

多様なくずし字画像に対応するアノテーションデータセット 収集システムの試作

吉賀 夏子^{1,a)} 橋本 雄太^{2,b)}

概要: 近年、AI 自動翻刻による古典籍の解読とテキスト化が加速している。しかしながら、「小城藩日記目録」のような江戸期の藩の公文書では概ね御家流と呼ばれる書体の漢字で記載されている一方、古典籍では漢字から派生した変体仮名が多用されるため、古典籍データを利用した AI 翻刻システムを公文書のデータに対しても使用すると、文字の位置は高精度に判定できるものの、正確な文字種の判定精度が低下する結果となる。したがって、多様な文書スタイルで書かれたくずし字文書を最終的にテキスト化してデータ共有するにあたっては、自動翻刻の適用後に手動による正解データ作成作業も不可避であり、これを支援するシステムが求められる。本報告では、試作した正解データセットの作成を支援するシステムの概要と本システムを用いた翻刻確認作業の進捗について説明する。

キーワード: アノテーション, 翻刻, くずし字, OCR, IIF

Prototype of an Annotation Dataset Collection System for a Variety of Kuzushiji Images

Abstract: The translation and textualization from *kuzushiji* (cursively hand-written) Japanese literature books before Edo period assisted by automatic AI-OCR system has accelerated recently. These literature books are often used *hentai kana*, various simplified forms of kanji characters, comparing to public documents in local feudal domains such as *Ogihan Nikki Mokuroku*, mainly written by official kanji characters in *Oieryu* styles. When an AI-OCR system based on the data of literature books with *hentai kana* are applied on the higher ratio of kanji documents, the system is able to determine character positions with high accuracy, however, the accuracy of determining the exact character type is reduced drastically. Therefore, in the final textualization and data sharing of a large number of *kuzushiji* documents written in a variety of hand-writing styles, manual creation of correct data after automatic translation is inevitable and a supportive system for this correction process is required. This report outlines a prototype system that supports the creation of correct data sets and describes the progress of the translation and the confirmation using the proposed system.

Keywords: Annotation, Translation, Cursive letters, OCR, IIF

1. はじめに

近年、我が国ではメタデータ付き高画質画像の流通を目的とする標準規格である IIF[1] を基にした歴史文化系の画像公開が公の機関を中心に普及が進んでいることを踏まえ、次の段階として人文学研究を進める上で文献画像からの AI-OCR (AI 技術を基にした光学文字認識, Optical

Character Recognition) 翻刻の試みが加速している。例えば、AI-OCR アプリのひとつである「^みmiwo[2]」を使うと、瞬時にくずし字で書かれた文学作品から楷書体に翻刻された結果を高精度に得ることができる。しかし、「小城藩日記目録 [3]」のような当時の漢字が文書中の 95%以上を占める江戸期の公文書にアプリを適用すると、文字位置の判定は高精度で実用に十分であるが、各文字の判定は 10%から 50%に留まる。

これは、miwo の文字位置の認識性能は十分に汎用的である一方、文字種の判定には AI-OCR の学習データとなり

¹ 佐賀大学地域学歴史文化研究センター

² 国立歴史民俗博物館

a) natsukoy@cc.saga-u.ac.jp

b) yhashimoto@rekihaku.ac.jp

うの様々なくずし字文書のアノテーションデータが不足していることが一因であると考えられる [4].

現状、我々が特別な申請なしで利用可能なアノテーション付き機械学習用くずし字データとして、人文学オープンデータ共同利用センター (CODH) から配布されている公開データ [5] が挙げられる。これは元々国文学研究資料館にて古典籍画像から人手で1文字ずつアノテーションしたものを使用している。このようなアノテーションデータの作成にはくずし字を読める一定の技量が要求されるため、クラウドソーシングのような不特定多数での作業では品質の担保が困難になる。一方、資料の数は膨大であるため、人手に完全に頼ることも非現実的である。

今後、本格的に人文学研究の用途でくずし字用の AI-OCR を活用していくために、既存の自動翻刻システムでアノテーションデータを短時間で数多く作成することで、最終的な正解データの完成を支援するシステムがあれば、多様なくずし字字形の学習データを増やせると考える。

本稿では、試作した正解データセットの作成を支援するシステムの概要と本システムを用いた翻刻確認作業の進捗について述べる。

2. 翻刻支援に関連する研究

古文書画像のデータベース化に伴ってその内容の検索に対するニーズが高まった 1990 年代後半には、既にくずし字を OCR で認識するためのキャラクタ・スポッティングを主体とした基礎的な研究が進められていた [6][7][8][9].

2015 年頃からは、凸版印刷株式会社が国文学研究資料館、公立はこだて未来大学の協力を得て、OCR 技術を用いた歴史資料の高精度テキストデータ化を事業として推進した [10].

くずし字画像データが研究活動を通じて一定量蓄積されると、立命館大学アート・リサーチセンターが「くずし字翻刻学習・指導システム [11]」、大阪大学文学研究科を中心に開発された「KuLA [12]」アプリなどくずし字を読むための学習支援システムが開発され実用面においても成果を残した。

一方、同時期から AI による物体認識技術が普及したことで、くずし字に限らずとも画像内で目的の物体が写っている位置とその内容を特定したアノテーションデータを数多く揃えて作れば、Github などで公開されているプログラムを基にくずし字認識モデルと OCR システムを各自で改良し自作できるようになった。

AI 技術の開発手法についても、一組織に捉われず、賞金コンテスト形式で開発グループ間で競い合いながら技術向上ならびにくずし字翻刻という課題自体の知名度を高めていく方式が取られた [13].

また、「みんなで翻刻 [14]」や「小城藩日記プロジェクト [15]」のようなウェブ上における市民参加型システムの

研究においても、従来専門家限定で行われていた翻刻あるいは固有表現抽出作業を、くずし字や古記録に関心があるものの専門家ではない一般市民にも開放して成果を挙げた。これらのプロジェクトで作られた翻刻・固有表現データは、専門家が全てチェックしていないので完璧ではないが、内容は全てウェブ上に公開されており、誤りの指摘があれば速やかに修正できる。

以上のような、くずし字で書かれた大量の文書を読むあるいは検索するという目的の下、自動翻刻という課題を解決する素地になりえる様々な研究が長年進められてきた。

3. くずし字翻刻のためのアノテーションデータ作成ツールの紹介

くずし字 AI-OCR の普及には、2 節で挙げた経緯を参考に、AI モデル構築に必要なアノテーションデータを量産する仕組みが必要であると考えられる。そこで、文献画像上の文字を AI-OCR でテキスト化するにあたり、学習の種となる画像の切り出しとアノテーションデータ作成に関連するツールを調査した。

くずし字に限らず画像の中の文字を AI-OCR 用の学習データとしてアノテーション可能なツールは世界中で無償・有償を問わず多数リリースされている。本稿では、くずし字翻刻・アノテーションに関連するツールを取り上げる。

IIIF 画像が国内で普及する以前は、国内の人文学におけるテキスト研究および翻刻の目的で開発された実用ツールの代表的な位置づけとして、京都大学大学院人文学研究科で開発された SMART-GS [16]^{*1}がある。

SMART-GS は、Java で作られたオープンソースソフトウェアである。SMART-GS では、文献画像中の難読文字が書かれた箇所におけるアノテーション (マークアップ) を作り、複数のアノテーションの関係をデータ化する機能がある。IIIF や画像 (物体) 認識用アノテーション形式など当ツールのリリースされた時期より後に普及したものは除き、実際に翻刻を行う研究者自らが当ソフトウェアを開発しているため、翻刻に必要な注釈情報を資料に付加して議論を深めていく人文学研究において必要な機能がほぼ取り揃えられている。

また、2016 年から開発が続けられている、IIIF Curation Viewer [17] は、IIIF 画像の切り出し情報の作成をウェブブラウザで運用可能なウェブアプリである。IIIF 準拠の画像閲覧機能に加えて、複数の資料から興味のある画像の一部をサムネイル画像として切り出して収集可能なキュレーション機能を搭載している。加えて、サムネイル画像からは切り出し元の画像における位置情報などのメタデータも手軽に取得できる。

同時期に作られた Image Annotator [18] は、4.4.2 節にて

^{*1} <https://ja.osdn.net/projects/smart-gs/>. ただし最新リリースは 2016 年 5 月。

表 1 2023 年 1 月時点の「小城藩日記データベース (ONDB)」全目録記事文 73,980 件および「日本古典籍くずし字データセット 文字種 (くずし字) 一覧*3 (CODH)」に収録されている文字種別カウント数および割合。

Table 1 Counts and percentages of 73,980 articles in “Ogi-han Nikki Database” and “Japanese rare books kuzushiji dataset” by character type at January of 2023.

	ONDB	割合 (%)	CODH	割合 (%)
全文字	1,147,206	100.00	1,086,326	100.00
漢字	1,090,217	95.03	326,113	30.02
ひらがな	29,321	2.56	731,728	67.36
カタカナ	20,992	1.83	17,278	1.59
その他文字種	6,676	0.58	11,207	1.03

後述する Web Annotation Data Model 形式で作成されたアノテーションデータを IIIF 画像上の位置に合わせて記述できるツールである。フォームに任意の IIIF マニフェストを入力するとマニフェストに記載された画像を読み込み、画像に注釈を与えることができる。さらに、付加した注釈の JSON データを表示することができる。

2021 年には、クラウドソーシングを利用あるいは前提としたアノテーションを行い「渋沢栄一伝記資料」の写真資料を研究対象としたシステムが [19] が開発された。本システムでは、写真中の文字情報を翻刻する機能があり簡易エディターで参加者がアノテーションを付加できる。

他方、有償では古文書・古典籍解読システムの「ふみのは[®]」[20]、画像閲覧システムの「ふみのは[®]ビューア」が利用可能である。Image Annotator やふみのは[®]ビューアなどのように原本画像を下地にアノテーションを付加できると、アノテーションの進捗状況が一目で確認できるため利便性が高い。

4. 正解データセット作成支援システムの概要

4.1 課題

現代人にとって読解が困難な「くずし字」で書かれた江戸期以前の文献は、橋本の報告 [21] によると書籍としては 100 万点を超し、古文書や古記録を含めると 20 億点以上のぼるとされている。

例えば、「小城藩日記目録」という肥前佐賀藩の支藩にあたる小城藩の日々の業務記録は 124 年分の目録とその目録の原本である日記が 84 年分残存している [22]。全目録記事文数は 2023 年 1 月現在 73,980 件でその全文字数は表 1 に示す通り、約 115 万字であり、そのうち漢字は約 95 % を占める [23]。これに対し、CODH のくずし字データセットの全文字 108 万字のうちで漢字の占める割合は約 30 % である。

このことから、古典籍由来のひらがなを多く含む機械学習用データセットで作成した自動翻刻モデルでは、漢字が中心の公文書・古記録類に対する自動翻刻の精度が低下す

ると考えられる。

よって、古典籍に加えて多種多様な史資料画像からも可能な限り多くの機械学習用データセットを作成するために、組織を超えてくずし字の読み解きに関心のあるさまざまな学習レベルの人々が連携し、容易にアノテーションデータを作成可能な環境が求められる。

4.2 アノテーションデータセット収集システムの機能要件

膨大なくずし字画像をアノテーションする場合の利便性を鑑みると、以下に示す機能およびシステムが求められる。

- (1) クロスプラットフォームでアノテーション作業を進められること。
- (2) IIIF (International Image Interoperability Framework) に対応した文献画像および手持ちの画像両方を使用可能であること。
- (3) 画面上に投影した画像上に重ねてアノテーションを表示および編集が可能であること。
- (4) W3C 標準でオープンデータになるアノテーション形式に出力可能であること。
- (5) 共同開発が容易なオープンソースソフトウェアであり、必要な機能を有志が適宜追加し公開できること。
- (6) 翻刻した結果を複数人で確認し、正解データとして確定できること。

まず、大量のアノテーションを進めていくための要件として、可能な限り端末や OS を選ばず、初期導入の容易なシステムであることが挙げられる。

次に、物体としての文字認識を目的とした機械学習用のアノテーションデータ形式は多種あるが、そのデータ形式自体の規格が策定されていると様々な場で作られた同種データの取りまとめが容易になる。この点で、アノテーションデータにおいても 2017 年に W3C 勧告となった Web Annotation Data Model [24] に準拠することでオープンデータとして取り扱える。

さらに、システムの具体であるプログラムが共同開発しやすく、必要な機能を有志が追加してリリースできれば、多様な翻刻システムに柔軟に対応できる。

翻刻支援機能の要件としては、くずし字画像の上にアノテーションデータを重ねてレイヤー表示できるとに加え、翻刻結果をウェブ上で共有し適宜専門家の修正を加えながら最終的なデータを確定する機能が求められる。

本稿では、4.2 節で示した機能要件を満たすシステムをウェブアプリ「kuzushiji.work [25]」として試作した。ウェブアプリは端末やブラウザによって細かな表示や動作の違いがあるが、利用者側の導入負担が少なく、異なる端末上でも概ね意図した操作ができる。開発側も変換ツールを使用せずに同じソースコードでアプリが動作する上、ストアへの登録やアップデートの手間がかからない。

システム開発では、図 1 に示す通り、目的のシステム

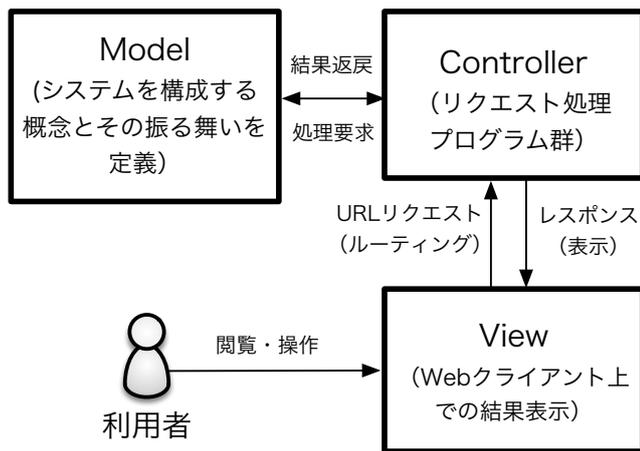


図 1 MVC フレームワークの概念図。

Fig. 1 Overview of MVC framework.

設計や仕様に基づき、利用者の入力に応じてプログラム処理を実行し出力する、MVC と呼ばれるフレームワークに沿って開発可能な Laravel 9[26] を採用した。

ここで述べる MVC フレームワークとは、サーバサイドアプリケーションにおいて、システムに必要な概念とその振る舞いを定義する Model、利用者の入出力を司る View、Model と View を制御する Controller に分けて、プログラムの役割を明確にしながら機能を分業開発する仕組みであり、開発者が複数名になったときに統一された仕様に沿った開発が可能となるのが特徴である。また、一つのプロジェクトディレクトリの中に全てのプログラムおよびデータが格納されるため、プロジェクトをコピーして各自の環境で編集することが容易である。

当アプリは図2に示す通り、くずし字画像に対し自動翻刻を適用済みのアノテーションデータを用いた翻刻作業管理システムから構成されている。翻刻作業管理システムについては、Github にサンプルコード [27] を公開している。コード公開により、不具合の報告や修正、新しい機能追加、元々利用しているツールに合わせたカスタマイズなどを期待できる。

4.3 自動翻刻を適用したアノテーションデータ作成手順

文書画像中の文字とそのバウンディングボックスの位置を推定するため、本研究ではカラスワット・タリン氏らが開発しているくずし字画像自動認識システムを利用した。

このシステムは、Python の機械学習ライブラリ PyTorch をベースに開発されたもので、任意のくずし字文書画像に対し、文書レイアウト認識や文字認識をおこなうことができる。また、本システムは Google Computing Engine[28] の仮想マシン上で動作するため、以下の手順で翻刻対象画像の自動認識をおこなった。

まず、IIIF Manifest ファイルから画像ファイルを取得する Python スクリプトを作成し、「小城藩日記目録」の

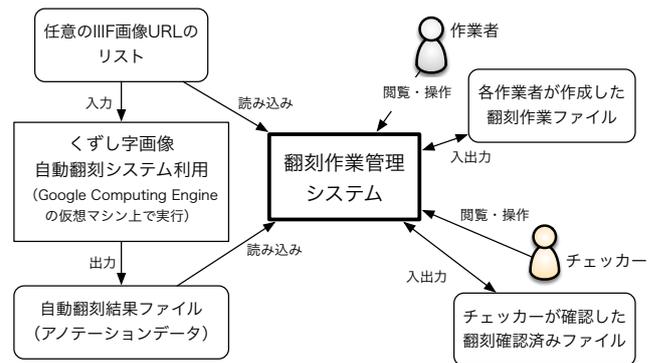


図 2 くずし字画像自動翻刻システムを利用した翻刻作業管理システムの概要。

Fig. 2 Overview of automatic Kuzushiji transcription system using transcription work management system.

IIIF Manifest ファイルにこれを適用することで、翻刻対象の「小城藩日記目録」全画像を仮想マシン上にダウンロードした。

次に、くずし字画像自動認識システムによってこれらの文書画像の自動認識をおこなった。自動認識システムは、文書画像中に含まれる個々のくずし字について、次のデータを画像ごとに JSON フォーマットで出力する。

- (1) くずし字の読みの推定結果
- (2) バウンディングボックスの座標
- (3) 認識結果のスコア
- (4) 文書画像中のインデックス
- (5) 文字が属する行の行番号

最後に、JSON ファイルを Web Annotation Data Model 形式に Python スクリプトで変換し、翻刻作業管理システムに取り込むことで、作業員が修正作業をおこなう翻刻結果を準備した。

4.4 翻刻作業管理システムの概要

本システムは、複数人での作業を想定した作業管理機能およびくずし字アノテーション作成支援機能をもつ。

4.4.1 作業管理機能

複数人でのアノテーションを滞りなく進めるため、図3に示す Model 構成概念を設定した。

アノテーション作業の進捗 (Task) において管理する対象はアノテーション対象の画像 (Image) およびその画像に対する作業員 (User) である。User には 3 種類の役割 (user_level: システム管理者、チェッカー、参加者) が割り振られている。このうち、アノテーション作業を実際に担当するのはチェッカーおよび作業員である。

作業管理機能の特徴を以下に提示する。

- (1) 参加者は提示されたくずし字画像の中から任意に担当を選択可能
- (2) 担当できる画像数に上限を設定
- (3) 選択した画像の担当を中止したいときはキャンセル

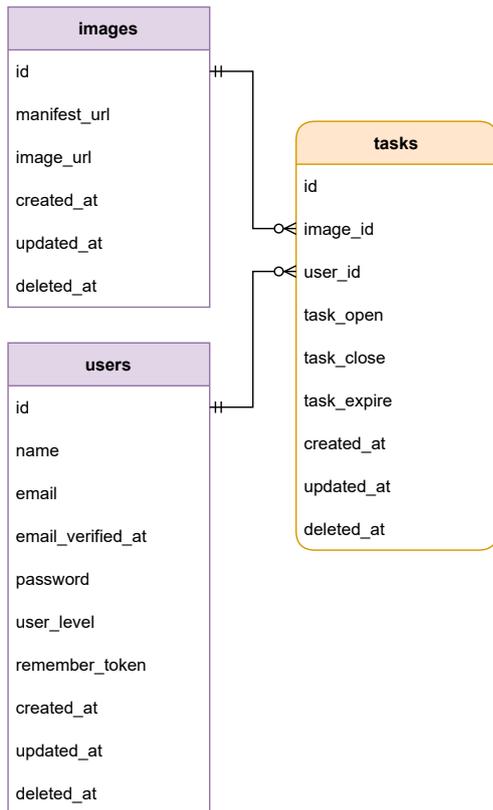


図 3 本システムの Model を記述した ER 図 (部分).

Fig. 3 A partial ER diagram describing the model of the proposed system.

可能

- (4) なんらかの理由で作業が中断状態になっている担当は一定期間で自動キャンセルする
- (5) 参加者に対し清書ができるチェッカーと作業者に権限を付加
- (6) 仕上がったアノテーションデータは参加者全員が参照可能

アノテーション作業が停滞しない工夫として、参加者が一人で長期間多数の担当を囲い込まないことと、完了したアノテーション結果を参加者全員が参照可能であることで、誤りの発見や事例参照を促す機能を設定した。

作業者は図 4 のダッシュボード画面で選択したくずし字画像 (図 5) に対し、あらかじめ設定された期限までにアノテーションを終え、最後に完了ボタンを押すことでアノテーション作業を終える (図 6)。

チェッカーは、作業者の権限に加え、作業者がアノテーションし完了したデータを校閲する (以下、この作業を清書と呼ぶ.)。

作業が完了状態になった画像は、他の参加者全員に対してアノテーション結果とともに公開される (図 7)。期限切れになった画像の担当は一旦キャンセルされ、参加者全員が再び選択できるようになる。



図 4 ダッシュボード画面 (部分).

Fig. 4 A dashboard window (partial).

画像のプレビュー

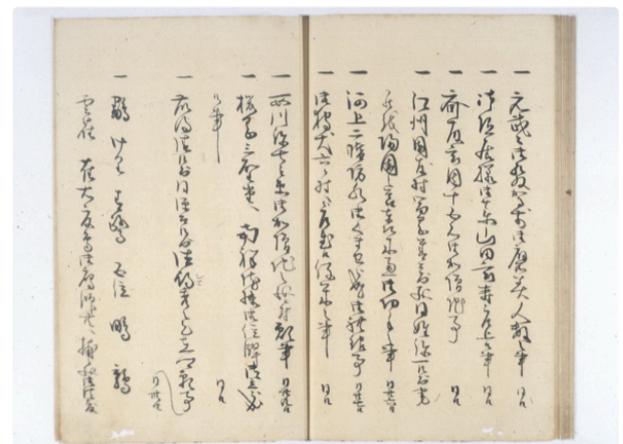


図 5 担当するくずし字画像の選択画面。

Fig. 5 A dialog for a selection of a kuzushiji image.

4.4.2 アノテーション支援機能

参加者が実際に作業するアノテーション作業画面には、以下に挙げる機能を設定した。

- (1) 画像の上にアノテーション結果を重ねて表示・編集
- (2) 初期画面では自動翻刻によるアノテーションを提示
- (3) ボタンで手動による保存あるいは一定間隔で自動保存を行う

担当する画像を開くと、図 9 のような作業画面が表示される。4.3 節で示した自動翻刻によって、ほとんどのくずし字画像に文字単位で矩形枠と文字ラベルの組み合わせが適用されている。作業者は、小城藩データベースなどの翻刻テキストがあればそれらを参照しながら、適切に矩形枠

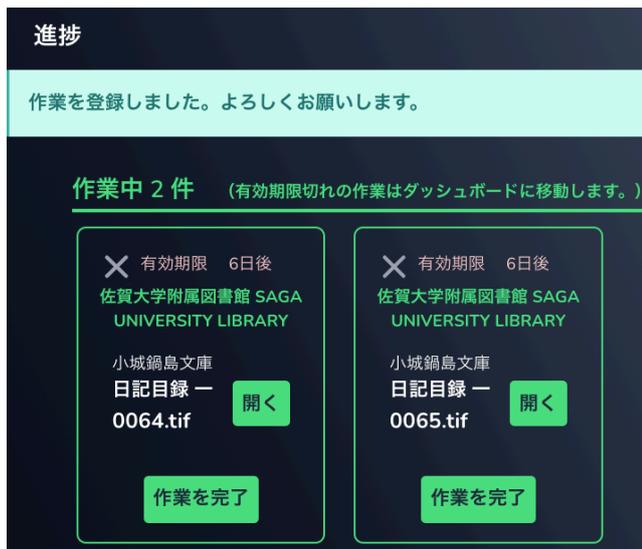


図 6 進捗画面.

Fig. 6 A progress window (partial).



図 7 ダッシュボードで公開された作業完了画像のリスト (部分).

Fig. 7 A list of completed images on a dashboard window (partial).

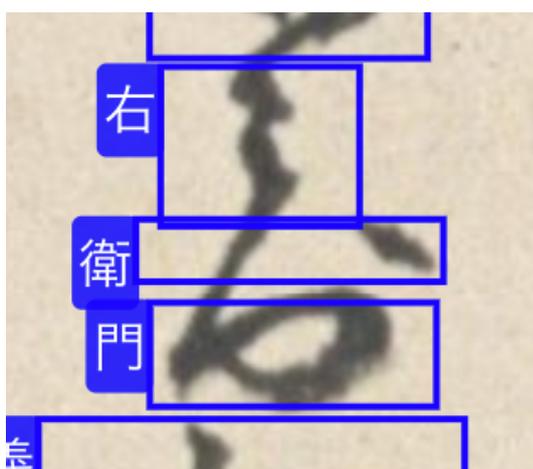


図 8 文字枠の設定が難しい例.

Fig. 8 An example of difficult setting bounding boxes on kuzushiji letters.

と文字ラベルを確認・修正する.

画像およびアノテーションの表示には OpenSead-

ragon[30] と Annotorious[31] を採用した. OpenSeadragon は IIIF を含む多様なタイル画像形式に対応した画像表示ツールである. Annotorious は OpenSeadragon と組み合わせることでアノテーション機能を付加できる Javascript ライブラリであり, アノテーションの出力形式として, Web Annotation Data Model を採用している.

操作は図 9 右の点線赤枠に示す通り, 矩形枠をクリックすると編集フォームが表示される. また, シフトキーを押下して新しい矩形枠を作成できる.

なお, アノテーション作業の保存は, 自動保存及びボタンによる手動保存で行う. アノテーションデータ自体は, 作業ごとに作成・更新される. また, チェッカーが作業したデータについても別ディレクトリに正解データとして作成される.

5. 提案システムを実装したウェブサイト上での翻刻確認作業の進捗状況および議論

提案システムを搭載したウェブアプリを用いて, 小城藩日記目録のくずし字を読み慣れた専門家 1 名 (チェッカー・作業者) と本稿執筆者 (作業者) が自動翻刻の確認と修正を行った. 小城藩日記目録については, 正解文にあたる当データベースの目録記事文を検索可能であるため, くずし字の読み解きに不慣れな作業者でも, 専門家のアドバイスが得られる場合に限って, これまでに作られた翻刻テキストを参照しながら比較的容易に修正作業をすることができた. 具体的には, 冒頭 50 丁 (見開き 100 ページ分) に対する修正と清書を述べ 20 時間程度で進めた.

本システムは運用開始から間もないため, 本稿では途中経過の報告となる. これまで KuroNet[32] と KogumaNet[33] で自動翻刻を画像に適用したところ, KogumaNet は漢字の翻刻をひらがなに変換する傾向が KuroNet より強く, かって作業者の修正に大きな負担となった.

KuroNet は正解率が KogumaNet よりはるかに高く実用的であるが, やはり多くの修正が必要であり, ウェブ上で多くの参加者を募る必要がある. しかしながら, あらかじめ翻刻テキストが存在するため, くずし字の読み取りに慣れていない作業者でも文字枠に対しおおよその見当で検索して文字を充てることができる. その一方で, 図 8 の「右衛門」のように, 毛筆独特の運筆に慣れていない場合は, あらかじめ自動設定された文字枠が正しいのか判断できないため, 専門家のサポートは必須である.

6. まとめ

くずし字を読める数少ない専門家の翻刻作業を支援するには, AI-OCR を古典籍・古記録にも大いに活用する素地を整える必要がある. 現状は AI-OCR 用の学習 (正解) データの内容やデータ化されている文字種に偏りがあり, データ数そのものも少ない.

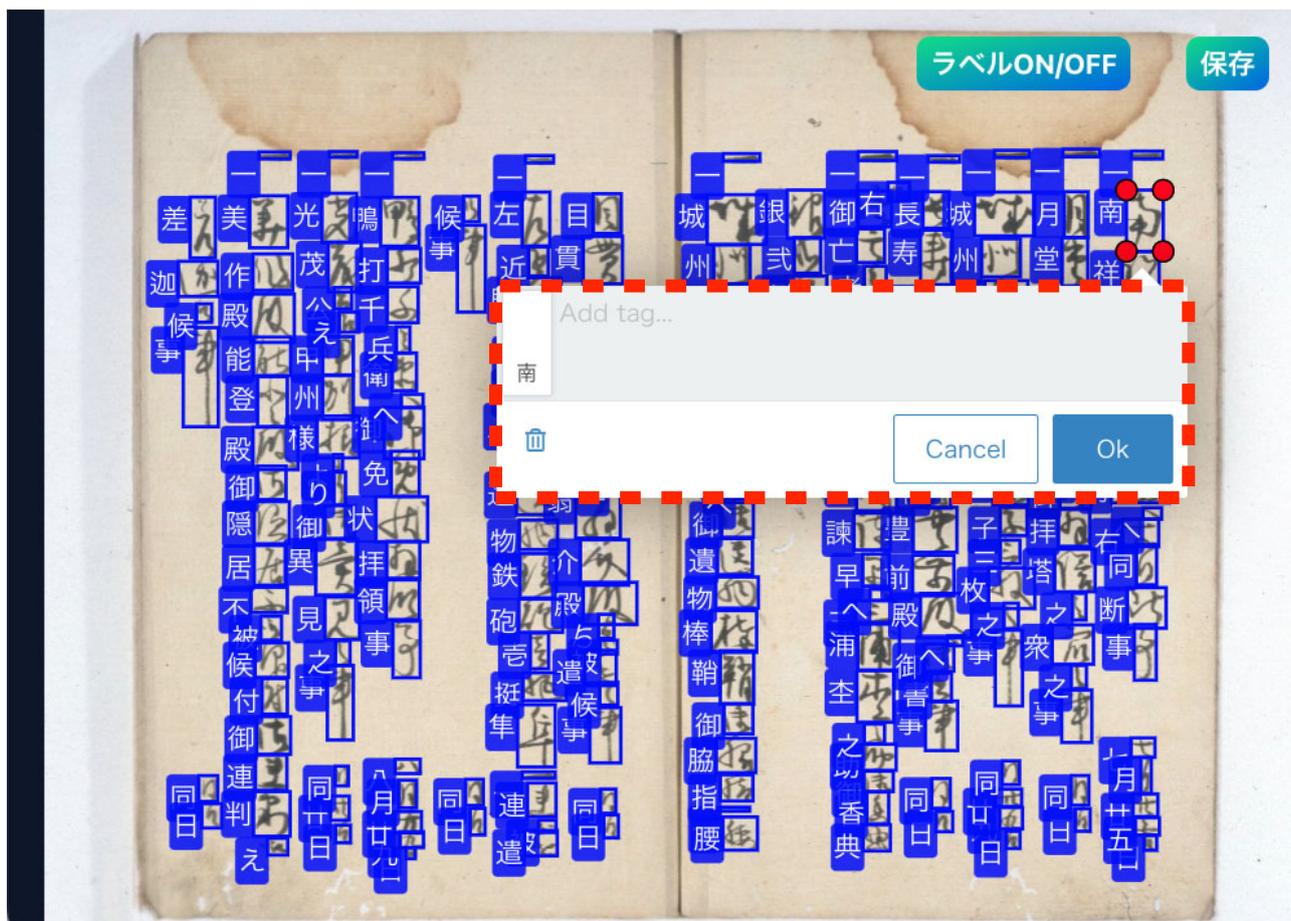


図 9 アノテーション実装画面 (一部). くずし字画像は「小城鍋島文庫 日記目録 一 [29]」より抽出. 画面右側の点線赤枠部分は文字枠を押下した時に出現するアノテーション編集ダイアログ.

Fig. 9 A partial screenshot of the annotation implementation. The image of kuzushiji character is extracted from "Ogi Nabeshima Bunko Nikki Mokuroku I". The dotted red frame on the right side of the figure is the annotation editing dialog that appears when a bounding box is pressed.

本稿では、翻刻済みテキストと IIIF 画像がある小城藩日記目録が江戸期の一般的な公文書に使用されている「御家流」の書体で書かれているため、これらのデータから自動翻刻用の学習データを作成支援する仕組みをウェブアプリとして試作した。

本システムは、SMART-GS のように一から専門家が注釈を付けて熟考するような機能を搭載していないが、「みんなで翻刻」や「小城藩日記データベース」で既に翻刻されたテキストデータから、さらに機械学習データを量産するような、慣れればより多くの人が協力できる可能性の高い場面に向いていると考えられる。

実際に、専門家と本稿執筆者が参加者として試用したところ、自動保存や簡易な操作により作業自体は安定して進められた。作業箇所に問題がある場合は、作業者が完了状態を解除したり、担当をキャンセルすることができる。さらに、数日間作業が放置されている画像は自動的にキャンセルされ、他の参加者が代わりに担当することができる機能を搭載することで作業が停滞することを防止した。

今後は、作業者およびチェッカーが行える専門家を増やしてフィードバックを得ながら、主に御家流書体で書かれた漢字の多い古記録のアノテーションデータを増やし、くずし字用 AI-OCR の精度向上に貢献したい。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 JP22K18149 の助成を受けたものである。また、4.3 節のくずし字画像に対する自動翻刻システムの適用はカラースワット・タリン氏の協力を得た。

参考文献

- [1] The International Image Interoperability Framework Consortium: International Image Interoperability Framework, IIIF (online), available from (<https://iiif.io>) (accessed 2023-01-12).
- [2] カラースワット・タリン, 北本朝展, Bober-Irizar, M., Han, S., Rinna♡猫りんな: みを (miwo): AI くずし字認識アプリ, 人文学オープンデータ共同利用センター (CODH) (オンライン), 入手先 (<http://codh.rois.ac.jp/miwo/>) (参照 2023-01-12).
- [3] 伊藤昭弘, 吉賀夏子: 小城藩日記データベース, 佐賀大

- 学地域学歴史文化研究センター（オンライン），入手先（<https://crch.dl.saga-u.ac.jp/nikki/>）（参照 2023-01-08）。
- [4] 早坂太一，竹内正広，大野互，加藤弓枝，山本和明，石川徹也：くずし字の検出および認識を行うスタンドアロンシステムの開発，2020 年 情報科学技術フォーラム (FIT)，Vol. 第 4 分冊，No. CN-004，電子情報通信学会，電子情報通信学会，pp. 37-42 (2020)。
- [5] 国文学研究資料館：日本古典籍くずし字データセット，人文学オープンデータ共同利用センター (CODH)（オンライン），DOI: 10.20676/00000340（参照 2023-01-08）。
- [6] 尾崎浩司，柴山守，荒木義彦：古文書画像のレイアウト認識と標題抽出，技術報告 67(2000-CH-047)，立命館大学，大阪市立大学，立命館大学 (2000)。
- [7] Rath, T. and Manmatha, R.: Features for word spotting in historical manuscripts, *Seventh International Conference on Document Analysis and Recognition, 2003. Proceedings.*, Vol. vol.1, pp. 218-222 (online), DOI: 10.1109/ICDAR.2003.1227662 (2003)。
- [8] 手操俊文，坪井昭憲，吉村ミツ，八村広三郎：江戸期版本画像におけるキャラクターポットティング，情報処理学会人文科学とコンピュータシンポジウム論文集，pp. 117-124（オンライン），入手先（<https://cir.nii.ac.jp/crid/1573387450717039232>）(2006)。
- [9] Umeda, M. and Hashimoto, T.: Character Spotting of Historical Documents Using Pattern Segmentation Aided by Recognition Processing, *IEEE Transactions on Electronics, Information and Systems*, Vol. 122, pp. 1876-1884 (online), DOI: 10.1541/ieej-jeiss1987.122.11.1876 (2002)。
- [10] 山本純子，大澤潤次郎：古典籍翻刻の省力化：くずし字を含む新方式 OCR 技術の開発，情報管理，Vol. 58, No. 11, pp. 819-827（オンライン），DOI: 10.1241/johokanri.58.819 (2016)。
- [11] 日本古典籍デジタル研究所：A0 くずし字学習指導システム DEMO，立命館大学 ARC 古典籍ポータルデータベース（オンライン），入手先（<https://www.arc.ritsumei.ac.jp/lib/vm/J-book/A/A0/>）（参照 2023-01-12）。
- [12] 飯倉洋一（監修）：KuLA（クーラ），くずし字学習支援アプリ（オンライン），入手先（<https://kula.honkoku.org/>）（参照 2023-01-12）。
- [13] 北本朝展，カラーヌワット・タリン，LAMB, A., BOBER-IRIZAR, M.: くずし字認識のための Kaggle 機械学習コンペティションの経過と成果，人文科学とコンピュータシンポジウム じんもんこん 2019 論文集，pp. 223-230 (2019)。
- [14] 橋本雄太（開発者）：みんなで翻刻，国立歴史民俗博物館 東京大学地震研究所 京都大学古地震研究会（オンライン），入手先（<https://honkoku.org/>）（参照 2023-01-12）。
- [15] 吉賀夏子，只木進一：低コストな Linked Data 化を目指したクラウドソーシングによる固有表現収集の試み，じんもんこん 2019 論文集，Vol. 2019, pp. 239-244 (2019)。
- [16] 林晋，永井和，宮崎泉：文献研究と情報技術：史学・古典学の現場から（<特集>歴史知識学），人工知能，Vol. 25, No. 1, pp. 24-31 (2010)。
- [17] HOMMA, J.: IIIF Curation Viewer v1.13, Center for Open Data in the Humanities, Research Organization of Information and Systems (online), available from (<http://codh.rois.ac.jp/software/iiif-curation-viewer/>) (accessed 2023-01-12)。
- [18] KANZAKI, M.: Image Annotator plus IIIF Viewer, the Web KANZAKI (online), available from (<https://www.kanzaki.com/works/2016/pub/image-annotator/>) (accessed 2023-01-19)。
- [19] 橋本雄太，金甫榮，中村寛，小風尚樹，井上さやか，茂原暢，永崎研宣：写真資料のクラウドアノテーションシステムの開発：『渋沢栄一伝記資料』別巻第 10 を事例に，じんもんこん 2021 論文集，Vol. 2021, pp. 132-137 (2021)。
- [20] 凸版印刷株式会社：古文書解読とくずし字資料の活用サービス，TOPPAN INC.（オンライン），入手先（<https://www.toppan.co.jp/biz/fuminoha/>）（参照 2023-01-12）。
- [21] 橋本雄太：CA2015 - 動向レビュー：くずし字資料の解読を支援するデジタル技術，国立国会図書館（オンライン），DOI: 10.11501/12199168（参照 2023-01-08）。
- [22] 伊藤昭弘：残存状況，佐賀大学地域学歴史文化研究センター（オンライン），入手先（https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Dt_Az1_2CyGyLegHrYZW0vaO4b48wHoN/edit?usp=sharing&ouid=117353106642795478305&rtpof=true&sd=true）（参照 2023-01-12）。
- [23] 吉賀夏子，堀良彰，只木進一，永崎研宣，伊藤昭弘：郷土に残存する江戸期古記録の機械可読化を目的とした市民参加および機械学習による固有表現抽出，情報処理学会論文集，Vol. 63, No. 2, pp. 310-323 (2022)。
- [24] W3C: Web Annotation Data Model, W3C Recommendation 23 February 2017 (online), available from (<https://www.w3.org/TR/annotation-model/>) (accessed 2023-01-12)。
- [25] Yoshiga, N.: 機械学習用くずし字データ収集プロジェクト，kuzushiji.work（オンライン），入手先（<https://kuzushiji.work/>）（参照 2023-01-12）。
- [26] Laravel LLC: Laravel, The PHP Framework For Web Artisans (online), available from (<https://laravel.com/>) (accessed 2023-01-12)。
- [27] Yoshiga, N.: Kuzushiji data collection system for machine learning, nikolito (online), available from (<https://github.com/nikolito/kuzushiji-label>) (accessed 2023-01-12)。
- [28] グーグル・クラウド・ジャパン合同会社：Compute Engine, Google Cloud (online), available from (<https://cloud.google.com/compute?hl=ja>) (accessed 2023-01-19)。
- [29] 佐賀大学附属図書館：日記目録 一，小城鍋島文庫（オンライン），入手先（<https://www.dl.saga-u.ac.jp/collection/detail/?id=19>）（参照 2023-01-12）。
- [30] OpenSeadragon contributors: OpenSeadragon 4.0.0, An open-source, web-based viewer for high-resolution zoomable images (online), available from (<https://openseadragon.github.io/>) (accessed 2023-01-12)。
- [31] ricogito: Annotorious, JavaScript image annotation library (online), available from (<https://recogito.github.io/annotorious/>) (accessed 2023-01-12)。
- [32] Lamb, A., Clanuwat, T. and Kitamoto, A.: KuroNet: Regularized Residual U-Nets for End-to-End Kuzushiji Character Recognition, *SN Computer Science*, Vol. 1, No. 3, p. 177 (online), DOI: 10.1007/s42979-020-00186-z (2020)。
- [33] Bober-Irizar, M., Clanuwat, T. and Kitamoto, A.: KogumaNet くずし字認識サービス（一文字），人文学オープンデータ共同利用センター (CODH)（オンライン），入手先（<http://codh.rois.ac.jp/char-shape/app/single-mobilenet/>）（参照 2023-01-19）。