割合を  $v_2 : v_1 = 2:1, 3:1$  にして同様に進化させると、2:1 では全く崩れず、3:1 では  $v_1$  の力が弱まり、Fig. 7 のように崩れた。

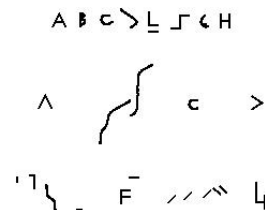


Fig. 7:  $v_2 : v_1 = 3:1$  (上: 50 世代目, 中: 500 世代目 (前半 4 個), 下: 500 世代目 (後半 4 個))

また、サイズ評価  $v_3$  との重みの割合を  $v_2 : v_3 = 3:1$  にし同様に進化させると、字形の推移は Fig. 8 のようになり、 $v_3$  が強く働き、サイズが限られた中で互いの字形が反発し合った結果、単純な直線状の字形になった。

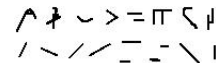


Fig. 8:  $v_2 : v_3 = 3:1$  (上: 2 世代目, 下: 500 世代目)

##### (2) 疲労度評価 $v_{4_2}$ の影響



Fig. 9: 上: 2 世代目, 中: 260 世代目 (前半 4 個), 下: 260 世代目 (後半 4 個))

手が多く動き、サイズが大きくなり続けた。また、書かない状態を含む手の動き全てがコストであるため、260 世代目の 8 個目のような比較的小さいサイズの字形がある状態でも、1 文字あたりの step 数は初期個体の 100 倍以上であった。

つぎに、初期字形との類似度評価  $v_1$  との重みの割合を  $v_{4_2} : v_1 = 2:1, 3:1$  にして同様に進化させたが、 $v_1$  の力が依然強く、いずれも全く崩れなかった。



また、サイズ評価  $v_3$  との重みの割合を  $v_{4_2}:v_3=1:1, 2:1, 3:1$  にして同様に進化させると、それぞれ 500 世代目における字形は次のようになり、いずれも  $v_3$  が強く働いていた。

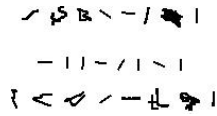


Fig. 10:  $v_{4_2}:v_3=1:1, 2:1, 3:1$ (500 世代目)

(3) 密度評価  $v_{5_1}$  の影響



Fig. 11: 上: 2 世代目, 中: 250 世代目 (前半 4 個), 下: 250 世代目 (後半 4 個)

密度を求める際の分母となる「広さ」がとられ、分子となるドット面積は縮小した結果、字形は「大きいが多く書かれない」形になった。step 数は 500 世代までみても 1~2 倍程度で、「書かない=手を動かさない」力の強い影響で広く書くことが抑えられた結果、インク密度が高いはずの「点のように小さな字」も現れた。

つぎに、初期字形との類似度評価  $v_1$  との重みの割合を  $v_{5_1}:v_1=2:1, 3:1$  にして同様に進化させたが、 $v_1$  の力が依然強く、いずれも全く崩れなかった。また、サイズ評価  $v_3$  との重みの割合を  $v_{5_1}:v_3=2:1, 3:1$  にして同様に進化させると、サイズ規定を守りつつ少なく書く力が働き、それぞれ 2 世代目には崩れ始め、次のように単純な形に収束した。



Fig. 12: 上:  $v_{5_1}:v_3=2:1$ , 中:  $v_{5_1}:v_3=3:1$ , 下: 150 世代目 (2:1)

(4) 密度評価  $v_{5_2}$  の影響

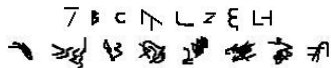


Fig. 13: 上: 2 世代目, 下: 500 世代目

多く書く力の影響で、Fig. 13 のように、初期字形より若干サイズは大きくなったが「小さいが多く書かれる」ようになった。step 数は 5 倍ほどまでにはなったが、曲線の多い字形から on 状態の頻度の高さが推測でき、step 数の多さが字形の複雑さと関連した進化であることがわかる。

つぎに、初期字形との類似度合  $v_1$  との重みの割合を  $v_{5_2}:v_1=2:1, 3:1$  にして同様に進化させたが、 $v_1$  の力が依然強く、いずれも全く崩れなかった。

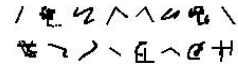


Fig. 14:  $v_{5_2}:v_3=1:1, 2:1$ (500 世代目)

つぎに、サイズ評価値  $v_3$  との重みの割合を  $v_{5_2}:v_3=1:1, 2:1$  にして同様に進化させると、それぞれ 500 世代目における字形は Fig. 14 のようになり、規定サイズの影響が強い中で密度を上げる力の重みに応じて多く書かれる傾向が見られた。

(5) 連続書字評価  $v_{6_1}, v_{6_2}$  の影響

初期の文字における始点・終点がほとんど文字のエッジ部分にあったため、初期の字形から全く崩れなかった。

以上より、各評価値は単体では明らかに強い影響を示すほか、規定サイズの影響下でもそれを守りつつ働くことを確認した。また、初期字形との類似度評価の影響が他の評価と比較して非常に強いことが分かった。

5 モデル2 フェニキア文字からの進化実験

5.1 設定

初期集団としてフェニキア文字アルファベットから 8 字を、Fig. 15 に示すように用意した。



Fig. 15: 初期集団 (アルファベット Aleph, Beth, Gimel, Daleth, He, Waw, Heth, Yodh)

実験は、疲労度評価  $v_4$  及び密度評価  $v_5$  の組み合わせに基づき、a) 「コスト小、密度大」b) 「コスト小、密度小」c) 「コスト大、密度大」d) 「コスト大、密度小」の 4 設定のもと、複数の評価重み係数パターンを用いて行った。

固定パラメータは  $N=100$ , 世代数 500,  $c=0.9$ ,  $\mu_1=0.0008$ ,  $\mu_2=0.009$ ,  $\alpha_1=1.0$ ,  $\alpha_2=0.0$ ,  $\beta=0.857$ , トーナメントサイズ 5, 試行数 2 である。

評価値は  $v_6$  を除く 5 値を用い、適応度評価は以下の式で表す。

$$\begin{cases} fitness = \sum_{i=1}^5 x_i v_i \\ \sum_{j=1}^5 x_j = 1 \end{cases} \quad (11)$$

5.2 結果

- 評価値重み比率  $v_1:v_2:v_3:v_4:v_5=1:2:1:2:2$



Fig. 16: 設定 b, 22 世代目

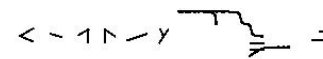


Fig. 17: 設定 d, 20 世代目 (上), 100 世代目 (下)

字形進化過程を Fig. 16, Fig. 17 に示す。設定 a,c では全く字形が崩れなかった。設定 b,d では 20 世代前後で適応度および各評価値が大きく変化し、b ではそのまま収束したが、d では 1 個だけ字形が大きく複雑になり続けた。

- 評価値重み比率  $v_1 : v_2 : v_3 : v_4 : v_5 = 2:4:1:6:6$

$v_4, v_5$  の重みを大きくすると、4 設定全てにおいて字形が崩れた。各設定の字形進化を以下に示す。設定 a では「手を動かさない」力のため全字形がただちに単純な直線形になったが、設定 b では「疎になる=広く書く」力のため一部の字は立体形をとどめて収束した。設定 c では「狭く多く書く」力によって、1 個だけ相対的に大きく「濃い」字が書かれた。設定 d では「広く書く」「少なく書く」という  $v_4$  の 2 通りの影響により 1 個だけ大きくなり続ける字形が現れ、残りの字形は小さく単純になった。

~ ~ / - / -

Fig. 18: 設定 a, 39 世代目

~ - | > # / = ㄣ

Fig. 19: 設定 b, 4 世代目

< ㄣ | > # / ㄣ =

~ - | > # > | ㄣ

Fig. 20: 設定 c, 上: 2 世代目, 下: 250 世代目

f } | > # / ㄣ

~ - | > # / ㄣ

~ - | > # / ㄣ

Fig. 21: 設定 d (上: 2 世代目, 中: 30 世代目前半 4 個, 下: 後半 4 個)

~ - | > # / ㄣ

~ - | > # / ㄣ

Fig. 22: 設定 d, 260 世代目 (上: 前半 6 個, 中: 7 個目, 下: 8 個目)

- 評価値重み比率  $v_1 : v_2 : v_3 : v_4 : v_5 = 3:5:4:5:3$

設定 a,c,d では全く字形が崩れなかった。また設定 b では全字形がただちに Fig. 23 のような単純な直線形になった。

~ ~ / - / -

Fig. 23: 31 世代目

- 評価値重み比率  $v_1 : v_2 : v_3 : v_4 : v_5 = 4:6:1:4:2$

設定 a,b,c では全く字形が崩れなかった。設定 d では「サイズを決める力」の弱さと「多く広く書く」力の影響で 1 字だけ大きな字形になったが、「少なく書く」力により複雑にはならず Fig. 24 のように収束した。

ㄣ | > # / ㄣ

Fig. 24: 10 世代目

4 つの設定による実験の結果、評価要素の重みの違いにより、進化前の字形を保存するバイアスの強さと、その字形が変化した場合の単純な形状への急速な崩壊という現象がみられた。そしてそのいずれでもない、「似た形でかつ少ないコストで書ける」という字形への進化も確認することができた。

モデルの設定による影響ということを見れば、進化前の図形を保存するバイアスの強さは、書きやすさの追求にむやみに走らず「便利さより伝統が優先される例が少なくない」<sup>4)</sup> という文字の歴史の一つの事実を示しているといえる。また、単純な直線状の字形に崩れ、人間の見た目には同じような形に感じられた反面、計算機上では互いに異なる形と認識された現象については、文字の識別性よりも流れる形の芸術性が文化的に礼賛されるようになり、イスラーム書道という形で大きく発展したアラビア文字体系において、文字識別のわずかな手がかりとなる「飾り字」の考案へ至った道筋を垣間見た。最後に、そのいずれでもない字形への進化は、まさしく文字がさらに適応的な形を求めて書き方を変える過程、その過渡的段階への手がかりを示している。

## 6 おわりに

本研究では、文字集合の字形が人間の書字行為で変化してきた現象を生物進化と同様に捉え、文字進化に関する構成論的アプローチとして、筆順表現を遺伝子型とした字形集合の進化モデルを構築した。そして、形の類似度合いや書きやすさ等の読み書き行為における諸要素を個体の適応度評価に取り入れて進化実験を行った。これにより、諸要素が字系進化に与える影響を検討し、また、小文字のような字形や、実際の文字体系にみられる特徴を確認した。今回は、文字の「反転」や「回転」を導入しなかったが、フェニキア文字からローマ字への進化過程において、書字方向の変化等でその変異が加わっている。その導入も含めて、より多様な進化シナリオを今後考えていきたい。また、木保<sup>5)</sup>が「文字は言葉を伝える記号である以前に、視覚的な表現であり、イメージとしての側面をもつ」と指摘したように、文字のイメージ的性質のさらなる反映を考え、文字形状の特徴のより細かな抽出やより多様な書字を実現するルールの考案や、様々な文字体系の使用を現在検討している。

## 参考文献

- 1) 廣村正彰: 字本 - A Book of Letters and Characters, ADP (2009).
- 2) ジョン・ヒーリー: 初期アルファベット, 学芸書林 (1996).
- 3) 押木秀樹: 手書き文字研究の基礎としての研究の視点と研究構造の例, 書写書道教育研究, Vol. 11, pp. 25 - 36 (1997).
- 4) アンドルー・ロビンソン: 文字の起源と歴史, 創元社 (2006).
- 5) 木保元一: 絵と文字のあいだ, 文字をよむ, pp. 193 - 206, 九州大学出版会 (2002).