

視点エントロピーによる雪像点群に対する 最適視点の抽出と評価

田島 優太¹ 伊藤 正彦^{1,a)}

概要: 3次元点群データは面構造を持たないため、複雑な構造を持つ対象物において形状認識を容易にする視点の選定は、鑑賞や情報伝達において重要な課題となる。本研究では、情報理論に基づく視点エントロピーを点群データへ適応させるため、従来の面の面積に代わり、奥行き方向の情報量を指標とした雪像の点群データから最適視点を自動で抽出することを目指し、実際に人間にとって理想的な視点を選ぶことができるのかを検証してみる。

1. はじめに

VR や 3DCG の普及に伴い、立体造形物をデジタルデータとして閲覧・活用する機会が増加している。こうしたデータの提示において、観測視点の選択は得られる情報量や対象の印象を大きく左右する。この課題は、点群データにおいても同様である。点群データは面構造を持たないため、視点によっては物体の重なりや奥行き感が消失しやすく、形状を正確に把握できる「最適視点」の選定は、点群特有の視認性問題を解決する上で重要な要素となる。例えば、図 1 に示す雪像の点群データを比較した場合、(b) や (c) のような真上や後ろからの視点では対象の立体的な構造を捉えることが困難であるが、(a) のように特徴的な部位がバランスよく含まれる視点では、形状認識が容易となる。このように、立体物の特徴を効果的に提示できる「最適視点」を選定することは、3D データを適切に鑑賞・活用する上で極めて重要である。

本研究では雪像の計測によって得られた膨大な点群データを対象とし、これらの最適視点の抽出を目指す。ここでいう最適視点というのは雪像の点群データから得られる情報が、設定された特定の目的に対して最も効果的・効率的に伝わるような視点と定義する。この「目的」とは、雪像の全体的な形状や構造をバランス良く把握すること、あるいは雪像の特定の芸術的側面や詳細な特徴を強調することなど、多岐にわたる可能性がある。そこで最適視点を選択するための評価基準として視点エントロピーという指標を用いる。

本研究では、雪像の点群データを可視化し、奥行き方向の情報量に基づき算出した視点エントロピーをランキング形

式で提示・比較できる検証システムを構築した。このシステムを用いることで、計算機によって抽出された最適視点だが、人間にとっても良い視点として認識されるかを評価実験を通じて検証する。

2. 関連研究

Vazquez ら [1] は良好な視点を自動的に計算、選択する新しい尺度として新たに「視点エントロピー」を提案した。視点エントロピーとは、情報理論におけるシャノンエントロピーの概念を応用した尺度である。これは物体を特定の視点から見た際、その視点から得られる情報がどれだけ「多様で、バランスが取れていて、予測しにくい」かを数値化した手法である。エントロピーの値が高いほど、情報が均等に分散され、全体像を把握できる視点であると判断できる。具体的な計算方法を以下に述べる。

$$I(S, p) = - \sum_{i=0}^{N_f} \frac{A_i}{A_t} \log \frac{A_i}{A_t}, \quad (1)$$

ここで、 S は対象を観測する特定の視点、 p はその視点において観測される各面の出現確率の分布を表す。 N_f はモデルを構成する面の総数、 A_i はある視点 S から見た際の第 i 番目の面の投影面積を示す。また、 A_t は視界内の全投影面積の合計である。投影面積の割合 $\frac{A_i}{A_t}$ を出現確率と見なすことで、特定の視点から得られる情報の多様性を数値化している。エントロピーの値が高いほど、各面がバランス良く表示されており、全体像を把握しやすい視点であると判断される。

Takahashi ら [2] は、中身のあるボリュームの最適な視点選択方法を提案している。彼らの手法は、ボリュームを複数の「特徴部分」（インターバルボリューム）に分解し、そ

¹ 北海道情報大学

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

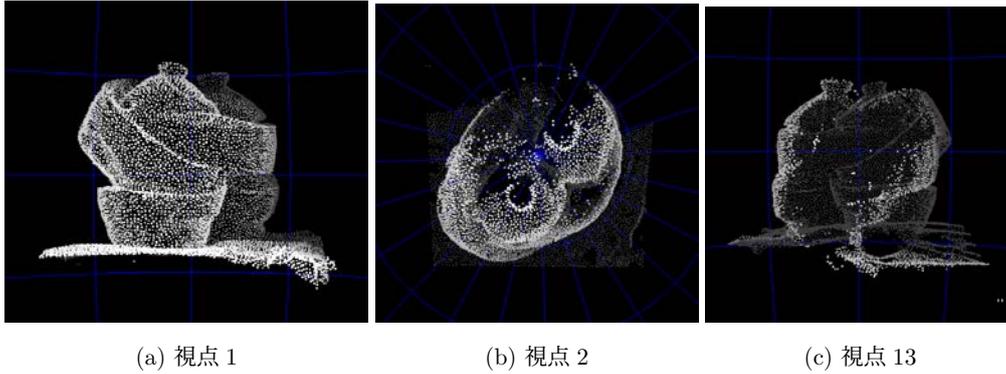


図 1: 視点による見え方の比較

れぞれの特徴がよく見える視点を組み合わせることで、ボリューム全体が最もよく見える視点を見つけることを目的としている。また、ユーザーが不透明度設定で特定の内部構造や特徴に重み付けを行い、特徴同士が重ならないように相対位置を考慮することで、それらを際立たせた最適な視点を自動で見つけることを可能にしている。

これに対し、本研究は面構造や内部情報を持たない離散的な「点群データ」を対象とし、点の奥行き情報の分布を指標に用いる点で既存手法とは異なる。

3. 提案手法と評価システム

3.1 データについて

本手法の解析対象として、2024年に開催されたさっぽろ雪まつりの2024国際雪像コンクール雪像 [3] にて計測・点群化した雪像データを用いる。雪像を様々な角度から撮影を行い、撮影した写真と LumaAI^{*1}を使用し、点群データを作成した。

3.2 奥行き方向の情報量に基づく視点評価の導入

従来の視点エントロピーは立体モデルの面情報を基に算出されていたが、本研究で扱う雪像の点群データには面構造が存在しない。そこで本手法では、面に代わる評価指標として、カメラから見た「各点の奥行き方向の情報量」に着目した。点群において、手前の面のみが映り奥行きの変化が乏しい視点は形状が平坦化して認識されるのに対し、奥行き方向の構造を10段階で捉え、それらをまんべんなく含む視点は、対象の持つ凹凸や空間的な構造を豊富に含んでいる。この奥行き方向の情報量を解析し、評価値が高い視点を「最適視点」と定義することで、面情報に依存しない点群特有の視点評価を実現し、その空間的な広がりや多様性を統計的に解析することで視点の良否を判定する。

また、客観的な視点評価を行うために、雪像を中心に仮想的な球体を設定する。この球面をカメラの移動軌跡と見なし、緯度と経度を一定間隔で分割することで、合計290箇

所の視点候補を等間隔に配置した。雪像の台座や地面側など、鑑賞に適さない視点を除外した全145視点を評価対象とした。これら全ての視点において算出された視点エントロピーの値を基にランキング化を行い、評価値が最も高い視点を「最適視点」とする。

3.3 視点探索空間の設定と検証機能

本研究の実装には、Webブラウザ上で動作する3DグラフィックスライブラリであるThree.jsを使用した。本研究で開発した可視化システム図2は(a)点群表示エリア及びシステムの全体像、(b)操作パネル、(c)視点情報表示の3つの要素で構成している。開発したシステム図2(b)には以下の機能を搭載している。

- Mouse Control: マウス操作によって任意方向から点群を観察し、システムによる評価値と実際の視覚的な印象を対照させる機能。
- Camera Viewpoint: 現在選択されているカメラの座標や回転情報を表示し、視点の位置関係を把握する機能。
- Select Rank: 全145視点を任意の順位の視点を選択できる機能。
- Switch Interval(s): 視点を自動で切り替える際の秒数間隔を設定する機能
- Auto Switch: Switch Interval(s)の起動
- Best Viewpoint: 最も評価の高い「最適視点」へ瞬時にカメラを移動させる機能。

また、視点情報表示図2(c)では評価結果をリアルタイムで提示する。

- Entropy: 現在表示している視点の視点エントロピーの値。
- Rank: 現在表示している視点の順位。

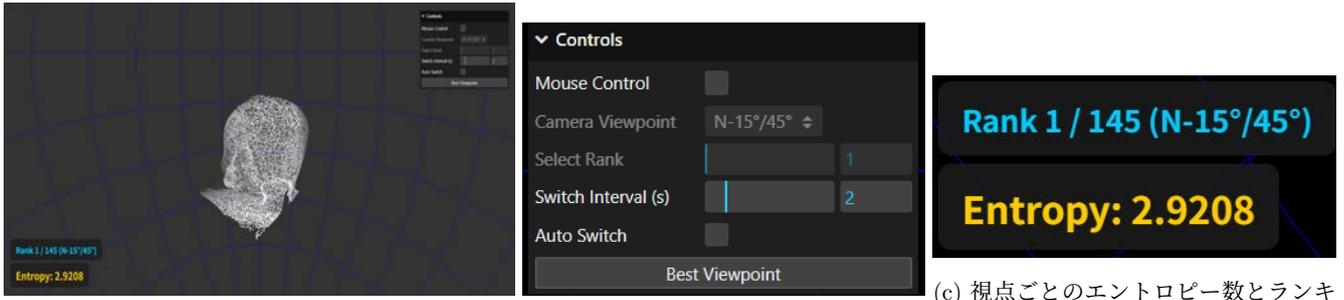
これにより、提案手法の有効性を効率的に検証できる環境を整えた。

3.3.1 操作事例

図3及び図4は実際に雪像点群データに対し、視点エントロピーを活用して評価を出したものである。

図3の視点エントロピーの値の最大値は2.9208となっ

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



(a) システムの全体像

(b) 操作パネル

(c) 視点ごとのエントロピー数とランキング

図 2: 提案システムの全体像と各機能

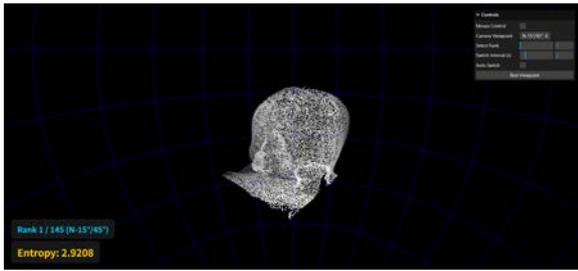


図 3: 雪像点群の最適視点

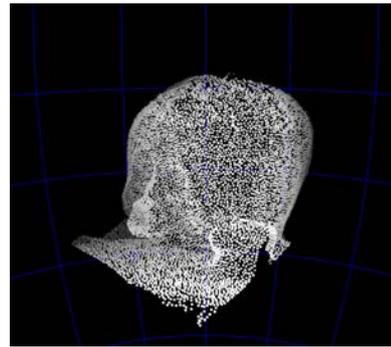


図 5: M_1 の雪像点群

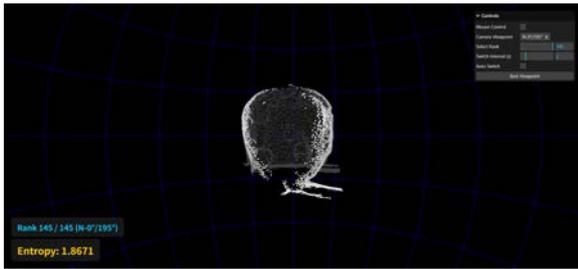


図 4: 雪像点群の最低評価視点

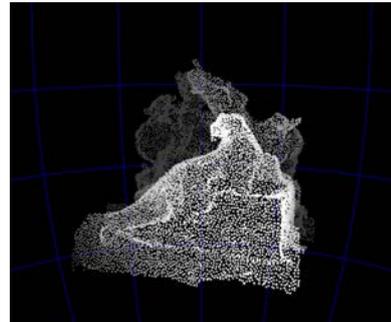


図 6: M_2 の雪像点群

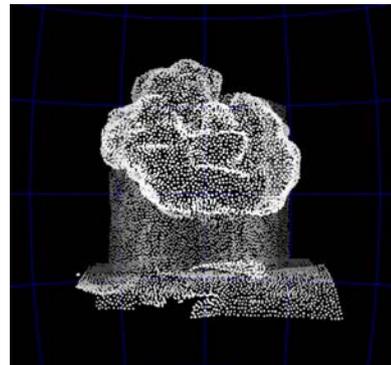


図 7: M_3 の雪像点群

た. この視点は雪像の主要な部分が捉えつつ, 斜め方向から見ることで立体的な奥行きをバランス良く見ることができる. この結果から提案手法である距離による視点エントロピーの評価は, 雪像の立体情報を最もバランスが良く, かつ情報量の多い視点を客観的に抽出することが可能であることを実証した.

図 4 の視点エントロピーの値の最低値は 1.8671 となった. この視点は雪像の主要な部分や奥行き情報が完全に失われており, 雪像自体の認識も難しい状態となっている.

3.4 視認性向上のための描画処理

点群の奥行き情報を視覚的に把握しやすくするため, 描画時に以下の処理を適用している.

- 色付け: 点が手前に来れば来るほど色が明るく, 奥に行けば行くほど色が暗くなるように, 距離に応じてグラデーションを適用する.
- 点サイズ: 点が手前に来れば来るほど表示サイズを大きくし, 奥に行けば行くほど表示サイズを小さくすることで, 奥行きによる遠近感を視覚的に把握できるよ

うにする.

4. ユーザー評価

本章では第 4 章の評価を受け, 提案手法により抽出された最適視点が, 人間の主観的評価においてどれだけ差異が

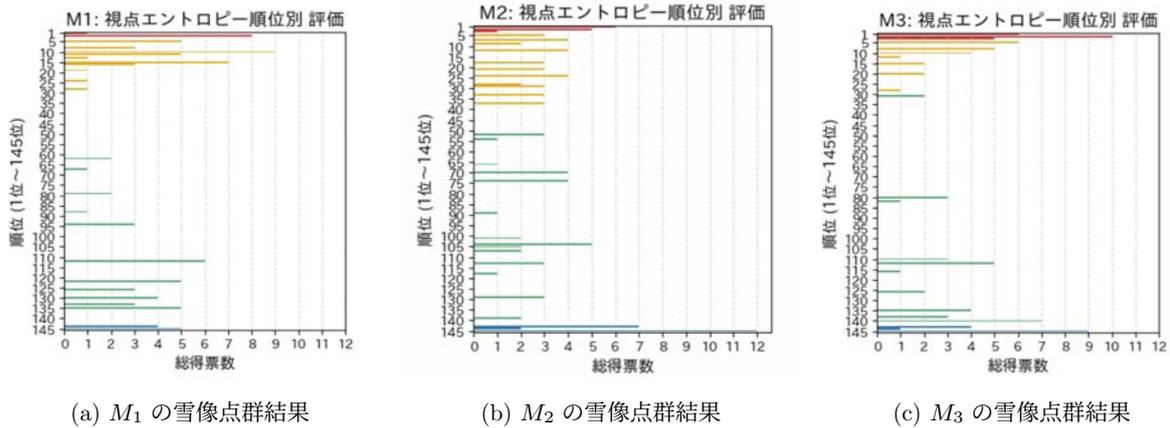


図 8: 各モデルの視点エントロピー順位別評価

生じるのかを検証するため、大学生および大学教員を含む計 15 名でユーザー評価を実施した。

4.1 評価方法

評価には、図 5、図 6、図 7 に示す 3 種類の雪像点群モデル (M_1 , M_2 , M_3) を用いた。提案手法により抽出された値の上位 3 位と下位 3 位およびモデルの周囲からの視点が偏らないような視点を 34 視点用意し、合計 40 視点をモデルごとに用意した。

4.2 評価基準

ユーザーに対し、用意した 40 視点の中から主に「美しさ (雪像の造形や全体像が最も魅力的に見えるか)」および「分かりやすさ (雪像の構造や特徴が最も明確に把握できるか)」を評価基準として、それぞれ上位 3 視点と下位 3 視点を選択してもらい、順位付けを行うように求めた。

4.3 本研究とユーザー評価との比較

4.3.1 集計結果

提案手法による順位付けがユーザーの思う良好な視点とどの程度一致しているかを分析した。結果は図 8 の通りであり、それぞれのグラフごとによる色分けは以下の通りである。

- 赤色: 視点エントロピーの Top3.
- 青色: Worst3.
- オレンジ: Top3 以外で好ましいと思われた視点.
- 緑: Worst3 以外で好ましくないと思われた視点.

4.3.2 考察

図 8(a) では、上位 3 位のうち 3 位の視点、および下位 3 位の 143 位の視点において、ユーザーからの投票が見られなかった。上位層は、それぞれバラつきは少ないが、同じ視点に投票が集まったところを見ると、システム上の僅かな数値差による順位付けがユーザー評価には反映されにくいことが分かった。

図 8(b) では、他モデルと比較して中間順位での投票の分散が顕著に見られた。この理由として、 M_2 の形状は特徴部分が分散しており、視点エントロピーの数値的な差以上に、ユーザーごとの好みや注目する部位が分かれたことが推測される。そのため、特徴部分が分散されている視点群においては、個人の主観が評価に影響しやすい傾向があることが示唆された。

図 8(c) では、他のモデルと比較して上位 3 位の投票率が高く、全体の投票のバラつきが少ないため、システムによる評価と人間の感性が高い精度で合致した。

以上の M_1 から M_3 にわたる比較を通じて、好ましいと思われる視点の投票にバラつきが目立たないところを見ると、提案手法は万人に共通する「最適な視点」を特定する能力に長けている一方で、「不適切な視点」の選定においては好ましくない視点の投票にバラつきが目立つところを見ると、人間が感じる「見にくい」と感じる基準は情報量の欠如だけでは説明できない多様な要因が存在すると推察される。

5. おわりに

本研究では、面構造を持たない雪像の点群データを対象に、「奥行き方向の情報量」を指標とした新たな視点評価手法を提案し、その検証のための可視化システムを構築した。

実験の結果、提案手法により算出された高スコアな視点は、ユーザーの形状把握においても概ね高い評価を得ており、点群における最適視点抽出の有効性が確認された。一方で、特徴が全方位に分散するモデルにおいては、計算上の情報量と人間の主観的な「見やすさ」に乖離が生じるケースも見られ、数値指標のみでは補いきれない主観的要素の存在が明らかとなった。

今後は、計測環境に起因するデータ欠損の補完手法の導入や、人間の主観評価をより精密に反映した評価指標の改良が課題である。

参考文献

- [1] P. Vazquez, M. Feixas, M. Sbert, and W. Heidrich, “Viewpoint Selection using Viewpoint Entropy,” in Proceedings of the Vision Modeling and Visualization Conference 2001 (VMV-01), Stuttgart, Germany, November 21-23, 2001, 2001, pp. 273–280.
- [2] S. Takahashi, I. Fujishiro, Y. Takeshima, and T. Nishita, “A Feature-Driven Approach to Locating Optimal Viewpoints for Volume Visualization,” in Proc. VIS 2005, 2005, pp. 495–502.
- [3] さっぽろ雪まつり実行委員会: “国際雪像コンクール”, さっぽろ雪まつり公式サイト, <https://www.snowfes.com/about/international-snow-sculpture-contest/,2025/12/20>.