

立体ディスプレイを用いた 雪像点群探索システムの開発と点群データ遷移手法の検討

青木 鞠乃¹ 伊藤 正彦^{1,a)}

概要: 本研究では、さっぽろ雪まつりにて展示された雪像作品の鑑賞体験を、他者に共有するためのシステムを提案する。実物の保存が困難な雪像作品を点群データとして記録し、立体ディスプレイ「Looking Glass」を用いて、詳細な体験の共有を可能にする。本システムはレイヤー構造を持つ探索空間を構築し、雪像作品一覧、個別の雪像作品、雪像作品の制作過程を鑑賞することができる。また、鑑賞体験の質を向上させるため、データ遷移の用途に応じて、複数の遷移パターンを実装した。これらを利用した評価実験を通じて、点群データの遷移におけるアニメーション利用の有用性を確認できた。

1. はじめに

さっぽろ雪まつり^{*1}では、札幌市内の複数の会場にて、毎年多くの雪像作品が展示される。特に大通会場では、大規模な大雪像をはじめ、市民による雪像や世界各地の国、地域、都市が制作する国際雪像コンクール作品など、多様な作品が展示される。

これらの雪像作品はイベント終了後に全て解体され、実物の保存が行われないため、後に作品を鑑賞することはできない。このような作品保存が行われないイベントにおいて、自身の作品鑑賞体験や感想をイベントに参加していない他者へ伝える方法は、会話か写真や動画などの二次元記録を用いた方法に限られる。このことから、自身の作品鑑賞体験や感想を他者に向けて的確に共有することは困難である。

本研究では、過去の雪像作品の鑑賞体験を他者へ共有可能にするシステムを提案する(図1)。本システムは、雪像作品の点群データを基に探索空間を構築し、会場や作品、さらにその制作過程を探索できる機能を提供する。ユーザーはシステムの操作を通じて、相手に探索状況や鑑賞視点を示すことで、自身の作品に対する観点や心情を伝える。この体験によって、鑑賞者は、ユーザーの体験に対して共感を持ちやすくなる。結果として、鑑賞体験の共有が実現すると考えた。また、本システムを裸眼で立体視可能な立体ディスプレイ「Looking Glass」で実装を行うことで、写真や動画などの二次元記録のみでは補うことができない視覚情報を

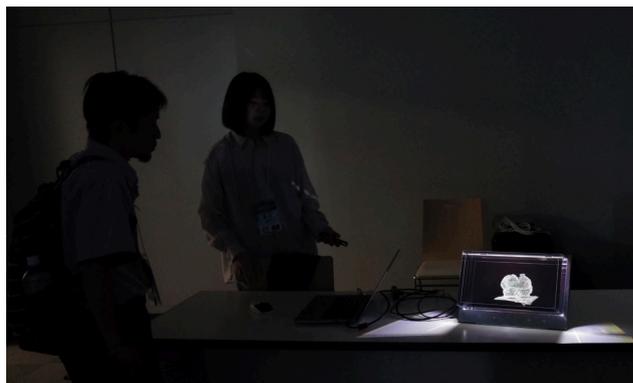


図1 提案システムを使用した鑑賞の様子

を提供し、鑑賞者に向けてより詳細な体験を提示する。

2. 関連研究

立体ディスプレイ上で点群データを探索しながら展示する仕組みの研究は、著者らの知る限り存在しない。しかし、立体視を行うことができるデバイスを利用した先行研究は数多く存在する。Lazzarottoら[1]は、点群データの表示において、立体視ディスプレイを用いることで、平面ディスプレイを用いる場合に比べて高い没入感を得られることを示した。

星ら[2]は、底面にタッチパネルを用いた卓上空像光学系を制作し、それを用いたインタラクションシステムの提案を行った。[2]では、コンテンツの選択、空中像の回転、照明の位置移動による環境制御の3種類のインタラクション操作を用いて、空中像の見せ方に工夫を加えていた。本研究では、システム操作者と鑑賞者が異なるため、鑑賞者の要望に対応した操作手法は現時点では考慮していない。

¹ 北海道情報大学

^{a)} imash@do-johodai.ac.jp

^{*1} <https://www.snowfes.com/>

システム操作者が作品へ詳細な感想を述べる際に [2] のようなインタラクション操作が可能であれば、より共有がしやすくなるのではないかと考えた。

作品の展示にディスプレイなどの表示デバイスを用いる先行事例は少なくない [3] [4] [5]。加えて、様々な方式の立体ディスプレイも開発され、普及しつつある [6] [7]。このことから、今後、立体ディスプレイを用いた作品の展示も一般的になると考えている。

3. 実装環境・使用データ

本システムの実装には、Unity を使用する。また、立体ディスプレイは、Looking Glass 15.6” (Gen1)*2 を使用する。

雪像作品の点群データは、2024 年に開催された第 74 回 さっぽろ雪まつりのものを用いる。スマートフォンなどの写真を記録できる媒体で雪像作品一基を様々な角度から撮影を行い、撮影した写真と Luma AI*3 を使用することで、点群データを作成した。その中でも、大通 11 丁目に展示された国際雪像コンクール作品の点群データは、約 5 日間の制作過程データを所有しており (図 2)、時系列データとして扱えるようにしている。



図 2 雪像作品の時系列データ例

4. 提案システム

本研究では、雪像作品の点群データを用いて探索空間を作成する。探索空間はレイヤー構造で構成されており、展示会場や雪像作品、雪像作品の制作過程など、選択した雪像作品を下層に移動することで詳細に表示できる構造となっている。(図 3)

また、著者らは、先行研究にて本提案システムの仕様検討を行った [8]。本研究では、検討を行った仕様の実装と、鑑賞体験の幅を広げる操作機能の検討および実装を行った。これらを含めた提案システムの詳細を以下に述べる。

4.1 探索空間の構成

探索空間では、主に上下左右の矢印キー操作にて点群データの移動や決定を行う。左右操作は同一レイヤー内で

*2 <https://lookingglassfactory.com/>
Looking Glass の付属プラグインである Looking Glass Unity Plugin と Looking Glass Bridge を使用して、Unity と接続する

*3 <https://lumalabs.ai/dream-machine>

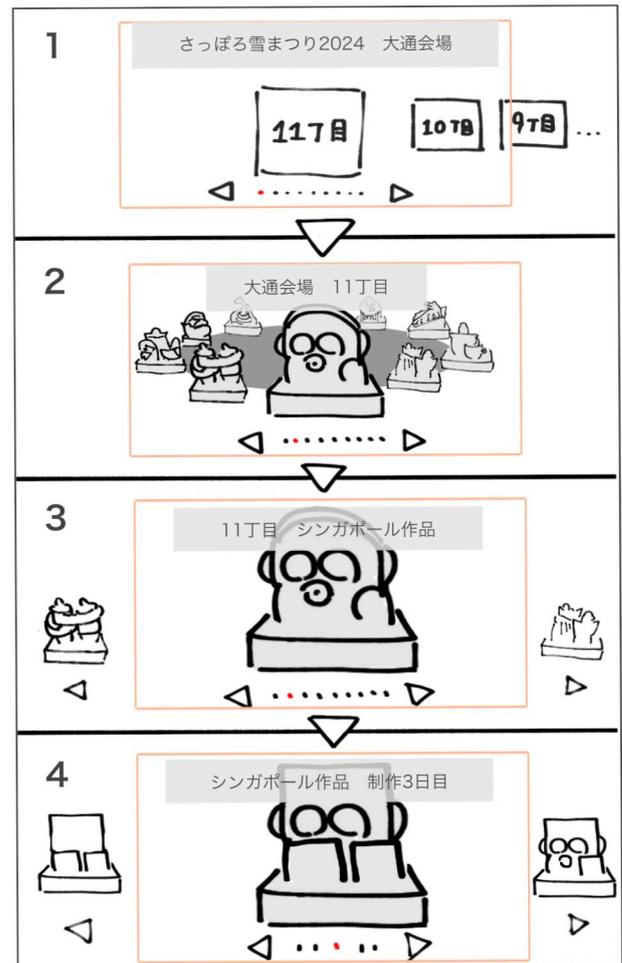


図 3 システム構成図

の探索に使用し、上下操作は雪像作品の選択やレイヤーの移動、一つ前のレイヤーへの戻りに使用する。図 3 を基に、探索空間における各レイヤーの役割を以下に示す。

レイヤー 1: 展示会場の選択 (大通会場)

雪像作品の展示された大通 3 丁目から大通 11 丁目までの会場を選択するレイヤー。左右操作で展示会場を選択することを想定している。

レイヤー 2: 展示会場の雪像作品一覧

レイヤー 1 で選択した展示会場に展示されている雪像作品を円状に一覧表示するレイヤー。雪像作品を円状に配置した点群データを作成し、表示する。左右操作で正面に表示される雪像作品を切り替える。

レイヤー 3: 雪像作品一基の表示

レイヤー 2 で選択した雪像作品一基の点群データを表示するレイヤー。左右操作による雪像作品の表示順序は、2 と同じ順序となる。

レイヤー 4: 雪像作品の製作過程

レイヤー 3 で選択した雪像作品*4の制作過程を点群データで表示する。左右操作で時系列順の表示を切り替える。

*4 11 丁目国際雪像コンクール作品のみ

また、本システムの探索空間には、地図表示が存在しない。そのため、全てのレイヤーにおいて、システム内の現在地を文字情報として表示する実装を検討している。これにより、展示会場や作品の情報を把握し、探索空間の位置関係を理解できる環境を提供する。

4.2 操作

本システムの操作は、雪像作品を見せ、体験を共有するユーザのみがマウスや PC キーボードを使用して行う。操作内容は以下の二つに大分される。

- (a) **表示データを動かす：** レイヤー 3, 4 ではマウスによるドラッグ操作やマウスホイール操作が可能である。ドラッグ操作では、表示中の点群データを回転させ、様々な角度から鑑賞することができる。また、マウスホイール操作を用いて、表示データの拡大・縮小操作を行うことができる。
- (b) **表示データの遷移：** PC キーボードの上下左右の矢印キーを用いて、表示データの変更や遷移を行うことができる。詳細は 4.3 節にて述べる。

4.3 点群データの遷移

表示点群データ間の遷移は、左右操作による雪像作品の切り替えや上下操作によるレイヤー移動の際に行われる。これは実際の雪像作品鑑賞にはない要素であり、探索空間の移動を認識しやすくすることを目的とする。そこで、遷移する点群データの種類に応じて、以下の 3 つのパターンを用意した。4.1 節と図 3 を基にパターンとその仕様を以下に示す。

- (A) **レイヤー 2 とレイヤー 3 の間の遷移：** レイヤー 2 で雪像作品一覧を構成する点群データと、選択した一基の雪像作品の点群データの間で遷移を行う。レイヤー 2 からレイヤー 3 への遷移では、選択した雪像作品一基のみの表示に変化する。逆に、レイヤー 3 からレイヤー 2 への遷移では、雪像作品一基の表示から、順序が隣接する雪像作品が加わった一覧表示へと変化する。
- (B) **レイヤー 3 にて別の雪像作品へ遷移：** 一基表示の雪像作品を左右操作で切り替える際、現在表示されている点群データが次の順序の点群データへ遷移する。この順序は、レイヤー 2 の一覧表示で隣接する順序と一致している。レイヤー 3 では実際の雪像作品鑑賞のように、雪像作品を一基ずつ移動しながら鑑賞できるため、本遷移によって探索空間内での移動表現を提示する。
- (C) **レイヤー 4 にて雪像作品の制作過程の時系列遷移：** 雪像作品の制作過程を構成する点群データを左右操作で切り替えた際、現在の点群データが次の時系列の点群データへ遷移する。(B) と同様に一基表示の形式

だが、時系列の変化や制作過程の進行を伝える遷移として、(B) との差別化を図っている。

また、点群データを変化させない遷移としてレイヤー 2 での雪像作品選択時における遷移がある。この遷移では、円状に配置された雪像作品一覧表示の中で、表示を行うカメラを移動させることによって、雪像作品の選択操作を実現している。

5. 評価実験

Heer ら [9] は、統計データグラフィック間のアニメーション遷移の有効性を示している。本研究で使用するデータは点群データであり、[9] にて検討されたデータとは異なるが、アニメーション遷移を活用することで、探索空間内での移動に実感を持たせたり、雪像作品の変化を点群データで効果的に表現することが可能ではないかと考えた。

本研究では点群データの遷移を複数の用途で利用するため、それぞれの用途に適した点群データの遷移方法が必要であると考えられる。そこで、4.3 節 (B) (C) において複数の遷移パターンを用意し、評価実験を行った。以下に、図 4 および図 5 における遷移パターンを示す。

異なる雪像作品へ遷移 (図 4)

B-1 アニメーション

右矢印キーで操作した場合は、遷移前の点群データが左に捌け、遷移後の点群データが右から現れる。対照的に、左矢印キーで操作した場合は、遷移前の点群データが右に捌け、遷移後の点群データが左から現れる。

B-2 アニメーションなし

点群データが予備動作なしに切り替わる。

B-3 ランダムアニメーション

遷移前後の点群データでランダムに対応点が取られ、遷移前の点群データが遷移後の点群データに向けて移動していく。

制作過程の時系列遷移 (図 5)

C-1 アニメーション

遷移前の点群データにおいて、座標が高い位置の点から遷移後の点群データへ徐々に置き換えられる。

C-2 アニメーションなし

点群データが予備動作なしに切り替わる。

C-3 ランダムアニメーション

遷移前後の点群データでランダムに対応点が取られ、遷移前の点群データが遷移後の点群データに向けて移動していく。

5.1 実験手法

システムの操作を著者らが行った。異なる雪像作品へ遷移においては、表示する雪像作品の順序を固定せず、左右操作を 5 回行い遷移を実施した。一方、制作過程の時系列遷移では、図 2 に示す時系列データを使用し、完成形から

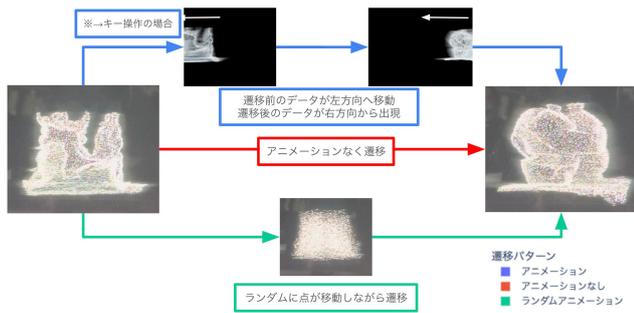


図 4 異なる雪像作品へ遷移

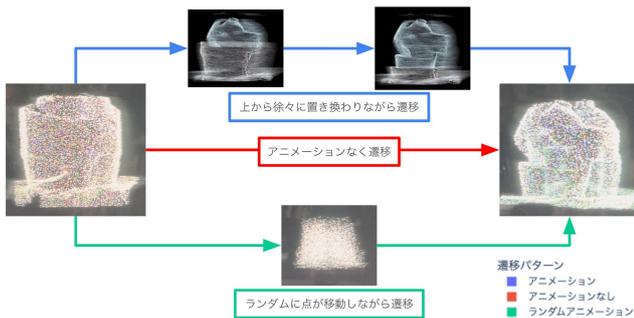


図 5 制作過程の時系列遷移

順に過去の状態へ遡る順序で遷移操作を行った。被験者として 20-22 歳の男子大学生 10 名に協力をお願いし、2 名ずつ立体ディスプレイの前に着席してもらい、各遷移パターンの鑑賞をしてもらった。その際、遷移パターンの順序による評価への影響を防ぐため、各組に対して異なる順序で遷移パターンを操作した。評価手法にはリッカード尺度を採用し、5 段階評価の設問を 4 項目、各項目に対する評価理由を自由記述形式で記入してもらった (図 6)。

5.2 実験手順

実験は異なる雪像作品へ遷移、制作過程の時系列遷移の順で行った。具体的な実験手順は以下の通りである。

- (1) 被験者に対し、評価実験の概要を説明する
- (2) 異なる雪像作品への遷移において、1 つの遷移パターンを 5 回左右操作し、遷移を鑑賞してもらう
- (3) 鑑賞した遷移パターンについて図 6 に示す評価項目を回答してもらう
- (4) (2) および (3) の手順を、異なる雪像作品への遷移における 3 つのパターン全てについて繰り返す
- (5) (2) - (4) の手順を、制作過程の時系列遷移における 3 つのパターンについても同様に繰り返す
- (6) 被験者に自由記述形式で感想を記入してもらう

5.3 仮説

本評価実験に対する仮説を以下のように立てた。

まず、異なる雪像作品へ遷移では、B-1 が最も高く評価されると考える。これは、ランダムに点が動くアニメーション

異なる雪像作品へ遷移

- 設問 1 雪像作品が隣の作品へ切り替わっているように感じましたか
 設問 2 雪像作品の遷移に違和感を感じましたか
 設問 3 雪像作品の遷移にかかる時間は長いですか
 設問 4 この遷移手法は好みですか

制作過程の時系列遷移

- 設問 1 雪像作品の遷移によって制作過程の時間変化を感じられましたか
 設問 2 雪像作品の遷移に違和感を感じましたか
 設問 3 雪像作品の遷移にかかる時間は長いですか
 設問 4 この遷移手法は好みですか

図 6 5 段階評価の設問

ンとアニメーションなしと比較して、作品が横方向へ座標移動することで異なる作品への移動感覚が視覚的に強調され、作品の切り替わりをより明確に提示できるためである。

一方、制作過程の時系列遷移では、C-2 が最も高く評価されると予想する。その理由として、他の 2 つ遷移パターンのは、遷移に時間を要することが挙げられる。次の点群データの表示まで時間が空いてしまうことは、遷移前後の概形比較には適しておらず、さらに遷移中に退屈さを感じさせる可能性があると考えたためである。

6. 実験結果と考察

6.1 実験結果

異なる雪像作品へ遷移についての評価結果を図 7、制作過程の時系列遷移についての評価結果を図 8 に示す。また、遷移パターンの色は図 4 および図 5 で示した色と同様であり、5 節で示した遷移パターンを基に評価結果を述べる。

なお、設問 2、設問 3 はネガティブな問いを用いたため、設問 1 及び設問 4 に合わせて評価結果をポジティブに加工した。これにより、設問 2 および設問 3 の結果は、評価が高いほど被験者がネガティブな要素を感じなかったことを示している。

異なる雪像作品へ遷移 (図 7)

設問 1 では B-1 が最も高い評価を得た。理由として、「順番に見ている」「隣へ移動している」といった感覚が伝わるとの意見が多く、他の 2 つの遷移パターンと比較して隣接感が伝わりやすいことが評価の差を生んだと考えられる。

設問 2 では、いずれの遷移パターンについても「違和感はない」「特に問題はない」という意見が多数を占めた。ただし、B-2 に対して一部の被験者から、遷移前後の点群データのズレを指摘する意見があった。遷移に動きがないため、データのズレがより大きな影響を及ぼした可能性がある。

設問 3 では、B-2 が最も高い評価を得た。一方で、「遷移速度が早すぎる」と感じた被験者も一定数いた。また、B-1 では「いなくなってから登場するまでの間が長すぎる」との意見が多く見られ、遷移速度の調整が課題として挙げられる。

異なる雪像作品へ遷移 評価結果

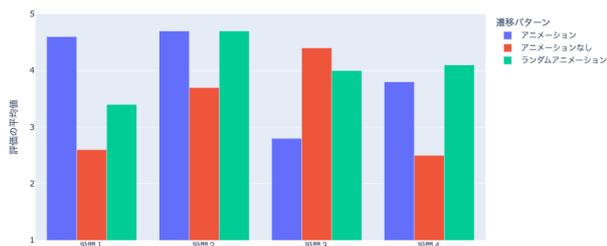


図 7 異なる雪像作品へ遷移 評価結果

なお、設問 2、設問 3 はネガティブな問いを用いたため、他の設問に合わせて評価結果をポジティブに加工した

制作過程の時系列遷移 評価結果

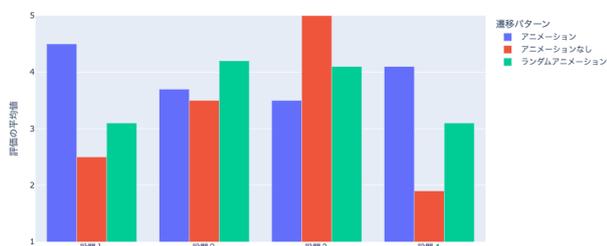


図 8 制作過程の時系列遷移 評価結果

なお、設問 2、設問 3 はネガティブな問いを用いたため、他の設問に合わせて評価結果をポジティブに加工した

設問 4 では、B-3 が最も高く評価された。その理由として、遷移変化を視覚的に認識しやすい点や無駄な遷移時間を感じにくい点が挙げられた。

制作過程の時系列遷移 (図 8)

設問 1 では、C-1 が、3 つの遷移パターンの中で最も制作過程の時間変化を感じられるという意見が多かった。対照的に、C-3 は連続性を感じにくいという意見が多く、また、C-2 では「一つ一つの画像を切り替えているだけに感じた」という感想が見られた。

設問 2 では、いずれの遷移パターンにおいても、遷移前後の点群データの大きさやズレが大きく影響を与えていることがわかった。雪像作品の時系列変化を鑑賞する目的であるため、概形の大きな変化が違和感を引き起こす原因になったと考えられる。

設問 3 は、異なる雪像作品へ遷移と同様に C-2 が最も高い評価を得た。C-1 で遷移時間が長く感じた被験者からは、「徐々に変化するため、その分時間が長く感じられた」という感想が見られた。

最後に、設問 4 では、C-1 が評価された。この遷移パターンは、制作過程の時間変化を感じられる点が大きく評価されたのではないかと考えられる。

6.2 考察

本評価実験によって、アニメーションを使用した遷移が本研究のデータ遷移において優位であることが示された。一方で、遷移前後の点群データの大きさやズレが評価へ影響を与えていたこともわかった。雪像作品の時系列変化を鑑賞するという目的において、該当箇所の修正は早急に対応すべき課題であると言える。また、制作過程の時系列遷移において、被験者から雪像作品が完成に向けて変化していく順序で制作過程を見せた方が、雪像作品の変化が分かりやすいという意見が挙げられた。4.1 節レイヤー 3 およびレイヤー 4 の表示の繋がりを考慮しつつ、システム構成の改善を検討したい。

7. おわりに

本研究では、さっぽろ雪まつりに展示される雪像作品の鑑賞体験を共有するシステムを構築し、その詳細構造について述べた。評価実験では、異なる雪像作品や制作過程の遷移におけるアニメーションの効果を検証し、立体ディスプレイを使用した点群データの遷移において、有用性を確認することができた。

今後の課題として、システムの一部構成に対する再検討、点群データのサイズや位置の一律化および他の会場に展示されていた雪像作品の鑑賞が可能となるようなシステム拡張などが挙げられる。加えて、雪像作品のテーマによるカテゴリズなど実際の展示場所に捉われない探索空間の構築や、鑑賞者も表示された雪像作品の点群データを操作することができるシステムへの拡張 [10] を検討している。

参考文献

- [1] D. Lazzarotto, M. Testolina, and T. Ebrahimi. On the impact of spatial rendering on point cloud subjective visual quality assessment. In *Quality of Multimedia Experience*, 2022.
- [2] 星彩水, 巻口誉宗, 佐野文香, 千明裕, 望月崇由. タッチパネル上に直立空中像を表示する光学系とそのインタラクションの初期検討. 情報処理学会 インタラクション 2024, 2024.
- [3] 牧野真緒, 安藤広志, 奥井誠人, 井ノ上直己. 公共の場における超多視点裸眼立体映像ディスプレイの応用: デジタルミュージアムメディアとしての検討. 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 39, No. 25, 2015.
- [4] 市野順子, 磯田和生, 花井綾子, 上田哲也. 博物館・美術館におけるディスプレイ角度がユーザーの認知・行動・感情に与える影響. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 112, No. 420, 2013.
- [5] Beth Altringer Eagle and Elisabeth Sylvan. Cultivating climate action through multi-institutional collaboration: Innovative data visualization educational programs and exhibits for public engagement. In *In IEEE VIS 2024 Workshop on Visualization for Climate Action and Sustainability*, 2024.
- [6] Sony Marketing Inc. Elf-sr2 — 空間再現ディスプレイ (spatial reality display) — ソニー. <https://www.sony.jp/spatial-reality-display/>

- products/ELF-SR2/(参照 2024-12-20).
- [7] Sony Group Corporation. ソニーグループポータル — ramp;d activities — 透明スクリーンディスプレイ. https://www.sony.com/ja/SonyInfo/research/technologies/transparent_display/(参照 2024-12-20).
 - [8] 青木鞠乃, 伊藤正彦. 立体ディスプレイを用いた雪像点群探索システムの開発と提案. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム (EC2024), 2024.
 - [9] Jeffrey Heer and George G. Robertson. Animated transitions in statistical data graphics. *IEEE TVCG*, Vol. 13, No. 6, 2007.
 - [10] 橋場大晟, 伊藤正彦. 立体ディスプレイとタブレット pc を用いた 3 次元可視化の遠隔操作手法の提案. 情報処理北海道シンポジウム 2024, 2024.