

招待論文 視覚障害者のための「Touch and Talk」の検討：複数の触覚モデル探索を通じた科学コミュニケーション支援の検討

筒井 彩華^{*†} 王 溪月^{*} 高木 啓伸[‡] 浅川 智恵子^{*§}

概要. 触覚的な探索は視覚障害者が概念を理解する上で極めて重要である。これまで音声や振動といったモダリティを組み合わせたインタラクティブ 3D モデルが開発されてきたが、これらのシステムは固定的なインタラクションフローに依存しているため適応的なガイダンスの機会が制限される。本研究では、特に抽象的かつ空間的に複雑なトピックに頻繁に直面する科学コミュニケーションの文脈において、インタラクティブな対話が触覚学習体験をどのように高めうるかを検討した。まず 22 名の専門家にインタビューを実施し、効果的な説明手法やコミュニケーション戦略を抽出した。次に複数の触覚モデルと音声ベースの「Touch and Talk」システムを組み合わせたテクノロジープロトタイプを用い、10 名の視覚障害者へ Wizard-of-Oz 手法を用いた実験を行った。実験から得た知見に基づき、複雑な科学的内容を視覚障害者が自律的に探索できるよう支援するためのデザイン上の示唆を提案する。

1 はじめに

触覚的な探索は、視覚障害者が空間的知識を獲得し概念を理解する上で不可欠であるが [1, 2]、触覚モデルのみでは複雑な概念的情報を十分に伝達できないという課題がある [3]。そのため、従来は人間や音声ガイドによる補足的な説明が用いられてきたが、ユーザーの自律性を損なう可能性も指摘されている [4, 5]。

こうした課題を踏まえ、音声 [6] や振動 [7] などを統合したインタラクティブ 3D モデル (I3M) が開発されてきた [8]。I3M は触覚操作とリアルタイムのフィードバックを結びつけ、より自律的な学習体験を目指すものである。しかし、既存の I3M の多くはあらかじめ定義されたコマンドや固定的なインタラクションフローに依存しており、視覚障害者ユーザーが自発的に質問したり概念を明確化したりする余地が限られている [9]。質問可能な I3M も提案されているが、説明提示のタイミングや戦略は明確でなく [10]、また、タップ操作による音声ラベルと自然言語質問を統合した会話型インターフェースも開発されているものの、複数の触覚モデルを一つのテーマ内でどのように探索すべきかは依然として不明である [11, 12]。

本研究の目的は、視覚障害者が科学的内容を理解するだけでなく、「いつ」「どのように」「どのような情報」を受け取るかを主体的に選択できるように

することで、理解の深化や新しい問いの形成を促す「Touch and Talk」システムを開発することである。研究 1 では、科学的概念を視覚障害者に伝える際の現状・課題・機会を明らかにするため、22 名の専門家に対して半構造化インタビューを実施した。研究 2 では、科学的テーマを表す複数の触覚モデルと、「Touch and Talk」を模擬した音声システムを組み合わせたテクノロジープロトタイプを開発した。さらに、10 名の視覚障害者を対象に Wizard-of-Oz 手法による実験を行い、物語的ナレーションと質問ベースの対話を自由に切り替えながら、音声ガイダンスに基づいて触覚探索を行ってもらった。その結果、モデル操作における反復的インタラクションパターンや課題、理解を支援し好奇心を喚起する戦略が明らかとなった。これらの得られた知見に基づき、視覚障害者の自律的・能動的な学習を促す「Touch and Talk」システムに向けた 6 つの設計手法を提案する。

2 研究 1：専門家へのインタビュー

視覚障害者に対する触覚ガイダンスの現状を把握し、課題と改善点を明らかにするため、22 名の専門家（科学館スタッフ、盲学校教員、福祉施設職員、博物館職員、研究者）に半構造化インタビューを実施した。触覚教材を用いた指導経験は 1 年から 34 年（平均 9.5 年）であった。その結果、1. 複数の触覚モデル（2D 平面図と 3D 模型など）や分解可能なモデルを組み合わせることで指導を行っていること、2. 指導者は状況に応じて、概要提示と自由探索を重視し質問に応じて補足する「学習者主導型」と、順序立てた説明で探索を導き認知的負荷を軽減する「指導者主導型」を切り替えていること、3. 学習者が誤った部分に触れている場合には、手を直接誘導す

Copyright is held by the author(s). This paper is nonrefereed and non-archival.

* 日本科学未来館

† 筑波大学

‡ IBM 東京基礎研究所

§ IBM ヨークタウン基礎研究所

る方法と、音声のみで方向を指示する方法の2つが用いられていること、4. 学習者の視覚機能（先天性か後天性か、残存視力の有無）や年齢・知識・性格に応じて、言語や説明方法を調整していることが明らかになった。

3 研究2: テクニカルプローブの開発

2章で明らかになった知見を基に、触覚モデルと音声ガイドの統合が学習支援に与える影響を探るため、研究2ではテクノロジープローブを開発した。

3.1 複雑な科学的テーマに関する複数の触覚モデル

「地震と津波のメカニズム」(図1(a))と「はやぶさ2の旅」(図1(b))の2テーマを選び、各テーマを3つの関連する触覚モデルで構成した。

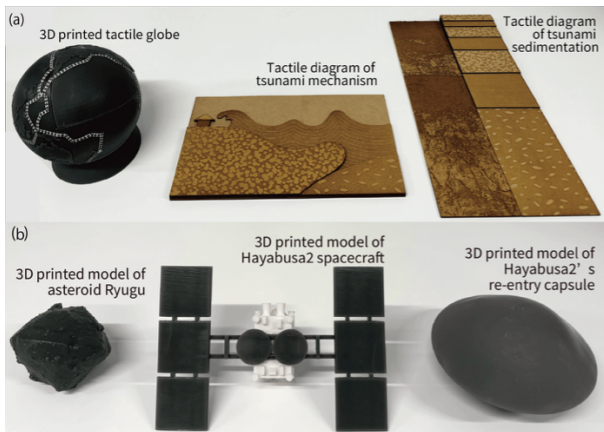


図1. 実験で使用した複数の触覚モデル。(a) 地震と津波のメカニズムに関する3つのモデル。(b) はやぶさ2の旅に関する3つのモデル。

3.2 音声システム

事前に二つのテーマに関して録音された音声説明(OpenAI 音声合成 API 使用)とリアルタイム応答(GPT-4 と音声合成 API 使用)の音声システムを開発した。システムは2段階の適応型インタラクショナルフローに従い実施された。

1. 初期概要: 3つの触覚モデルを紹介し、参加者が「どのモデルから触り始めるか」を自由に決められるように簡単な説明を提供。
2. 2つの探索モード: 参加者は任意で切り替え可能。

- (a) 質問ベースの対話: 参加者がモデルを自由に触りながら質問をする。録音済み回答があれば即再生、なければ GPT-4 API で回答生成。

- (b) 物語的ナレーション: 全体概要から段階的に詳細をシステムが説明する事前スク립トナレーション。各ステップで一時停止し、参加者が「次へ」と言うことで自分のペースで進行。

- (c) オプション) 方向ガイダンス: システムが「少し左」などの方向指示を出し、説明に対しモデルの正しい位置に触れられるよう支援。

4 テクニカルプローブを用いた探索実験

3章で説明した複数の触覚モデルと音声システムを用い10名の視覚障害者(弱視4名、全盲6名)を対象に実験を実施した。初期概要後に探索モードを選択できる仕組みにより、多くの参加者は物語的ナレーションを選び、段階的な説明に沿って触覚探索を行った。参加者は「次へ」や「詳しく」などの指示でナレーションを能動的に操作し、自分の理解に応じた探索が可能であることが示された。

また、参加者全員が触覚対象の位置が分からない場合にガイド機能を使用した。しかし、3Dモデル上での指示は理解が難しく、過剰操作や誤った方向への移動が生じた。ガイド機能は支援として有効である一方で、指の位置を自動検出するカメラシステムなどの技術的支援が必要であることが示された。さらに、参加者は複数の触覚モデルを通じて各モデルの理解だけでなく、モデル間の関係も把握し、新たな疑問を生み出した。複数モデルを組み合わせることで科学概念の構造的理解と自主的な学習意欲の向上が促進される一方で、モデルの順序や関係性、スケールや視点の提示方法に工夫が必要であることが示された。

5 「Touch and Talk」システムに向けた6つのデザイン指針

4章での実験結果に基づき、将来の「Touch and Talk」システムに有効な6つの設計手法を提案する。

1. 指先装着型カメラによる位置認識
2. インタラクティブ探索支援モード
3. クイズや振り返りによる好奇心喚起
4. 操作方向を伝えるマルチモーダルフィードバック
5. 視覚機能や知識レベルに応じた適応的ガイダンス
6. モデル操作手順の明確な音声ガイダンス

謝辞

本研究の実施にあたり、実験に参加してくださった皆様および査読者の方々に深く感謝する。

参考文献

- [1] M. Heller, E. Gentaz. Psychology of Touch and Blindness. *Psychology Press*, pp. 296, 2013.
- [2] D. Goldreich and I. Kanics. Tactile Acuity is Enhanced in Blindness. *Journal of Neuroscience*, pp. 3439–3445, 2003.
- [3] B. Röder, M. Wallace, A. Amedi, N. Raz, H. Azulay, R. Malach, and E. Zohary. Cortical Activity During Tactile Exploration of Objects in Blind and Sighted Humans. *Restorative Neurology and Neuroscience*, pp. 143–156, 2010.
- [4] S. Kane, J. Bigham, and J. Wobbrock. Slide rule: making mobile touch screens accessible to blind people using multi-touch interaction techniques. In *Proceedings of the 10th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pp. 73–80, 2008.
- [5] J. Small, S. Darcy, and T. Packer. The embodied tourist experiences of people with vision impairment: Management implications beyond the visual gaze. *Tourism Management*, pp. 941–950, 2012.
- [6] J. Davis, T. Wu, B. Shi, H. Lu, A. Panotopoulou, E. Whiting, and X. Yang. TangibleCircuits: An Interactive 3D Printed Circuit Education Tool for People with Visual Impairments. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–13, 2020.
- [7] S. Reinders, S. Ananthanarayan, M. Butler, and K. Marriott. Designing conversational multimodal 3d printed models with people who are blind. In *Proceedings of the 2023 ACM Designing Interactive Systems Conference*, pp. 2172–2188, 2023.
- [8] F. Li, L. Zhang, M. Bandukda, A. Stangl, K. Shinohara, L. Findlater, and P. Carrington. Understanding Visual Arts Experiences of Blind People. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–21, 2023.
- [9] T. Götzelmann. LucentMaps: 3D Printed Audio-visual Tactile Maps for Blind and Visually Impaired People. In *Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pp. 81–90, 2016.
- [10] L. Shi, Y. Zhao, and S. Azenkot. Designing Interactions for 3D Printed Models with Blind People. In *Proceedings of the 19th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pp. 200–209., 2017.
- [11] L. Shi, H. Lawson, Z. Zhang, and S. Azenkot. 2019. Designing Inter-active 3D Printed Models with Teachers of the Visually Impaired. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–14, 2019.
- [12] S. Reinders, M. Butler, and K. Marriott. ”Hey Model!” – Natural User Interactions and Agency in Accessible Interactive 3D Models. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–13, 2020.