
共同研究の経過と概要

濱上知樹

1. 研究の目的

本報告書は、2013年度から2015年度にかけて実施された国立歴史民俗博物館共同研究「歴史資料デジタルアーカイブデータを用いた知的構造の創生に関する研究—小袖屏風を対象として」の成果報告書である。

近年、急速に進む歴史資料のデジタルアーカイブ化により、貴重な歴史資料を計算機に取り込み、高度な知的利用や新たな展示技術として活用する研究が盛んに行われている。また、そのデジタルデータの取り扱いや記述・構造化について、メタデータの記述・モデル化の検討が進められている。このように、歴史資料のデジタルアーカイブの流れと関連研究は、人類共有の貴重な歴史資料の永続的な記録と再発見の手段として大きく期待されている。国立歴史民俗博物館においても、江戸図屏風を始め、正倉院文書、小袖屏風等、数々の貴重な歴史資料がデジタルデータ化され、資源共有する研究が進められてきた。

一方、近年の計算機技術とネットワークの飛躍的な発展を背景に Big data と呼ばれる超大規模データを取り扱う技術が注目されている。Big data は、従来のデータの取り扱いとは異なり、単に大規模というだけでなく、多様で非構造的なデータ発生源が時間的広がりをもって大量に存在する点に特徴がある。そのため、発生したデータを収集・蓄積する基盤技術と、収集・蓄積したデータを操作するための高度なツールが求められている。そのための重要な技術の1つが「機械学習」である。機械学習とは、データから有用な規則、知識表現、判別基準、クラスタリングなどを行う人工知能の技術であり、蓄積されたデータの中から、有用な知識抽出を行う有効な手段として近年飛躍的な研究進展を遂げている。また、Big data 時代を切り開くもう1つの重要な技術が、1998年に提唱されたセマンティック Web である。セマンティック Web とは「情報リソースに意味（セマンティック）を付与することで、人を介さずにコンピュータが自律的に処理できるようにするための技術」と定義される。メタデータとオントロジーによる自律的なデータの知的構造化、あるいは機械学習とセマンティックデータ技術の連携は、既に現実のネットワークの中で進み、様々な知的構造の構築とこれを用いた知的システムの構築に貢献をしている。

歴史資料デジタルアーカイブの蓄積が進む中、その莫大なデータの利活用の方法が重要となっている。電子的に保存されたデータベースとしての静的な存在ではなく、非構造化されたデータから意味や新たな構造を抽出する自律性を付与することで、歴史資料の新たな利活用とこれを用いた研究の発展が期待できる。歴史資料デジタルアーカイブを Big data とみなし、様々な分野で活用さ

れている画像処理・解析を初めとする特徴抽出と、これらの解析技術で培われた機械学習、セマンティックデータ処理を用いて、莫大なデジタルアーカイブからの知識発見をはかるシステムをつくることで、この期待に応えることができよう。

また、歴史資料にとって重要な要素であるイメージング処理技術についても、計算機処理能力の向上と共に目覚ましい高度化を遂げている。莫大な画像の中から意味のある情報や構造を抽出し、知識利用する技術は、医療、セキュリティ、アミューズメント等、社会の多くの場面で実用化されている。

翻って、増え続ける様々な歴史資料デジタルアーカイブ—特に画像を中心としたデジタルデータ—is、様々な非構造的特徴を有し、データ発生源の地理的・時間的拡がりを持つ Big data に他ならない。例えば、小袖屏風画像データベースに含まれる属性は、構図および衣装モチーフといった連続空間的属性から、染めや絞りといった技術的分類、さらには、時代や身分等、様々な外部属性につながっている。特に、研究上重要なモチーフ、染色方法、刺繍、模様マイクロ・マクロな連続特徴量を扱うことから、非表象・非定型・非構造化された高精度画像情報からのセマンティクス抽出が重要な技術となる。しかし、このような大規模な歴史資料に対し機械学習のような自律的データマイニングを試みた研究は過去に類がなく、データ間のメタ構造を抽出する試みは緒についたばかりである。今後、機械学習やセマンティックデータ技術をこれらの歴史資料に応用することで、新たな文理融合領域の研究が期待できる。以上の前提から、本研究の意義・必要性を以下のように定めた。

歴史資料デジタルアーカイブデータに最新のイメージング処理をフロントエンドとする機械学習・セマンティックデータ処理を試みることで、デジタルアーカイブデータからの新たな知的構造の創出と、データマネジメント技術の発展をはかり、新たな学際領域の発展と歴史資料を用いた視覚的情報提示手法の確立—歴史資料高度データマネジメントシステムの構築を行う。

この研究の嚆矢として、まず野村コレクション小袖屏風のデジタルアーカイブデータについて検討を開始する。小袖屏風画像は、既にデジタル化がなされており、画像の様々なレベルにおける特徴量の抽出とその構造化を進め、さらに他の史資料についても検討を拡大する。以上の試みにより、歴史資料デジタルアーカイブデータを用いた知的構造の創生をはかり、歴史研究の新たな展開と、得られた成果の効果的な展示技術に結びつけることを目的と定めた。

2. 研究組織

研究組織を五十音順で示す。◎は研究代表者、○は研究副代表者。

〔共同研究者〕（所属は2016年3月時点）

館外

内田 誠一	九州大学大学院・システム情報科学研究所・教授
富井 尚志	横浜国立大学大学院・環境情報研究所・准教授
澁谷 長史	筑波大学大学院・システム情報工学研究科・助教

白川 真一	筑波大学大学院・システム情報工学研究科・助教
中島 慶人	電力中央研究所・システム技術研究所・上席研究員
◎濱上 知樹	横浜国立大学大学院・工学研究院・教授／本館研究部・客員教授
福永 香	情報通信研究機構・電磁波計測研究センター・主任研究員
矢田 紀子	千葉大学大学院・融合科学研究科・助教

館内

安達 文夫	本館・研究部・教授
○澤田 和人	本館・研究部・准教授

〔ゲストスピーカー・研究協力者〕（所属は参加時点）

井田 有香	青山学院大学大学院・院生
今井さやか	相模女子大学・学芸学部メディア情報学科・准教授
小澤耕太郎	横浜国立大学大学院・院生
大門利都子	横浜国立大学大学院・院生
大原 剛三	青山学院大学・理工学部・教授
田中 友章	横浜国立大学大学院・院生
露崎 考英	横浜国立大学大学院・院生
豊田 哲也	青山学院大学・理工学部・助教
萩生田明德	横浜国立大学大学院・院生
藤村 雄基	横浜国立大学大学院・院生
二神廉太郎	筑波大学大学院・院生
森田 修史	デジタルファッション株式会社・代表取締役社長

3. 研究の経過

■ 2013年度

・準備研究会 2013年3月27日 国立歴史民俗博物館

濱上知樹 「共同研究趣旨説明」

濱上知樹 「歴史資料デジタルアーカイブの研究動向」

濱上知樹 「小袖と小袖屏風について」

各委員 各委員の研究背景を含めた研究紹介

各委員 総合討議

その後 展示見学会

・第1回共同研究会 2013年6月7日 国立歴史民俗博物館

森田修史 「デジタルファブリケーション技術」

富井尚志 「データ工学技術とユビキタス情報処理」

内田誠一 「画像情報学の基礎と応用」

濱上知樹 「プロジェクトロードマップ」
小澤耕太郎 「リアルな物体展示インタフェースのためのCG技術の調査」
露崎考英 「類似画像検索技術と小袖画像検索への応用」
福永 香 「グランフロント大阪ナレッジキャピタル・メタミュージアムシアター報告」
各委員 総合討議

・第2回共同研究会 2013年3月31日 国立歴史民俗博物館

濱上知樹 「平成25年度共同研究実績報告および会計報告」
今井さやか 「津波デジタルライブラリの研究紹介」
富井尚志 「歴史資料の新たな利活用を目的とした小袖屏風DBの設計と高度知的検索システムの構築」
矢田紀子 「SIFT特徴による歴史資料の高精細画像合成」
福永 香 「キトラ古墳壁画分析について」
濱上知樹 「歴史資料デジタルアーカイブデータからの知的構造の抽出—小袖屏風を対象として」
各委員 総合討議

計画と成果

初年度は、小袖屏風画像の高精度デジタルアーカイブデータからのメタ構造の抽出準備と試行を重ね、次年度以降に着手する、歴史資料高度データマネジメントシステム（仮称）の設計指針をつくることを計画した。具体的には、下記の事項を明らかにすることとした。

1. 画像メタ情報の自律的抽出アルゴリズムの検討（濱上ら知能化班）
2. 高精度画像データからの特徴抽出アルゴリズムの検討（内田・中島ら画像処理班）
3. 高精度画像セマンティックデータベースの技術要件に関する検討（富井らデータベース班）
4. 次世代デジタルアーカイブのための要件整理（福永らアーカイブ展示班）

成果としては、小袖屏風画像の高精細画像の撮像を行う傍ら、歴史資料のアーカイブと機械学習を組み合わせた Historical Big Data という新たな分野を提案し、画像処理とセマンティックデータベースに関する研究について、以下の学会発表に至った。

・2013年11月 電気学会システム研究会

濱上知樹「歴史資料デジタルアーカイブデータからの知的構造の抽出—小袖屏風を対象として」

・2014年3月 第6回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム（DEIM2014）

萩生田明徳・藤村雄基・富井尚志「歴史資料の新たな利活用を目的とした小袖屏風DBの設計と高度知的検索システムの構築」（学生プレゼンテーション賞）

また、福永らにより、高度展示技術に関する動向調査を進めるとともに、評価用システムを導入し、高リアリティインターフェースのデモシステムを完成させた。以上の成果により、次年度以降に設計される、高度展示システムの理論的基礎および実装技術を明らかにすることができた。

■2014年度

・THzイメージング予備測定実験 2014年7月24日 国立歴史民俗博物館

-
- ・第3回共同研究会（兼電気学会企画セッション） 2014年9月5日 島根大学
「歴史資料デジタルアーカイブデータの新展開—高精細画像処理と知的検索による研究・展示支援」
 - OS12-1 福永香・高妻洋成・建石徹「バーチャルではない文化財の「リアル」に触れるデジタルミュージアム」
 - OS12-2 中島慶人「方向別共起ヒストグラムを用いた小袖屏風の模様検出」
 - OS12-3 白川真一・井田有香・杉山美乃・大原剛三「小袖屏風画像を用いたテクスチャ合成に関する検討」
 - OS12-4 小澤耕太郎・濱上知樹「固定視点下における多方向光源画像群を用いた小袖屏風画像のインタラクティブ展示のための光源推定」
 - OS12-5 田村誠悟・濱上知樹「小袖屏風画像における画像特徴抽出と類似性の評価」
 - OS12-6 富井尚志・萩生田明德・藤村雄基・木島彩梨沙「多様なコンテンツの横断検索が可能な小袖屏風データベースの設計と構築」
 - OS12-7 安達文夫・鈴木卓治「大量の歴史資料画像の提示法」
 - ・THz イメージング本実験 2015年1月26・27日 国立歴史民俗博物館
 - ・第4回共同研究会 2015年3月23日 国立歴史民俗博物館
 - 萩生田明德・藤村雄基「歴史資料に関する利用者の興味喚起を目的とした小袖屏風 DB システムの設計と構築」
 - 白川真一「小袖屏風画像を用いたテクスチャ合成に関する検討」
 - 濱上知樹「小袖屏風画像からの知的構造の抽出，高リアリティ鑑賞システムの研究」
 - 内田誠一（話題提供）「近年の知的画像画像処理に関する話題提供」
 - 濱上知樹（報告）「「デジタル文化資源の情報基盤を目指して:Europeanaと国立国会図書館サーチ」および「歴史的典籍画像の30万点 Web 公開と国際共同研究」の報告」
 - （報告）「THz イメージング撮像実験報告」

計画と成果

2年次は、画像データベースの高機能ビューワーシステムの完成と、分析手法の高度化を進めるとともに、屏風内部構造のTHzイメージング測定を行うことを計画した。また、実寸大全景の高リアリティ画像描画システムを試行する。具体的には、下記のテーマを遂行し、これらの成果については、順に成果を公開し始めることとした。また、近年の世界的デジタルアーカイブの動向について、技術的な調査を進めていく。

1. セマンティクス分析手法にディープラーニングによる一般物体認識手法を用いた小袖屏風の模様の意味抽出（濱上ら知能化班）
2. 背景画像の削除と、モチーフの自動セグメンテーションアルゴリズムの開発（内田・中島ら画像処理班）
3. 高精細画像データベースビューワの開発（富井らデータベース班）
4. THz イメージング撮像（福永らアーカイブ展示班）

新規の成果としては、小袖屏風の表面および内部構造のデータベースを作成するために、THz

イメージング撮像実験を行い、1隻分データの取得に成功した。

開発展開としては、高精細画像データベースのビューワーシステムが完成し配布に至った。セマンティクス分析にディープラーニングを取り入れた手法が提案され、一般物体認識との技術転用がはかられた。また、自由拡大縮小可能な画像ビューワーの開発および図録コンテンツの電子化が完了し、既存データからなる画像データベースの実装が完了した。

学術的成果展開としては、実スケールでの高リアリティ映像の再現方法について、一定の実現性能を得た電気学会C部門誌において、濱上・澤田の解説論文「デジタルアーカイブからの知的構造の抽出：インテリジェントシステムによる人文・歴史研究支援」（電気学会論文誌C, Vol.134, No.9, pp.1282-1286）の掲載や、電気学会電子情報システム部門において、オーガナイズドセッションOS12「歴史資料デジタルアーカイブデータの新展開—高精細画像処理と知的検索による研究・展示支援」を企画開催した。その結果、関係者はもちろん、本分野に興味をもつ多くの聴衆と有益なディスカッションがなされ、本共同研究の成果の関連分野への波及効果がみられた。

なお、2014年度の成果発表は上記のほか以下のもがある。

- ・2014年11月 情報処理学会，研究報告データベースシステム（DBS）
藤村雄基・萩生田明徳・木島彩梨沙・富井尚志「歴史資料に関する利用者の興味喚起を目的とした小袖屏風DBシステムの設計と構築」
- ・2014年12月 映像情報メディア学会2014年冬季大会講演
横田知美・鈴木卓治・矢田紀子・眞鍋佳嗣「衣桁にかけた小袖画像を用いたバーチャル着装的試み」
- ・2015年3月 第7回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム（DEIM2015）
萩生田明徳・木島彩梨沙・藤村雄基・富井尚志「小袖屏風に関する閲覧システムの構築と歴史資料への興味喚起を目的とした情報提示」
- ・2015年3月 電気学会システム研究会
濱上知樹「ディープラーニングによる物体認識軸を用いた抽象画像の類似性評価」

■ 2015年度

- ・第5回共同研究会（電気学会 電子・情報・システム部門大会における発表）2015年8月28日
長崎大学
- ・第6回共同研究会（人文科学とコンピュータシンポジウムにおける発表）2015年12月19日
同志社大学

計画と成果

最終年度は、画像データベースの高機能ビューワーシステムに、専門家によるアノテーションを付与し、公開可能なシステムの完成をめざした。また、知的構造抽出の手法として、近年目覚ましい発展を遂げた深層学習の手法を応用し、抽象画像からのモチーフの抽出と類似性評価のアルゴリズムを考案し、評価を行うこととした。前年度に撮影した屏風内部構造のTHzイメージングデータについては、3次元表示するアプリケーションを完成させ、3次元構造のデータベースを作成する。さらに、とりまとめとして、近年の国内外のデジタルアーカイブの動向について、技術的な

調査を進めていく。個別の検討は以下の通りである。

1. ディープラーニングによるモチーフと構造類似性評価手法の確立（濱上ら知能化班）
2. 1に関する技術的サポート（内田・中島ら画像処理班）
3. 専門家の知見と背景知識にもとづく閲覧システム（富井らデータベース班）
4. THz イメージングデータのデータベース化（福永らアーカイブ展示班）

結果、知的デジタルアーカイブを利活用事例として、小袖屏風ビューワーシステムを刷新し、専門家の知見や背景知識を取り入れた閲覧システムの完成に至った。画像からの知的構造自動抽出技術としては、深層学習によるモチーフの類型化その構造的類似性を評価する手法を明らかにした。これを用いたアーカイブの分類法は、他の史資料の分析にも有用である。また、このようにして得られた模様やモチーフを合成して新たな意匠や、既任意匠を再利用したデザイン手法についても提案を行った。これらの成果により、デジタルアーカイブのあらたな利活用が可能になった。以上の成果について、当該年度は下記のような成果が得られている。

- ・2015年8月 Annual Conference of IEEJ Elwectronics, Infoemation and Systems 2015
A.Hagioita, T.Tanaka, R.Daimon, T.Tomii, “Improvement of a Browsing System about Kosode Byobu to Rouse Interest in Historical Materials”
- ・2015年8月 情報処理学会 人文科学とコンピュータ研究会
濱上知樹・澤田和人「小袖屏風を対象とした知的構造の抽出に関する研究」
- ・2015年9月 第14回情報科学技術フォーラム（FIT 2015）
井田有香・白川真一・大原剛三・豊田哲也「小袖屏風画像を利用した模様画像の合成」
- ・2015年12月 人文科学とコンピュータシンポジウム
田村誠悟・濱上知樹「深層学習を用いたモチーフ分類にもとづく小袖屏風画像の特徴分析」
- ・2015年12月 人文科学とコンピュータシンポジウム
大門利都子・萩生田明德・田中友章・富井尚志「服飾に関する背景知識を活用した一覧型小袖屏風閲覧システムの構築」
- ・2016年2月 データ工学とマネジメントに関するフォーラム（DEIM 2016）
萩生田明德・田中友章・大門利都子・富井尚志「専門家の知見を用いた小袖屏風閲覧システムの構築と展示のストーリーに沿った情報提示」

4. 研究成果の概要

3年間の共同研究の結果、次のような成果が得られている。

(1) 小袖屏風画像 DB の刷新（富井，安達）

新たにオリジナルのポジフィルムからデジタル画像（19513×15512 実質解像度約 208.4ppi 100 枚）をスキャンし、さらに階層タイル画像に分解することで、マルチスケール表示可能な画像データベースを作成した。これを HTML5 で閲覧するしくみを Zoomify によって実現し、さらに、館蔵データベースや解説データベース、模様領域データとの連携により、これまでにない詳細な情報提供が可能な高度データベースシステムとして完成させた。

(2) 知的検索システムの開発 (富井, 澤田)

(1) のデータベースを用いた検索システムのほか, 小袖屏風の属性や作成年代ごとのマトリクス表示, 検索機能の実現や, (3) との連携機能を準備し, 知的検索を実現するための拡張性を実装した。

(3) 小袖屏風画像からの意味および構造の抽出 (濱上, 内田, 中島)

多様な小袖屏風の模様の意味を自動抽出し, その構造を定量化・類型化する手段を明らかにした。Deep Learning を用いた一般物体認識のしくみを用いてデータベース中の画像タイルに意味を推定し, 意味空間中で屏風の分類することに成功した。

(4) デジタルアーカイブの新たな展示技術—高リアリティ合成画像の研究 (濱上, 福永)

高精度なデジタルデータを利活用するための試みとして, 鑑賞者と対象との相互作用を再現することで得られる高リアリティ合成画像の生成方法を明らかにした。鑑賞者の位置から固定光源からの反射光を再現する手法はこれまでもあったが, 大量のデータと簡易な計算で実現する新たなアルゴリズムを開発したことで, 新たな展示方法の提案が可能となった。

(5) 小袖屏風画像デジタルアーカイブ DB を用いた派生研究 (白川, 澁谷, 矢田)

高精細画像データベースを用いた派生研究として, 新たな模様と配置を合成するアルゴリズムや, 位相的特徴抽出による空間特徴の把握, バーチャル着装など, 多くの派生研究の成果が得られた。

(6) THz イメージングによる断面データのアーカイブ化 (福永, 濱上, 澤田)

画像以外の高度デジタルアーカイブの事例として, THz イメージングによる小袖屏風断層画像の測定を世界で初めて実現し, 屏風作成技法にかかわる知見を得るために必要な貴重なデータを得ることができた。

5. 総括

以上の研究成果を通して, 小袖屏風高精細画像を対象とした知的デジタルアーカイブの利活用研究の具体例と新たな文理融合研究分野の進め方について一定の結論を得た。特に, 小袖屏風画像データベースは公開にむけて準備がととのっており, 機械学習によって得られた成果が順次加えられる拡張性を有している。将来的には他のデータベースとの連携・拡張を通して, さらなるデジタルアーカイブ利活用のためのプラットフォームとしての利用が期待できる。

なお, 小袖屏風画像データベースは, 2016 年度国立歴史民俗博物館企画展示「デジタルで楽しむ歴史資料」において一般公開した。

(横浜国立大学大学院工学研究院, 国立歴史民俗博物館共同研究代表者)