

デジタル手書きの情報処理

— 目に見えない手書きデータに眠る新たな可能性を切り開く —

浅井 洋樹 (早稲田大学)

目に見えない手書きデータ

目に見えない手書きデータとは、筆圧や筆記速度に代表されるような、紙面上から視認できる筆跡情報とは異なる手書きデータである。手書きデータを取得するハードウェア技術の進化により、コンピュータ上で手書きデータを扱うデジタル手書き環境において、このような目に見えない手書きデータが取得できるようになった。本稿では、デジタル手書きの基本的な仕組みや、新たな可能性として期待される技術である目に見えない手書きデータを活用したアプリケーションを中心に紹介する。

デジタル手書き環境

+ デジタル手書きの現状

紙とペンを用いた手書きによる情報記録は、およそ六千年以上も前から続いているといわれている。手書きによる情報記録は、その自由度の高さによる有効性から、ITの進歩により多くの生産活動をコンピュータで行うようになった今日においても、教育現場や印刷された資料上へのメモ書きなどさまざまな場面で用いられている。このため、コンピュータにおいても入力装置としてペンを用いる技術や、手書きによる情報記録をコンピュータで扱う技術であるデジタル手書き技術に関する研究が数十年にわたって行われてきた。その成果としてコンピュータ上で手書きを実現するユーザインタフェース (UI) 技術や、取得した手書きデータを処理する技術、いわゆる手書き文字認識や筆跡認証といった技術が確立されてきた。

手書きデータをコンピュータで処理する技術は、扱うデータの観点で見ると、次の2つに分類することができる。1つ目はペンによって書き込まれた紙をスキャンすることで、画像情報として手書きを扱うオフライン手書きデータ処理技術である。これは従来の紙とペンで記録された手書き情報を、コンピュータ上に読み込んで処理する技術となる。

2つ目はスタイラスペン^{☆1}によるコンピュータのディスプレイ上への書き込み、または電子ペン^{☆2}による紙面上への書き込みをコンピュータで処理できるデータとして取得する、オンライン手書きデータ処理技術である。この技術で得られるデータは画像データではなく、手書きの情報をペン先が通過した座標の時系列データとして得ることができる。本稿で解説するデジタル手書きは後者のオンライン手書きデータとする。

従来の紙とペンを用いた手書きと、デジタル手書きを比較する際に注目すべき点として、紙面上に表現される筆跡情報に加えて、筆圧や筆記速度といった紙とペンでは得られなかった目に見えない手書きデータが得られることが挙げられる。目に見えない手書きデータは、筆記者を特定する筆跡認証の精度向上に有効であることが広く知られているが、近年この目に見えない手書きデータが再着目され、これまでに一般的となった手書き文字認識技術や筆跡認証技術に加えて、手書きの新たな可能性を切り開く可能性があるデータとして注目され始めている。

☆1 コンピュータのディスプレイ上で手書きを再現するための、ペンを模したデバイス。電磁誘導や感圧、静電容量、超音波などを利用し、ペン先の座標をコンピュータが認識することが可能となる。

☆2 紙面上での書き込みをコンピュータで認識するためのデバイス。ペン先に取り付けられたカメラや超音波によって、紙面上におけるペン先の座標を取得することが可能となる。

+ デジタル手書きの方式

現在確立されているデジタル手書きデータを取得する方式は、代表的なものとして、ディスプレイ上へのスタイラスペンによる書き込みを読み取る「ペン+ディスプレイ方式」と、紙面上へのボールペンの書き込みをセンサで読み取る「電子ペン+紙方式」の2種類が存在する。

ペン+ディスプレイ方式

ペン+ディスプレイ方式では、紙面ではなくディスプレイ上に直接書き込める点が特徴である。ペンをコンピュータの入力・操作インターフェースとして利用できるため、コンピュータによる多様な情報処理と、自由度の高い手書き入力の双方を同時に活かすことが可能となる。

たとえば、本方式の代表的な用途にイラスト制作が挙げられる。紙面上でのイラスト制作では、目的に応じた画材を用意する必要があるが、本方式を搭載したタブレットPC等を用いれば、スタイラスペンの書き込みをさまざまな筆記具による書き込みとして再現することが可能となる。さらに書き直しや色の調整、オブジェクトの再配置といった、紙では不可能であった処理も可能となる。また、既存のアプリケーション上に手書きを行えるようになるため、文章作成ソフトに自由なレイアウトで図形を書き込む機能や、文字入力の手段として読み方が分からない漢字を手書きで入力する機能を付加することが可能となる。

しかし、現状の技術では紙とペンのような低コストで軽く薄いといった取り扱いのしやすさで劣ってしまう点や、紙とペンの組合せには書き味で劣ってしまう点はアプリケーションによって問題となることがある。

電子ペン+紙方式

一方、電子ペン+紙方式では、従来と同じ紙とペンを使用するため、ディスプレイを利用する方式のデメリットであった書き味や、取り扱いのしやすさといった点で優位性がある。ユーザは従来と同様に紙の上にボールペンで書き込みを行い、その動きをペンに搭載されたカメラや、机の上に設置された

センサで読み取ることで、コンピュータが処理できる形でデジタル手書きデータを取得することができる。つまり、従来の紙とボールペンとほぼ同様の使い勝手でデジタル手書きデータを取得することができるメリットがある。しかし、ペン+ディスプレイ方式のように、紙面を動的に変化させることができないため、利用用途としてはデジタル手書きデータの取得がメインとなる。

このようにデジタル手書き環境を導入する際は、それぞれの方式におけるメリット・デメリットを考慮した上で、選択する必要がある。たとえば適用先として学習者の筆記データを解析するためにデータを収集するような場面であれば、電子ペン方式のほうが適していると考えられるが、PDFといった電子的な資料への書き込みや、学習者の書き込みをリアルタイムに解析し、コンピュータがフィードバックをするような教育システムへの適用では、ペン+ディスプレイ方式を導入する必要がある。

目に見えない手書きデータの新たな可能性

近年では、デジタル手書き環境から得られる目に見えない手書きデータを利用した、紙とペンの手書きでは考えられなかった新しいアプリケーションの可能性について研究が行われ始めている。ここでは、目に見えない手書きデータを利用した新たな可能性を示す応用技術について、いくつかピックアップして紹介する。なお、本章で紹介する技術はペン+ディスプレイ方式で実験が行われているが、同様なデータを取得可能な電子ペン+紙方式への応用も可能であると考えられる。

+ 認知的負荷の推定

まず1つ目の事例として、目に見えない手書きデータは筆記者の認知的負荷推定に応用される例がある。認知的負荷とは、ある作業に対して人間にかかる注意力の負担の大きさである。たとえば人間に複雑な操作を求めるシステムは、ユーザの認知的負荷

を増大させ、ユーザビリティが低下する。認知的負荷が測定できれば、Webサイトやソフトウェアのユーザビリティ向上に役立てることが可能となる。

認知的負荷と手書きデータの関連性を調査した研究では、筆圧の最大値と筆記速度の最小値が筆記者の認知的負荷と強く関係していることが報告されている¹⁾。見えない手書きデータによって筆記者の認知的負荷が推定できるようになれば、より使いやすいデジタル手書きUIの設計に役立てることが可能となる。

+ 学習者のつまずき推定

手書きデータと認知的負荷の関係が明らかになったことで、教育分野への応用の可能性が広がっている。学習者個々に適した指導を行う上で、学習者のつまずき情報が重要となるが、学習者のつまずきは人間の精神的な負担を表す認知的負荷と似ているため、認知的負荷の推定を応用することで、学習者のつまずき情報が得られる可能性がある。

関連する応用研究の事例として、デジタル手書きデータから学習者のつまずきを検出する技術がある²⁾。この技術では、入力された目に見えない手書きデータの筆圧や筆記速度から特徴量を抽出し、機械学習によって学習者がつまずいている際の書き込み箇所を推定している。手書きデータからつまずきを推定するため、学習者がつまずいた書き込みを正確に把握することが可能となる。図-1に本技術を応用した例として、数学の記述問題における答案上に、学習者のつまずきをヒートマップで可視化した例を示している。答案上につまずきを可視化することで、指導者は学習者がつまずいた箇所を容易に把握することができるようになる。

+ 書き写し行為の推定

つまずき推定と同様に、教育分野への応用として、目に見えない手書きデータを用いた書き写し行為の推定技術が研究されている³⁾。本技術により手書きデータからの書き写し行為の推定が実現できれば、指導者は学習者の解答が他人の答えを書き写したも

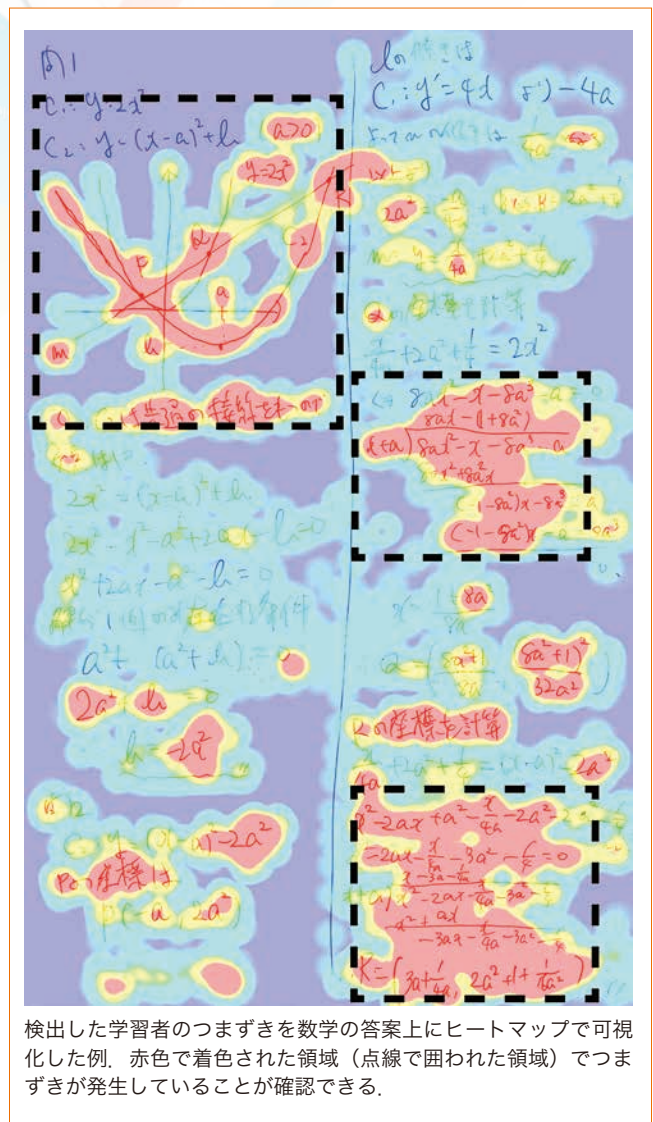


図-1 学習者のつまずき検出例
検出した学習者のつまずきを数学の答案上にヒートマップで可視化した例。赤色で着色された領域（点線で囲われた領域）でつまずきが発生していることが確認できる。

図-1 学習者のつまずき検出例

のであるかの判別が可能となり、学習者の理解度を正確に把握することができる。また、剽窃行為といった不正行為の発見にもつながる。書き写し行為の推定には筆記速度や筆圧、加速度といった目に見えない手書きデータが有効である可能性が示されており、情報化された教育環境における有効なアプリケーションの1つとなり得る技術である。

+ 学習者の記憶度推定

最後に目に見えない手書きデータの応用技術として、学習者の記憶度推定技術⁴⁾を挙げる。本技術ではデジタル手書きデータから、筆記者が書き込んだ項目を1週間後に忘却する確率である記憶度を推



図-2 学習者の記憶度推定

定するものである。漢字や英単語を覚えるような暗記学習では、記憶を定着させるために繰り返し学習する反復学習が必要となる。本技術を用いると記憶度が低い、つまり記憶が定着していない項目を選択し、優先的に学習を行うことができるため、より効率的な暗記学習が実現可能になると考えられる。

記憶度の推定には筆圧や筆記速度、筆記ストローク間の時間間隔といった目に見えない手書きデータが用いられ、機械学習によって推定が行われる。

図-2に本技術を漢字学習に応用した例を示す。学

習者は出題された漢字の書き取り問題をデジタル手書き端末上で解答すると、システムは入力されたデジタル手書きデータから記憶度を算出する。書き取り問題の終了後、暗記項目が記憶度順に出力され、記憶度が低い項目を優先的に反復学習することが可能となる。

デジタル手書きの今後

本稿で紹介した目に見えない手書きデータの処理技術は、登場して間もない非常に初期の段階であり、手探りで可能性を模索しているような状況である。デジタル手書き技術は、何度か世間から大きな期待が寄せられた技術であり、文字認識のような基礎技術は確立されつつあるが、その利用用途は限定的となっている。デジタル手書きが今後大きく進展する鍵は、紙とペンではできない新しいアプリケーション技術の発展にあると考えられる。目に見えない手書きデータの応用技術は、その新しいアプリケーションの1つとなる可能性を秘めている。

参考文献

- 1) Yu, K., Epps, J. and Chen, F. : Cognitive Load Evaluation of Handwriting using Stroke-level Features, In Proc. of IUI 2011, ACM, pp.423-426 (2011).
- 2) Asai, H. and Yamana, H. : Detecting Student Frustration based on Handwriting Behavior, In Proc. of UIST 2013 Adjunct, ACM, pp.77-78 (2013).
- 3) 高橋梓帆美, 井本和範, 山口 修: オンライン筆記データを用いた書き写し行為の推定, 情報処理学会研究報告コンピュータと教育 (CE) 2015-CE-129 (17), pp.1-8 (2015).
- 4) Asai, H. and Yamana, H. : Detecting Learner's To-Be-Forgotten Items using Online Handwritten Data, In Proc. of CHINZ 2015, ACM, pp.17-20 (2015).

(2016年4月30日受付)

浅井洋樹 (正会員) asai@yama.info.waseda.ac.jp

2015年早稲田大学基幹理工学研究科情報理工学専攻博士後期課程修了。博士(工学)。同研究科情報理工学・情報通信専攻研究助手(2016年3月当時)。デジタル手書き環境におけるデータ工学やHCIに関する研究に従事。