

《総合研究プロジェクト》

字の上手さを評価する新しいアルゴリズム：深層学習による特徴量抽出

鈴木 誠^{*1} 鈴木 貴子^{*2} 濱口 豊太^{*2} 山本 淳一^{*3}

Deep Learning Assessment for Quality of Penmanship

Makoto SUZUKI, Takako SUZUKI, Toyohiro HAMAGUCHI, and Jun-ichi YAMAMOTO

1. 背景

人は字を見ただけで、その字の上手さを瞬時に判断している。従来の字の評価では、テンプレートからの逸脱度や筆圧などの指標が用いられてきた^{1,2)}。また、近年では人工知能の技術が進歩してきており、様々な形の字をパターン識別する深層学習のアルゴリズムが字の判読に応用されている。しかし、これらの方法では、書字のスキルを評価することはできるものの、字の上手さという人の感性に基づく価値判断を表現することができない。特に、人の価値判断は、文脈に依存した感情の変化に伴って変動することが知られている³⁾。はたして、人はどのように上手・下手といった字の主観的判断を行っているのだろうか？

書字の障害は、脳血管障害、認知症、パーキンソン病などの脳疾患、骨折、腱損傷、末梢神経損傷などの整形外科疾患を有した患者に共通して認められ、患者の生活に支障をきたす。加えて、健常な学童期の生徒にとっても習得すべき必須の学習課題になっている。しかし、現在の書字練習では、どの程度上手に字を書けるようになったのかを計測することが困難であるため、対象者が自身の改善度を把握できないまま、練習を反復せざるをえない状況にある。

もし、字の主観的判断の基準が個人間で絶対的だとしたら、人を教師とした深層学習によって字の上手さを高精度に判断することができるものと思われる。一方、判断基準が個人内で絶対的だとしたら、深層学習による判断精度は低いものの、判断が字の提示順序に依存しないことが予想される。また、判断基準が相対的だとしたら、深層学習による判断精度が低く、かつ判断が字の提示順序の影響を受けることが予想される。

2. 目的

本研究では深層学習のアルゴリズムを用い、字の上手さに関する主観的判断の特性を検証することを目的とした^{*4}。

3. 方法

1) 対象者

健常成人20名（女性16名、男性4名、年齢〔平均±標準偏差〕20.8±0.6歳）を対象とした。本研究は東京家政大学と埼玉県立大学の研究倫理委員会によって承認され、ヘルシンキ宣言に則って実施された。また、全ての対象者にはあらかじめ実験内容に関する十分な説明を行い、本実験への参加についての同意を文書にて得た。

2) 字の生成と評価

まず、0から9の数字で構成された標準テンプレートの各字を直線および曲線の構成要素に分割し、各構成要素における始点・終点・始点から終点の midpoint をテンプレートエリアの縦軸に対して0から13%までランダムな方向に逸脱させた14種類のテンプレートを作成した（図1）。

次に、作成した14種類のテンプレート画像を72回ずつランダムな順序でモニター上に表示し（合計1,008回）、対象者に Likert Scale（とても上手：5；やや上手：4；どちらでもない：3；やや下手：2；とても下手：1）を用いて字の上手さを評価させた。なお、評価は対象者の自己ペースで行った。

3) 畳み込みニューラルネットワーク^{*5}

畳み込みニューラルネットワークとは、人の神経を模した多層構造のネットワークを用いてコンピューターに学習させる深層学習の方法である。この方法では、あるノード（ニューロン）が前にある複数のノードから信号を受け取り、後ろにある複数のノードに信号を伝達する（図2）。

たとえば、入力層と出力層からなる単純なネットワーク（単純パーセプトロン）があったとする（図3）。このネットワークは、3種類の入力（ x_1, x_2, x_3 ）と1種類の出力（ y ）によって成り立っており、 x_1-x_3 にはそれぞれ0か1の値が与えられるとする。

^{*1} 東京家政大学（Tokyo Kasei University）

^{*2} 埼玉県立大学（Saitama Prefectural University）

^{*3} 慶應義塾大学（Keio University）

^{*4} 発表論文：Suzuki T, Suzuki M, Hamaguchi T, Yamamoto J. Subjective assessment for quality of penmanship: deep learning and predictive modeling study. under review.

^{*5} 発表論文：鈴木 誠. シングルケース研究の効果検証方法. 行動リハビリテーション2021; 10: 20-23.

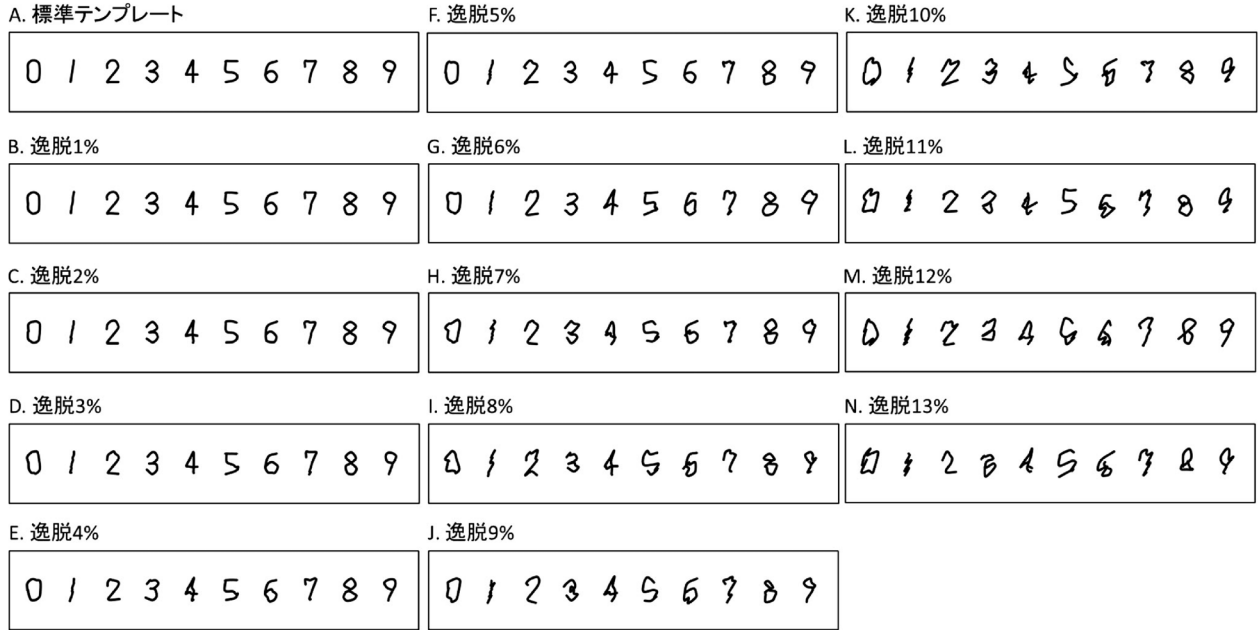


図1 生成したテンプレート

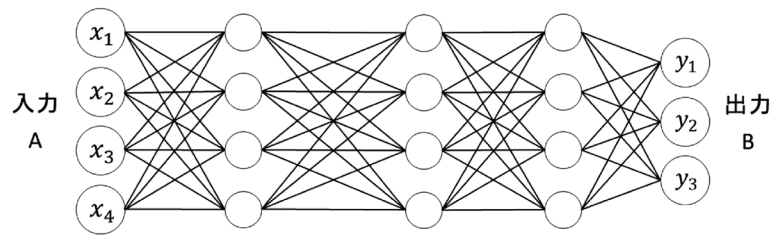


図2 畳み込みニューラルネットワーク

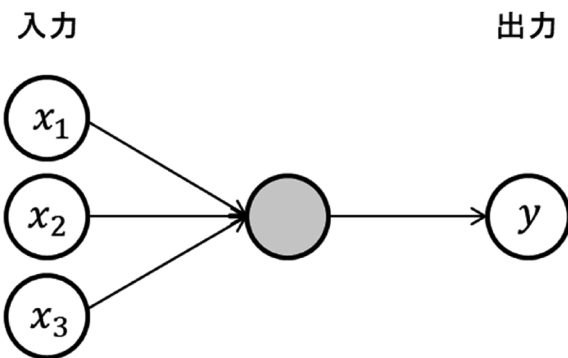


図3 単純パーセプトロン

このネットワークを用いて、日常生活が自立するか非自立にとどまるかを予測することを考えてみる。入力には、運動麻痺の有無 (0, 1)、感覚障害の有無 (0, 1)、認知症の有無 (0, 1) の要因を与えるものとする。各要因が将来の自立／非自立に及ぼす影響力は同一ではないため、各入力に対して異なる重みづけ (β) を行う。 α の値が閾値以上だった場合に自立、閾値未満だった場合に非自立とみな

すと、自立するか否かの予測は式1のように表すことができる。

$$\alpha = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 \quad (\text{式1})$$

(α : 予測閾値; β : 重みづけ; x : 入力)

このように、重みづけや閾値を変化させることによって、様々な予測を行うことができる。また、複数のパーセプトロンを組み合わせただけの場合には、より複雑な予測を行うことが可能になる。

本研究においては、まず数字の歪み度 (0 から 13% の逸脱) と健常成人による上手さ得点に関する 1008 ペアのデータをトレーニングデータセットとテストデータセットに半数ずつランダムに分類した。次に、トレーニングデータセットにおける字の歪み度と対象者による上手さの得点に関するペアデータを教師とし、字の上手さを判断するための畳み込みニューラルネットワークの重みづけと閾値を機械学習により作成した。その後、学習した畳み込みニューラルネットワークにテストデータセットの上手さを

判断させ、人による判断との一致性を正診率を用いて検証した。

また、字の提示順序が上手さの判断に及ぼす影響を検討するため、前試行と次試行の歪み度の差分 (x) と Likert Scale 得点 ($f(x)$) の分布に線形モデル (式2) を近似させ、選択バイアスを反映する傾き (β) を評価した。

$$f(x) = \alpha + \beta x \quad (\text{式2})$$

($f(x)$; Likert Scale 得点; α : 差分歪み度-10%の Likert Scale 得点; β : 選択バイアス; x : 歪み度の差分)

4. 結 果

健康成人による字の上手さの評価では、字の歪みの程度に応じて Likert Scale 得点が変わった (Friedman test, $p < 0.0001$; 図4)。しかし、3~11%の歪みでは Likert Scale 得点にばらつきを認めた。

畳み込みニューラルネットワークによる字の上手さに関する正診率は平均0.52~0.91だった。特に、5段階評価 (とても上手、やや上手、どちらでもない、やや下手、とても下手) の場合には、正診率が 0.52 ± 0.12 にとどまった (図5)。

また、前試行と次試行の歪み度の差分と Likert Scale 得点の分布に線形モデルを近似させたところ、すべての対象者において傾きが正の値だった (α , 2.71 ± 0.41 ; β , 0.15 ± 0.03) (図6)。

5. 考 察

本研究では、字の上手さに関する主観的判断の特性を検証するため、深層学習のアルゴリズムを用いて主観的判断に関する個人間・個人内の一貫性を評価した。人による Likert Scale 得点と字の歪み度のペアデータを教師として畳み込みニューラルネットワークの重みづけと閾値を決定したことから、(1) 字の上手さに関する主観的判断基準が個人間で絶対的だった場合には人を教師とした深層学習による正診率が高く、(2) 判断基準が個人内で絶対的だった場合には深層学習による正診率は低いものの判断が字の提示順序に依存せず、(3) 判断基準が個人内で相対的だった場合には深層学習による判断精度が低くかつ判断が字の提示順序の影響を受けるのではないかと推測した。実験の結果、人による上手さの判断にばらつきを認め、人工知能による正診率が50%程度にとどまった。また、前試行と次試行の歪み度の差分と Likert Scale 得点の関連性を反映する線形モデルの傾きが全ての対象者において正の値だった。これらの結果から、判断基準が個人内で相対的であることが示唆された。

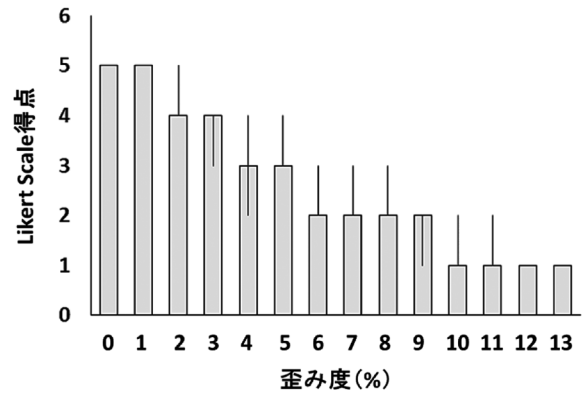


図4 歪み度に応じた主観的評価の変化

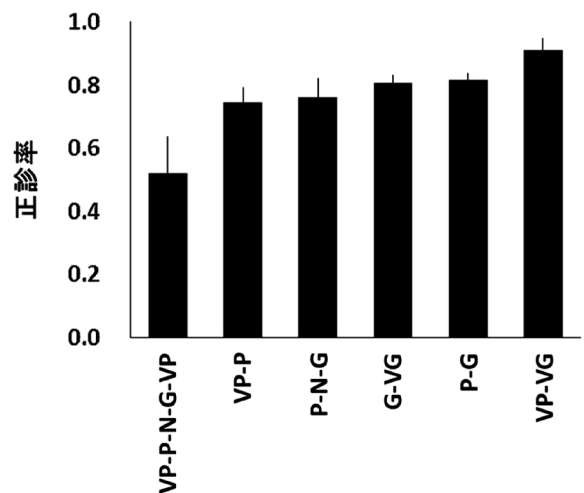


図5 畳み込みニューラルネットワークの正診率
VG: とても上手; G: 上手; N: 普通; P: 下手; VP: とても下手

人の選択行動は、選択に伴う環境からのフィードバック履歴の影響を受ける^{4,5)}。しかし、フィードバックが明示的に存在しない場合にも、試行履歴が選択行動に影響を及ぼすことが知られている⁶⁾。近年では、フィードバックがほとんどない場合に前の試行における選択が反復される傾向にあることが示され⁷⁾、過去の選択に関する記憶に基づく選択バイアスによるものであることが示唆されている⁸⁾。本研究において、字の歪み度の差分と上手さ判断に関する選択バイアスを反映する線形モデルの傾きが全ての対象者において正の値だったことは、人は過去と現在の相違という前後関係において字の上手さを判断していることを示唆している。

今後、字の上手さを高精度に計測するためには個人における判断基準の相対的なゆらぎを補正したアルゴリズムが必要であると思われる。

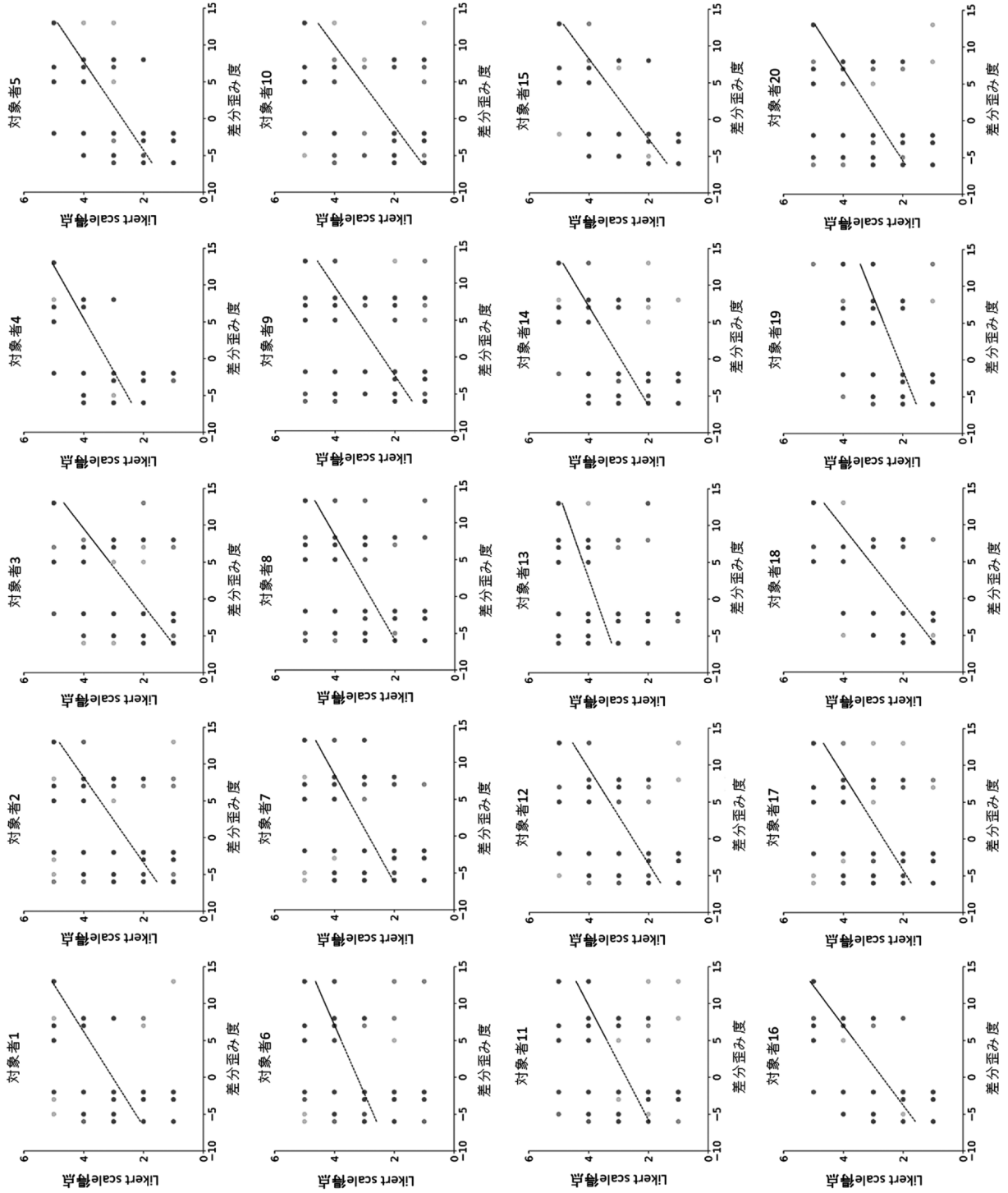


図6 字の差分歪み度と Likert Scale 得点

謝 辞

本研究は、生活科学研究所総合研究プロジェクト、日本学術振興会科学研究費補助金（基盤 B）18H03133、JST【ムーンショット型研究開発事業】 Grant 番号【JPM-JMS2034-3】の支援を受けたものです。

文 献

- 1) Accardo, A.P., Genna, M., and Borean, M. Development, maturation and learning influence on handwriting kinematics. *Hum Mov Sci* 32, 136–146 (2013).
- 2) Li-Tsang, C.W., Wong, A.S., Leung, H.W., Cheng, J.S., Chiu, B.H., Tse, L.F., et al. Validation of the Chinese Handwriting Analysis System (CHAS) for primary school students in Hong Kong. *Res Dev Disabil* 34, 2872–2883 (2013).
- 3) Ruff, C.C., Ugazio, G., and Fehr, E. Changing social norm compliance with noninvasive brain stimulation. *Science* 342, 482–484 (2013).
- 4) Sugrue, L.P., Corrado, G.S., and Newsome, W.T. Choosing the greater of two goods: neural currencies for valuation and decision making. *Nat Rev Neurosci* 6, 363–375 (2005).
- 5) Suzuki M, Hamaguchi T, Matsunaga A. Nonequivalent modulation of corticospinal excitability by positive and negative outcomes. *Brain Behav*, e00862 (2017).
- 6) Marcos, E., Pani, P., Brunamonti, E., Deco, G., Ferraina, S., and Verschure, P. Neural variability in premotor cortex is modulated by trial history and predicts behavioral performance. *Neuron* 78, 249–255 (2013).
- 7) Akaishi, R., Ueda, N., and Sakai, K. Task-related modulation of effective connectivity during perceptual decision making: dissociation between dorsal and ventral prefrontal cortex. *Front Hum Neurosci* 7, 365 (2013).
- 8) Albright, T.D. On the perception of probable things: neural substrates of associative memory, imagery, and perception. *Neuron* 74, 227–245 (2012).