

地域の歴史データを題材にしたデータの物理化手法の構築

佐々木 響希^{1,a)} 中小路 久美代^{1,b)}

概要：本研究では、データ表現のひとつであるデータの物理化に着目し、地域の歴史データの物理化手法を構築する。地域の歴史データは、市民にとって親しみの深いものであり、その時代背景や収集過程を辿ると興味深い文脈を発見できると考える。データの物理化によって、人々がどのように歴史データに触れ、知覚するかを考察する。そして、市民が地域の歴史データが持つ魅力を感じ、分かりやすく歴史を体験できる環境の構築を目指す。研究のアプローチとしては、利用する材料の選定や表現方法を検討し、システムの実装とデザインを行う。その後、システムのユーザビリティやユーザの思考などについて評価を行う。本論文では、今までに行ったインタラクティブに歴史データを体験できるシステムの実装とデザインについて、詳説する。

1. はじめに

本研究では、地域の歴史データのデータの物理化による表現方法の検討と、システムのデザインおよび実装を試みる。本研究で利用する歴史データとして、函館市にまつわる統計データを編纂した函館市史：統計史料編を用いる [1]([図 1](#))。本書は、明治初期から昭和後半までに収集された、函館市に関する統計データを編纂したものである。多様な項目のデータが長期間にわたって蓄積されており、利用価値が高い題材であると考えられる。

データの物理化とは、幾何学的または物質的な材料特性がデータをエンコードする物理的なアーティファクトを指す [2]。例えば、Leithinger らによる Shape Display は、上下に可動する電動ピンの上に地形図をマッピングした [3]。ユーザは、ジェスチャーによって地形図の移動や拡大縮小などの操作を行う。電動ピンは地形の高低差に応じて変動する仕組みである。このようにデータの物理化は、空間における物体の連続性の認識や物体に触れることによるインタラクティブリティなど、人の知覚能力を十分に活用した情報の伝達が可能であると考えられる。市民に馴染み深いであろう歴史データを物理的に表現することで、その相互作用を分析・考察し、市民が分かりやすく歴史を体験できる環境の構築を目指す。

2. 函館市史：統計史料編

本研究で用いる函館市史：統計史料編は、行政、産業・経



図 1 函館市史：統計史料編

済、社会・教育の3部門によって構成され、それぞれ豊富なデータが表形式で記されている。一方で、表の一部に省略されている箇所があったり、計測が中途半端に行われていたりと不完全な点が見受けられる。その裏には、時代的背景や編集上の都合などが絡んでいる可能性がある。中小路らによれば、一部の項目の中にデータ入力の誤植や捏造、改竄の形跡が発見された [4]。また、現在では存在しない言語表現や習慣の記載が多く見られた。このように、データの持つ意味だけでなく、その背景情報に目を向けることで探索の深みが増すと考えられる。

本書を対象とした研究として、デジタルデータ化に向けた校正作業の支援がある [5]。本書をスキャンした画像データと文字認識技術を用いて生成したエクセルデータを、比較し校正するユーザインタフェースの構築を行なった。これを用いた市民駆動でのデータの校正を行うことで、市民の知的触発性の活性化が期待できるとされる。

本書のような地域の歴史データには、地域ごとに多様な特色が見受けられる。人々と親しみが深く、様々な発見の余地がある歴史データに触れ、市民自身が一連のプロセス

¹ 公立はこだて未来大学

^{a)} b1020153@fun.ac.jp

^{b)} kumiyo@fun.ac.jp

を体験することで、より深い触発とデータ探索、知識の創出を促せると考える。

3. データの物理化とは

本章では、データ表現のいち分野であるデータの可視化および類似する研究領域の説明を行う。それらとデータの物理化との比較を通して、物理化の位置付けと利点について論ずる。

3.1 特徴と利点

データの可視化とは、全体としては無機質なデータの塊を、価値のある意味の伴った「情報」へと昇華することで、データから意味を見出しやすくするための方法の一つである [6]。主に紙面やディスプレイ上に、グラフィカルな要素によって展開されるデータの可視化に対し、データの物理化は物質的要素によって構成される。そのため、自然環境を縮尺した表現や素材の性質をそのまま利用した表現など、多様で自由度の高いデータ表現が可能である。ユーザは、視覚のみならず触覚による質感や重量感などの感覚からデータを捉えることができる。

黄砂の物理的な可視化の例では、空気中の粒子状物質による大気汚染の状況を物理的に表現している [7]。実際の粒子状物質の観測データに応じて霧の濃度を変化させ、大気汚染の状況を視覚的に表す。また、霧の水分によって粒子状物質を地上に落とし、大気汚染を改善する効果もある。別のデータの物理化の例として、データに重みを加えて表現した Virtual Gravity がある [8]。データベース (Google Insights for Search) から話題のワードを取得し、そのワードの重要度や人気度に応じた重みを付加して、物理的な表現をする。ユーザは、コントローラを持ち、ディスプレイ上からワードを選択する。ワードの選択後、コントローラを円柱のオブジェクトの上に載せる。すると、選択したワードの重みに従って円柱のオブジェクトが上下し、ワードに物理的な重さがあるように表現される。

このように物理化は、より直感的かつ身体的にデータを知覚でき、円滑なデータの伝達が可能である。また、アート作品として表現される場合も多く、アトラクティブな体験が期待できる。ユーザがデータの物理化に触れることで、データに潜む背景情報に想いを巡らせ、触発を促すことができると思う。

3.2 関連研究

本節では、データの物理化に関連するタンジブルユーザインタフェースと形状変化インタフェースについて説明する。

データの物理化と類似した研究として、タンジブルユーザインタフェースがある。これは、データの物理化が情報の出力やデータの解析を目的としているのに対し、情報の入

力や操作を目的としたインタフェースである [2]。Clementらの Mechamagnets における研究では、物理的なボタンやスティックを模した機構に磁石を埋め込むことで、触覚フィードバックを提供している [9]。この研究では、磁石に対する 5 種類の空間的な制約と磁石同士の移動方向による 6 種類の触覚フィードバックに分類し、それらの組み合わせによって、25 種類の物理的な入力装置のモデルを作成した。磁石は引力と斥力が働くというシンプルな性質を持ち、多様な触覚フィードバックをもたらすと同時に、コストが低く手軽に扱えるという点で優れている。

別の物理化の分野として、形状変化インタフェースがある。これは、オブジェクトの形状の変化を入力または出力として利用する [10]。形状変化インタフェースは、オブジェクトの変化のフェーズを速度や動線などの運動パラメータと、その効果が人にどのように知覚されるかを説明する表現パラメータで表現される。

本研究では、このようなタンジブルユーザインタフェースや形状変化インタフェースの研究で培われた技術や概念を参考に、システムの実装を試みる。

4. DDrPP プロジェクト

本研究で行うプロジェクトを、Data Dressing and Prompted Physicality の頭文字をとり、DDrPP (ダープ) と呼称する。物理的オブジェクトがデータをまとい、身体的にデータの理解を促すといった意味がある。DDrPP は、地域の歴史データとデータの物理化を組み合わせることで、人々が地域の歴史に目を向け探索を行うことで、知的触発を生み出せる環境の構築を目指す。

本プロジェクトでは、これまでに、利用する材料の選定と物理的な表現手法の検討、2つのシステムの実装とデザインを行った。システムは物理装置と制御インタフェースから構成され、制御インタフェースで処理したデータを物理装置によってエンコードする (図 2)。ユーザは、制御インタフェースからデータの選択やマイコンへの指示を行い、物理装置で触覚フィードバックを得る。物理装置では、コストと性質から磁石に着目し、実装を行った。また、制御インタフェースは、swift 言語を用いて iOS デバイス向けの開発を行った。本研究では、デバイスとして iPad を使用した。

4.1 DDrPP01

本システムでは、相関関係の物理的表現を試みた。函館市史：統計資料編は、幅広いデータをそろえており、多様かつユニークな組み合わせで相関性を見ることが可能である。物理表現により、直感的なデータ間の関係性の理解を目指す。

4.1.1 DDrPP01-構築した物理装置

具体的な機構を図 3 で説明する。装置は、中央部のギア、両側の左右に可動する把手、それらを支える土台によって

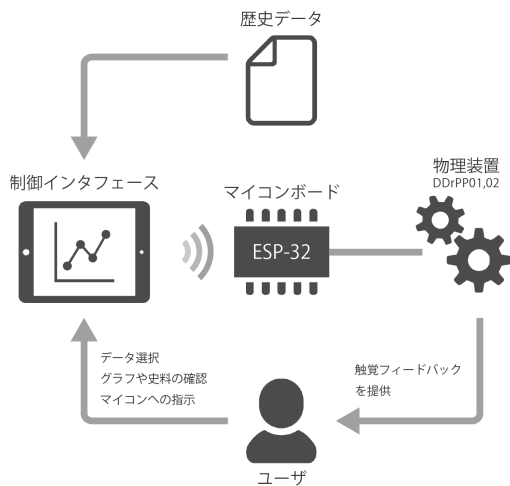


図 2 システムの構成

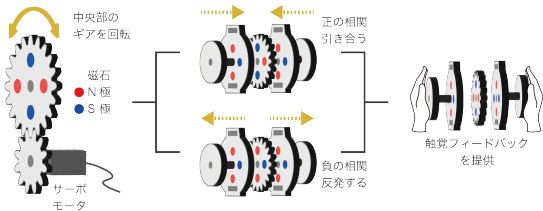


図 3 DDrPP01-機構の図解

構成される。中央部のギアと把手が連結した円板にはネオジム磁石が埋め込まれている。直径 13mm の 4 個のネオジム磁石が、円周上に、N 極と S 極が交互となるように配置されている。中央部のギアをモータで回転させることで、把手と連結した円板の磁石と極性が一致すると斥力が働き、極性が逆になると引力が働く。このギアの回転を細かく調節することで、働く磁力の強さを変化させ、相関の強さに対応させる。ギアの回転はサーボモータで行い、サーボモータの制御は無線通信モジュールを搭載したマイコンボードである ESP-32 を使用した。構築した装置の全体像は図 4 の通りである。

4.1.2 DDrPP01-制御インターフェース

制御インターフェースの機能は、散布図の描画とマイコンとの無線通信である。実際の画面を図 5 に示す。データは気象に関する 5 つの項目を試験的に導入した。選択された 2 つの統計データに対して、データリストの右隣に散布図が描画される。また、相関係数の算出と、それに応じてスケールリングしたサーボモータの回転角の計算を行う。マイコンとの接続を確立し、サーボモータを回転させる。

4.1.3 DDrPP01-ユーザ体験

ユーザはまず、画面下部にある接続ボタンを押し、ESP-32

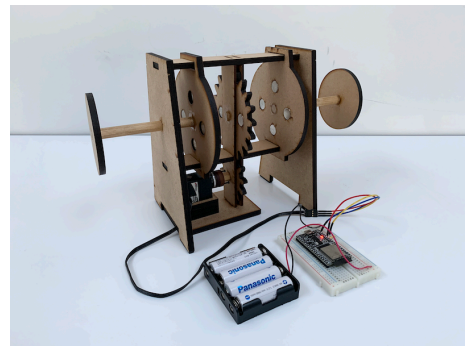


図 4 DDrPP01-構築した物理装置



図 5 DDrPP01-制御インターフェース

との接続を確立する。iPad 上でデータリストから 2 種類の統計データを選択する。ユーザは、プロットされた散布図からデータの散らばり具合を確認する。次に、出力ボタンを押し、サーボモータの回転角を出力する。最後に、サーボモータの回転によって変化した触覚フィードバックをユーザは触って感じ取る。この一連の流れにより、可視化表現されていたデータが物理化表現にエンコードされる過程を体験でき、直感的なデータの理解を促す。

4.2 DDrPP02

第 2 のシステムでは、重さをインタラクティブに体験できる物理的表現を試みた。函館市史：統計史料編は、農産物の収穫量や漁獲量など、多くの「量」にまつわるデータを集計している。これを物理的に表現し、その推移を手軽に触って体験できることを目指した。

4.2.1 DDrPP02-構築した物理装置

機構は、01 の装置と同じくネオジム磁石を用いて改造したものである (図 6)。上下の円板にはネオジム磁石が、円周上に極性が互い違いになるように埋め込まれている。この円板同士を磁石によって反発させ、下部の把手に圧力をかける。上部のサーボモータを細かく回転させ、上下の円板の磁石同士の位置を調節し、把手への圧力を変化させる。本装置のサーボモータの制御もまた、ESP-32 を使用した。さらに、上部に集計されたデータの年を表示するディスプレイとして、LCD を設置した。構築した装置の全体像は図 7

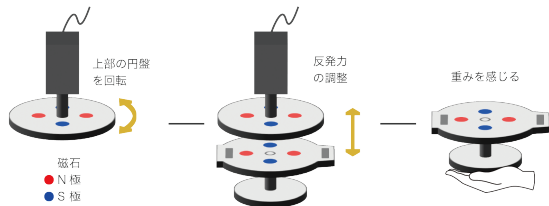


図 6 DDrPP02-機構の図解

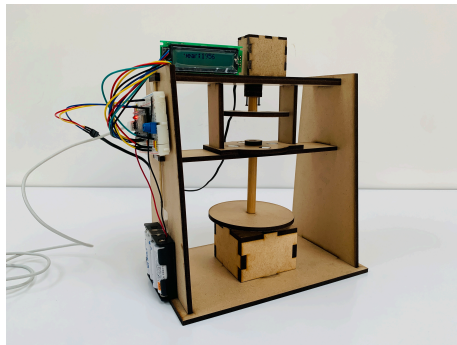


図 7 DDrPP02-構築した物理装置

の通りである。

4.2.2 DDrPP02-制御インターフェース

制御インターフェースは、01 をベースに改良を行なった。実際の画面を図 8 に示す。機能は、折れ線グラフの描画と同じくマイコンとの無線通信である。データは、5 種類の農産物の収穫量を導入した。選択されたデータに対して、画面右の領域に折れ線グラフが描画される。グラフ下のスライダーを動かすと、グラフと対応して年と数値が上部に表示される。スライダーの移動を止めると、その時点のデータの数値に応じた回転角と年が ESP-32 に出力される。スライダー上の start ボタンを押下すると、1.5 秒ごとに年代順に自動で出力される。停止は、pause ボタンで行う。回転角は、選択されたデータの最大値と最小値から、物理装置の磁石の反発が感じられる約 30° に収まるようにスケールした。また、画面左下の領域から、実際の統計史料が配置される。マイコンとの接続確立は、画面右上の connection ボタンから行う。

4.2.3 DDrPP02-ユーザ体験

ユーザはまず、画面右上の connection ボタンから、ESP-32 との接続を確立する。物理装置の土台の上に片手を置き把手を軽く持つような状態にする。データリストからデータを選択し、スライダー上の start ボタンを押下する。ユーザは、年代ごとの収穫量などのデータの推移を、把手からかかる圧力によって感じることができる。自動出力により、DDrPP01 のように逐一 iPad の操作を必要としないため、ユーザビリティの向上が期待できる。

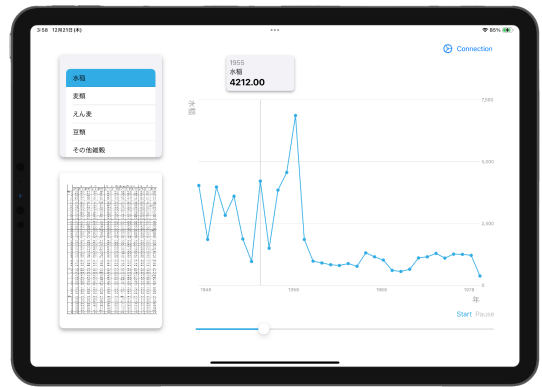


図 8 DDrPP02-制御インターフェース

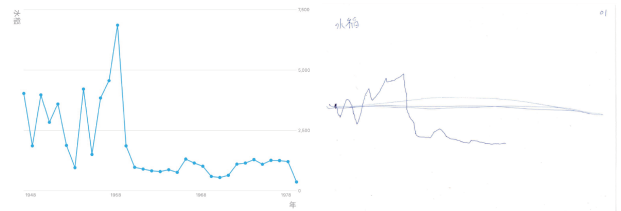


図 9 実際のグラフと手描きグラフの比較：水稻

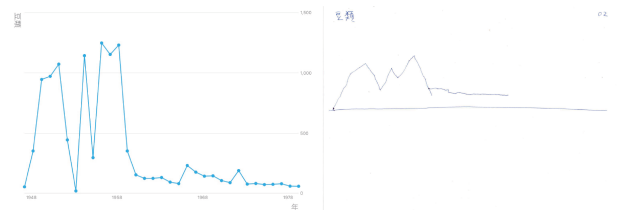


図 10 実際のグラフと手描きグラフの比較：豆類

4.3 システムのテストと考察

DDrPP02 について、実際に重みの違いを感じ取れるか、何名かに本システムを体験してもらった。農産物の収穫量データを利用し、データが集計された最初の年から最後の年までの出力を自動で行う。体験者には、物理装置から重みを感じたら上方向へ、軽く感じたら下方向へ、変化がなければ横ばいという指示のもと、紙にグラフを手描きしてもらった。図 9 と図 10 は、実際の折れ線グラフと体験者 2 名による手描きのグラフを比較したものである。どちらも、大まかな形は捉えられていることから、重みの知覚はできていることが分かった。しかし、実際のグラフに比べ上下への振れ幅が少ないことから、重みの差はあまり感じられていないようであった。正確なデータの理解は難しく不確実であるが、直感的なデータの知覚は可能であることが示唆された。

5. おわりに

本研究では、地域の歴史データを対象に、物理化した 2 つのシステムの実装とデザインを行った。構築した 2 つのシステムは、物理的に触れることでインタラクティブなデータ体験を促すことを目指した。グラフや数値を一目見れば

分かることでも、ユーザが実際にものに触れてデータを知覚することで、データへの関心を促し、より身近な出来事としてデータを感じられると考える。これは、地域市民が歴史データに触れる上で、重要な役割を果たすと考える。

多感覚を駆使してデータを知覚することの利点として、視覚など一部の感覚が制限されている場合にも、情報を得ることができる。さらに、教育現場などにおいて、数値を見るだけでは分かりにくいスケールや内容を取り扱う場合、物理化表現によって伝わりやすくなることが期待できる。

今後は、実際に地域市民の方々に利用してもらい、物理化による歴史データの表現がどのように知覚されるかについて、考察および評価に取り組みたい。

参考文献

- [1] 函館市史編さん室 (編), 函館市史: 統計資料編, 函館市, 1987
- [2] Y. Jansen, P. Dragicevic, P. Isenberg, J. Alexander, A. Karnik, J. Kildal, S. Subramanian, K. Hornbaek, Opportunities and Challenges for Data Physicalization, Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, Apr.2015, pp.3227-3236.
- [3] D. Leithinger, D. Lakatos, A. DeVincenzi, M. Blackshaw, H. Ishii, Direct and Gestural Interaction with Relief: A 2.5D Shape Display, Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology, Oct.2011, pp.541-548.
- [4] 中小路久美代, 山本恭裕, 松原伸人, 川嶋稔夫, 木村健一, 函館市史: 統計史料編のデジタルデータ化における多角的検討, 情報知識学会誌, 情報知識学会, 2020, 30(2), pp.176-181.
- [5] 菊村苑香, 渡部丈, 中小路久美代, 函館市史: 統計史料編のデジタルデータ化に向けた校正作業の支援, 情報処理学会第 85 回全国大会, 4ZL-03, pp.4-887-4-888, 東京都調布市, March.2023.
- [6] 鈴木雅彦, 鈴木嘉右, データ可視化の必要性と意義: データビジュアライゼーションとは、(<特集>情報をわかりやすくするデザイン), 情報の科学と技術, 一般社団法人情報科学技術協会, 2015, pp.470-475.
- [7] P. Dragicevic, Y. Jansen, List of Physical Visualizations, 2017 – Yellow Dust: Making Visible Particulate Matter in the Air, <http://dataphys.org/list/yellow-dust-making-visible-and-remediating-particulate-matter-in-the-air/>, 2012 (accessed Nov.2023).
- [8] P. Dragicevic, Y. Jansen, List of Physical Visualizations, 2009 – Virtual Gravity: Giving Physical Weight to Data, <http://dataphys.org/list/virtual-gravity-giving-physical-weight-to-virtual-data/>, 2012 (accessed Nov.2023).
- [9] C. Zheng, J. Kim, D. Leithinger, M. D. Gross, E. Y. Do, Mechamagnets: Designing and Fabricating Haptic and Functional Physical Inputs with Embedded Magnets, Proceedings of the Thirteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction, Mar.2019, pp.325-334.
- [10] M. K. Rasmussen, E. W. Pedersen, M. G. Petersen, K. Hornbaek, Shape-Changing Interfaces: A Review of the Design Space and Open Research Questions, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, May.2012, pp.735-744.