

空中結像技術を地域観光に取り入れた クリオネとの疑似触れ合い可能な装置の開発

Development of a Pseudo-Interaction System with Clione Using an Aerial Display for Regional Tourism

北見工業大学大学院工学研究科博士前期課程 尾崎 洋人
北見工業大学大学院工学研究科博士前期課程 森松 佑吏
北見工業大学大学院工学研究科博士後期課程 平塚 心太郎
北見工業大学 酒井 大輔

Graduate School of Engineering, Kitami Institute of Technology, Master's Program
Hiroto OZAKI

Yuri MORIMATSU

Graduate School of Engineering, Kitami Institute of Technology, Doctor's Program
Shintaro HIRATSUKA

Kitami Institute of Technology Daisuke SAKAI

Abstract

The tourism industry has significant ripple effects, such as boosting revenue and promoting population growth, making it indispensable to the regional economy. However, in the Sea of Okhotsk coastal region, where drift ice serves as a primary tourism resource, a decline in tourists during the off-season remains a significant challenge. This study sought to develop a pseudo-interaction system featuring the distinctive local organism known as a Clione, thereby contributing to the revitalization of regional tourism. An image of a live Clione was exhibited using an aerial display. The pseudo-interaction system was developed using an infrared camera, a microcomputer, and water flow pumps. We exhibited the system and conducted a questionnaire survey, in which over 90% of participants reported a positive impression regarding both the visibility of the aerial Clione image and the interaction system as a means of attracting tourists. These results support a contribution that the proposed system can make by generating new tourism content for the Okhotsk region.

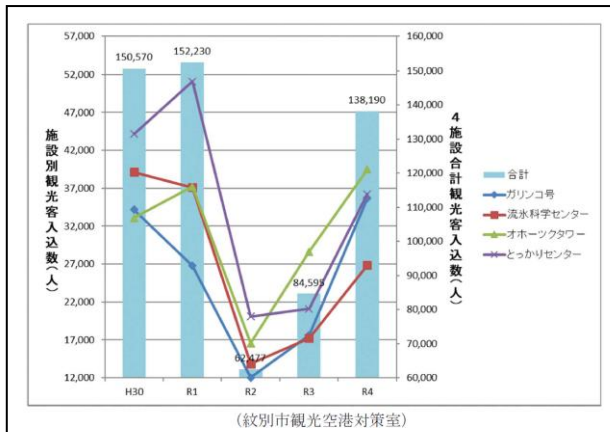
Keywords: Regional Tourism, Aerial Display, Clione

1. はじめに

近年、地域経済において、観光産業は無くてはならない存在になっている。国土交通省観光庁は第4次観光立国推進基本計画の中で「ウィズコロナ・ポストコロナにおいても、観光を通じた国内外との交流人口の拡大の重要性に変わりはなく、観光は今後とも成長戦略の柱、地域活性化の切り札である。」と記載している⁽¹⁾。

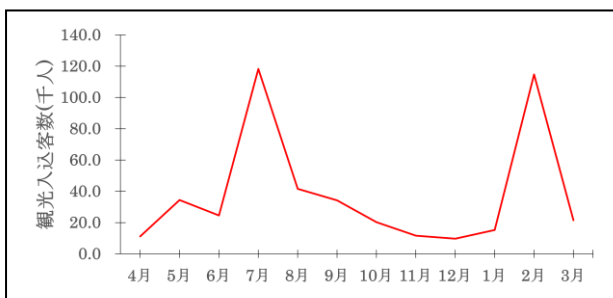
オホーツク海沿岸の地域では、1月下旬～2月頃に漂流する流氷が特色ある観光資源として挙げられ、砕氷船や科学館などの関連施設が、多くの観光客で賑わっている。本地域の観光地の一つ、紋別市における主要観光施設別観光客入込数の平成30年度～令和4年度の推移を図1に示す⁽²⁾。観光入込客数は、新型コロナウイルスが蔓延した令和2年度に大きく落ち込み、近年は回復傾向にある。だが、主要な観光施設(ガリンコ号、流水科学センター、オホーツクタワー、とっかりセンター)で見ると、流氷やクリオネの展示、寒冷地の紹介を行っている北海道立オホーツク流水科学センターGIZAの観光入込客数が他施設に比べて伸び悩んでいることが分かる。また、図2に示す同市における令和5年度の月別観光入込客数からは、夏休みシーズンの8月と流氷シーズンの2月を除く時期には観光入込客数が少なく、年間を通じた集客に課題が残されていることが分かる⁽³⁾。

図1. 紋別市主要施設における観光客入込数推移



(出典) 経済産業省「第2期北海道紋別市基本計画」(2024), p.13 より引用

図2. 令和5年度紋別市月別観光入込客数



(出典) 北海道経済部観光局観光振興課「北海道観光入込客数調査報告書」(2024)を参考に著者が作成

そこで、オホーツク地域における新たな観光資源を生み出せないか検討した結果、同地域の複数の科学館などで、展示が行われているクリオネに着目した。クリオネ(*Clione elegantissima*)はハダカカメガイの通称として知られている貝の一種で、冬季に流氷と共に漂流してくる、オホーツク海沿岸地域で見られる特色のある生き物である(図3)。クリオネは、羽ばたくように泳ぐ姿から「流水の天使」とも呼ばれ、観光客に高い人気を有する。成体は最大でも30mm程の体長で、殻を持たず体表は柔らかい⁽⁴⁾。したがって、科学館などでの展示では、触れることで傷付けてしまわないよう鑑賞用となるため、来館者が主体的に関与できる体験の提供には制約がある。

近年では、水族館や動物園などで、生き物との触れ合いを通じて興味や理解を深める体験型展示が来館者の関心を集めている⁽⁵⁾。一方で、クリオネはその生体的性質から触れ合い展示の導入が難しく、体験価値の向上を阻む要因となっている。そこで、本研究では、直接触れることができないクリオネと疑似的に触れ合いを体験できるよう空中結像技術の活用を検討した。空中結像技術は光を複数回反射することで空中に映像を結像する技術である。一般的に、液晶ディスプレイ等の明部を光学素子により空中に結像し、センサと組み合わせることで、非接触操作が可能な空中に浮かぶディスプレイとして利用されている^(6,7)。本技術は、非接触での会計システムやエレベータ操作などで応用されている他、水族館でも空中に浮かぶバーチャルキャラクターとの触れ合いに活用されており、来場者の注目を集めている⁽⁸⁾。

本研究では、オホーツク地域への観光の魅力向上に貢献することを目的として、生きたクリオネと空中結像技術を組み合わせて空中像として表示し、その空中像に疑似的に触れるインタラクション体験が可能な展示システムを開発した。さらに、その操作性や観光資源としての効果などについて調査した。

図3. クリオネ

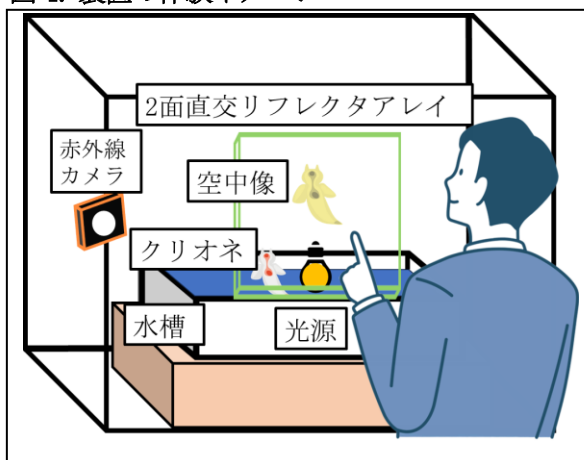


(出典) 著者が撮影

2. クリオネとの疑似触れ合い可能な装置の開発

本研究で開発したクリオネとの疑似触れ合い可能な装置では、図4に示すように、体験者は空中に浮かんで見えるクリオネに手で触れることができ、触れたクリオネの空中像は、手の動きに合わせて動くため、本当にクリオネに触れたようなインタラクティブな体験が可能となっている。本節では、開発した装置について、生きたクリオネが遊泳する「水槽の設計」、クリオネを空中像として表示する「クリオネの空中表示」、そして疑似触れ合い体験を実現する「インタラクション」をハードウェアとソフトウェアに分けて述べる。

図4. 装置の体験イメージ



(出典) 著者が作成

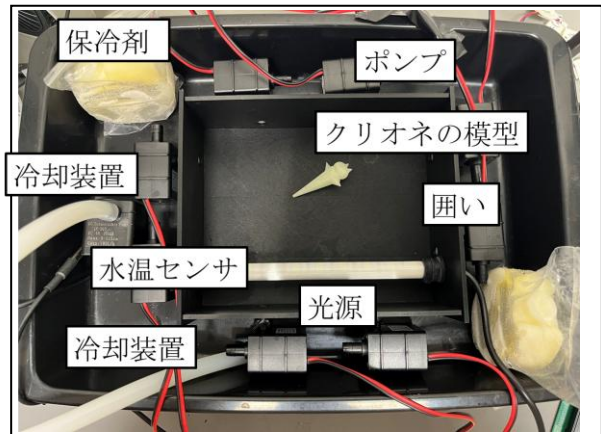
2.1 水槽の設計

本研究で開発した装置では、海水温を、クリオネの生息域に相当する低温条件に維持し、後述の空中表示とインタラクションを実現するため、図5に示す水槽を作製した。表1に、作製した水槽に用いた部材を示す。水槽はクリオネが遊泳する領域となる囲いの内側と、海水の保冷や水流を発生するポンプを格納する囲いの外側に分かれており、クリオネが水流ポンプに巻き込まれることを防止している。囲いはクリオネを照明する光源を固定し、水流ポンプの吐出口を内部に挿し込めるよう、3Dプリンタ Original Prusa i3 MK3S+(Prusa Research a.s.)で制作した。本水槽内の明部は空中像として表示されるため、クリオネ以外の像が目立たないよう全て黒い素材を用いた。室温環境での展示を行うため、海水は保冷剤と水槽冷却装置により低水温を維持可能とした。

2.2 クリオネの空中表示

本研究では、クリオネを空中に結像するために、2面直交リフレクタアレイ ASKA3D(Asukanet Co., Ltd.)を用いた。一般的な空中ディスプレイに用いられる画面の投影とは異なり、本研究では海水中の透

図5. 水槽内部



(出典) 著者が撮影

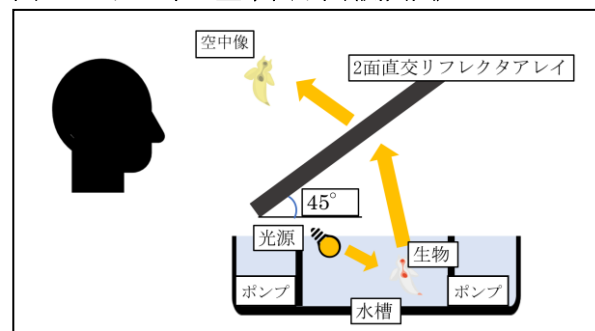
表1. 水槽内部構成

使用した部材	型式(メーカー名)
水流ポンプ	DC12V 水中ポンプ (DiyStudio)
水槽冷却装置	水槽用クーラー(Zhaoqing Big Rainstorm Electronic Technology Co.,Ltd.)
光源	クオーツガラスチューブ LED 照明(株式会社エヴァリス)
水温センサ	DS18B20(Analog Devices, Inc.)

(出典) 著者が作成

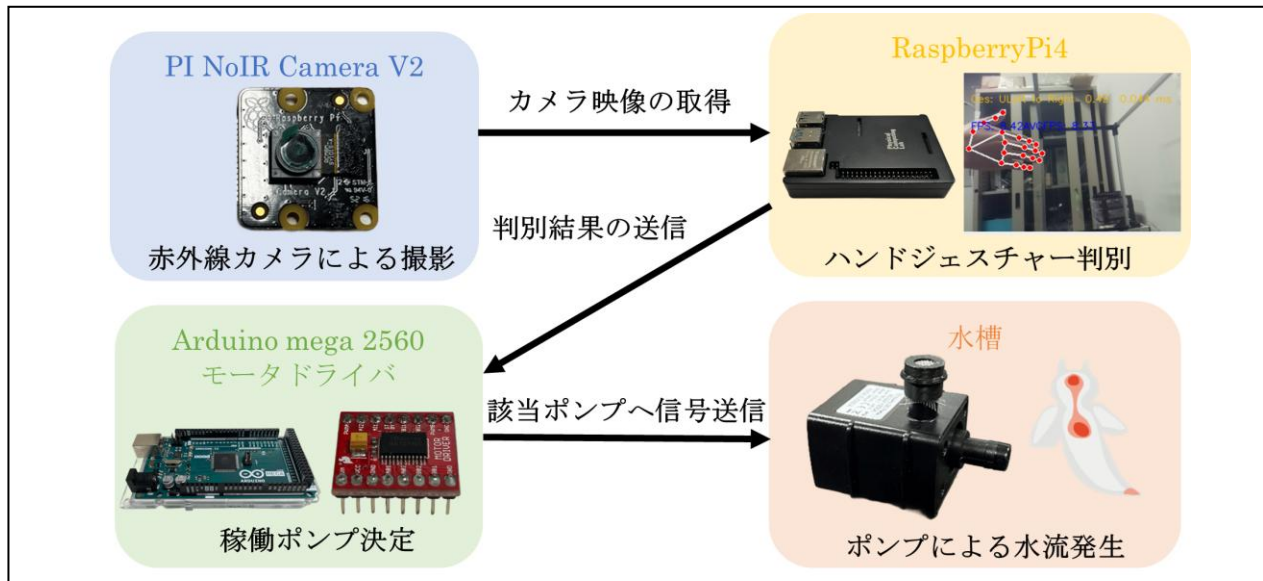
明な生物を空中像として結像するため、図6に示す装置の構成を用いた。水槽内を遊泳するクリオネを照明する LED は海水中に設置しており、海水内を伝搬、全反射した照明光がクリオネの体表で散乱した際の光を2面直交リフレクタアレイにより空中結像することで、海水中の生きたクリオネの空中像を表示した。本装置では、2面直交リフレクタアレイを、水槽上部に水面から45度の角度で固定しており、クリオネの空中像は面対称な位置となる装置の正面に表示される。したがって、体験者は空中に表示されるクリオネの空中像を鑑賞し、手により触ろうとすることが可能となっている。

図6. クリオネの空中表示図(側面図)



(出典) 著者が作成

図 7. システム連携図



(出典) 著者が作成

2.3 インタクションシステム

2.3.1 ハードウェアの設計

クリオネの空中像に手で触れたとき、空中像が手の動きに合わせてリアルタイムで動くインタクションシステムの概要を図 7 に示す。本システムでは、装置に設置した赤外線カメラ Pi NoIR CameraV2 (Raspberry Pi Foundation)により体験者の手の動きを常時撮影し、撮影した動きはマイコン Raspberry Pi 4 Model B (Raspberry Pi Foundation)内の後述するソフトウェアを用いて解析している。手の動きを識別した場合、pwm 出力が可能なマイコン Arduino Mega 2560 Rev3(Arduino. cc)に手の動作判別データを送り、受信データをトリガとしてモータドライバを通し、適切な水流ポンプのオン/オフ制御を実施した。

2.3.2 ソフトウェアの設計

本システムでは、体験者の手の動作の判別は赤外線カメラと MediaPipe(Google LLC)による手指の関節位置の座標情報の取得と、取得した情報と TensorFlow Lite(Google LLC)を用いた機械学習により実現している。まず、体験者の手指の関節位置は、赤外線カメラから取得した画像から MediaPipe を用いて識別し、図 7 のハンドジェスチャー判別部分の写真に示すように 21 点のランドマークの x-y-z

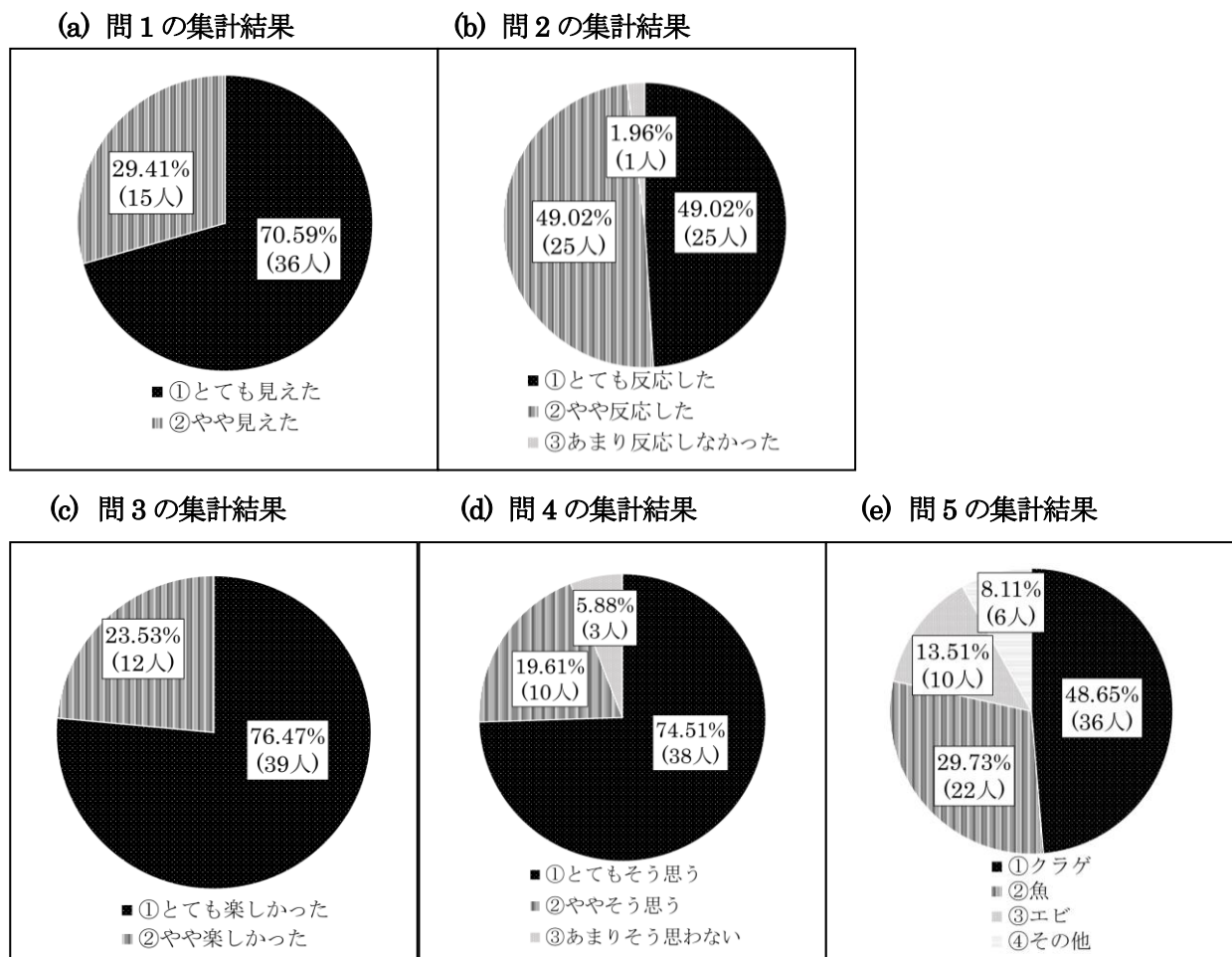
の 3 次元座標情報として取得できるようにした。MediaPipeを用いて左右それぞれの手によるつまみ動作やおおるような動作などあらかじめ設定された 10 種類の動作をした場合の座標情報を収集し、機械学習用のオープンソースのフレームワークである TensorFlow の軽量版の TensorFlow Lite を用いて機械学習モデルを作製した。軽量版を用いることにより、本装置で用いた Raspberry Pi 4 でも 7 fps 程度での推論を行うことが可能になった。手の動作は作製したモデルから推論を行うことができるが、さらに高精度かつ多くの動作に対応するために補正を行った。補正はその動作が左右どちらの手で行われたかを再度判別した結果や、機械学習ではできていなかったカメラ内映像の上部下部どちらで動作が行われたかなどの情報を用いて行った。補正された結果を用いて図 8 に示す囲いの外側に設置した 8 つの水流ポンプのうち、1~2 つの水流ポンプのオン/オフ制御を行うことで表 2 に示す 12 種類の水流制御を実現した。表 2 の番号は図 8 と連動しており、どの判別結果でどの水流ポンプを制御したかを示している。水槽内で遊泳するクリオネは、水流ポンプが発する水流により移動するため、空中に結像されるクリオネの空中像の位置も変化する。以上のシステムにより、体験者は空中に浮かぶクリオネに触れたようなインタクション体験が可能となった。

3.2 アンケート結果

試験的展示期間では、1, 3年生の大学生合計 51 名が体験した。図 11(a)~(e)にアンケート調査で得られた回答を示す。図 11(a)に、問 1「生き物は空中に浮いているように見えませんか。」への回答結果を示す。「やや見えた」の回答も含めると、100%の体験者から、空中結像技術によってクリオネが空中に浮いているように見えたという回答が得られた。図 11(b)に、問 2「生き物は自分の動きに合わせて反応してくれましたか。」への回答結果を示す。「やや反応した」の回答も含めると、約 98%の体験者から、クリオネが体験者の動きに合わせて反応したという回答が得られた。一方で、1 名のみあまり反応しなかったという回答があった。図 11(c)に、問 3「空中像との触れ合い体験は楽しかったですか。」の回答結果を示す。「やや楽しかった」の回答も含めると、体験者全員から、クリオネの空中像との触れ合い体験が楽しかったという回答が得られた。図 11(d)に、問 4「水族館等の施設に同様の装置があれば行きたいと思いませんか。」の回答結果を示す。「ややそう思う」の回答も含めると、約 94 %の体験者から行きたいと

思うという回答が得られた一方で、約 6%の体験者があまりそう思わないと回答していた。図 11(e)に、問 5「この装置では、他にどのような生き物と触れ合っていたいですか。」の回答結果を示す。この設問のみ、複数回答が可能となっており、全体の回答結果のうち約 49 %がクラゲ、約 30 %が魚、約 14 %がエビ、約 8 %がその他という結果であった。「その他」で挙げられた生き物は「チンアナゴ」、「タツノオトシゴ」、「毒のある水中生物」、「ペンギンのようなかわいい生き物」、「イカ」、「サメ」であった。問 6「装置に関する意見や感想をお願いします。」への記述欄で得られた回答のうち、本装置の体験について言及があった回答から一部抜粋したものを図 12 に示す。「クリオネに初めて触ることができた」というコメントや、「触ると空中像が動く」ことについての好意的なコメントを頂くことができた。一方でクリオネが少し見えづかった、触った際の反応が悪かった、という装置の課題となる部分へのコメントもあった。

図 11. アンケートの結果



(出典) アンケート結果に基づいて著者が作成

図 12. アンケート問 6 自由記述欄の回答結果(一部抜粋、原文を変更せずに記述)

「触る度に反応して、本当に動かしているみたいで新鮮だった」
 「空中に浮いているように見え、新感覚でとても楽しかったです」
 「立体に見えるところが不思議で触ったときにクリオネが動いておもしろかったです。」
 「クリオネが少しぼやけていたのもう少しくリアに見てみたい。」
 「少し反応が悪かったと感じた」
 「手をあおぐと生物が動くのが面白いと思った。」
 「始めてクリオネをさわったのでとても楽しかった。」
 「初めディスプレイに写っているものを見るのに時間がかかったものの、一度認識するときれいに空中にいるように見えておどろきました。」
 「手をかざした際にクリオネが反応したのに感動しました。もう少し真上から見られるとよりおもしろいと思います。」
 「より触っている感覚が欲しいかもしれない」
 「目が慣れるまで二重に見えたのに少し混乱しましたが、立体に見えるようになってくると、手の中にクリオネがいるようで、楽しかったです。」
 「実際に触っていないのに動いて見えてすごいと思った。」
 「触れられないものに触れられた感じがして楽しかった！」
 「手の動きと連動した水の動きがすごかった。」

(出典) アンケート結果に基づいて著者が作成

3.3 考察

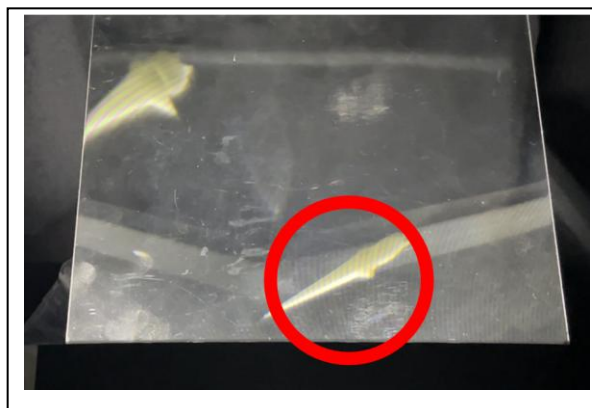
問 1 の結果より、本研究で開発したクリオネの展示手法では、生きているクリオネを空中に結像させたことで、多くの体験者にとってクリオネが空中に浮いて見えることを確認できた。さらに、インタラクション機能として実装した、赤外線カメラー水流ポンプによる疑似触れ合い体験について、問 2、3 の結果より、多くの体験者がクリオネの空中像との触れ合い体験を楽しむことができていたことが分かった。これらの結果から、本研究で開発した装置は、これまではクリオネは鑑賞するのみという一方の体験を、疑似触れ合いを可能にすることで相互作用性のある新たな体験へと昇華できたとと言える。この体験は従来観察のみにとどまっていた生き物との新たな関わり方を生み出し、観光の形を変える可能性がある。

また、問 4 の結果は、本研究で開発した装置による体験は、体験者に対し、現地を訪れて体験したいという動機付けを促す程度の求心性や集客性を有する可能性を示唆している。海水温度の制御とクリオネを傷付けない機構により、本装置はシーズンを問わない展示が可能であるため、従来オフシーズンとなっていた時期にも、観光客にオホーツクの魅力を伝えるために役立つ可能性がある。問 5 の結果から

は、クリオネ以外にも、クラゲのように毒を持ち、普段触ることが難しい生き物との触れ合いや、可愛い生き物とのインタラクションを楽しみたいという需要があることも明らかとなった。

一方で、現状の装置における課題として、「クリオネが少しぼやけていたのもう少しくリアに見てみたい」「少し反応が悪かったと感じた」という意見も記述欄で挙げられていた。ぼやけて見えた要因としては、2 面直交リフレクタアレイの特性上、光が内部反射した際に生じてしまうゴースト像により、図 13 内の円で示すように空中像が二重、三重に見えてしまった可能性や、視認した際に、空中像にピントを合わせて見るができなかった可能性が考えられる⁹⁾。また、反応については、カメラの範囲外での動きや、識別可能なフレームレートよりも素早く手を動かした場合、手の動きを正しく認識できず、適切な水流が発生しなかった可能性が考えられる。それぞれの課題は、新たな空中結像方式利用の検討や、識別に用いるコンピュータの性能向上により改善可能であると考えられる。

図13. クリオネの模型のゴースト像



(出典) 著者が撮影

4. 終わりに

本研究では、オホーツク地域の観光資源の一つとして用いられてきたクリオネと疑似的に触れ合いが可能となる装置を開発した。大学内で実施した展示とアンケート調査では、9割以上の体験者から空中に結像したクリオネとの疑似的な触れ合い体験に好意的な回答を得られ、本装置がオホーツク地域の観光へ貢献できる新たなコンテンツとなり得ることが確認できた。

今後の研究では、超音波フィードバックを用いたよりリアルな触れ合い体験の実現や、空中像の視認性の向上など、本装置でより良い体験ができるように開発を進めていきたい。また、本装置を実際にオホーツク地域の科学館や水族館などで展示し、観光客に寄り添った改良を行うと共に、観光施設での集客への影響を検証したいと考える。

謝辞

本装置を開発するにあたって、部品の加工にご協力いただいた北見工業大学ものづくりセンター、ものづくり工房のスタッフの方々、本装置の検証とアンケート調査にご協力いただいた北見工業大学生の皆様へ深く感謝の意を表す。

注

(1) 国土交通省観光庁(2024) 「観光立国推進基本計画」

(<https://www.mlit.go.jp/kankocho/content/810001005.pdf> 2025/11/27 閲覧)

(2) 経済産業省(2024) 「第2期北海道紋別市基本計画」

(https://www.meti.go.jp/policy/sme_chiiki/miraitoushi/kihonkeikaku/honbun/433_hokkaido_mombetsu_honbun.pdf 2025/8/27 閲覧)

(3) 北海道経済部観光局観光振興課(2024) 「北海道観光入込客数調査報告書」

(<https://www.pref.hokkaido.lg.jp/kz/kkd/irikomi.html> 2025/8/27 閲覧)

(4) Tomoyasu Yamazaki and Takashi Kuwahara., *A new species of Clione distinguished from sympatric C. limacina(Gastropoda: Gymnosomata) in the southern Okhotsk Sea, Japan, with remarks on the taxonomy of the genus., Journal of Molluscan Studies, The Malacological Society of London.,2017.,p.19-24.*

(5) PRTIMES(2020) 「『距離感ゼロ体 Reboot!!』水族館・伊勢シーパラダイス発祥の「距離感ゼロのふれあい体験」が、令和2年11月1日から感染症対策を実施の上、再スタートしました。」

(<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000120.000027217.html> 2025/12/14 閲覧)

(6) 藤原徹平,井村誠孝(2017) 「二面直交リフレクタアレイを用いた視点追従空中ディスプレイ」.,『情報処理学会インタラクション2017』.,p.1-3.

(7) 株式会社アスカネット 「原理と仕組み」

(<https://aska3d.com/ja/technology.html> 2025/8/27 閲覧)

(8) マクセル株式会社(2024) 「マクセル アクアパーク品川 活用事例」

(https://biz.maxell.com/ja/display_equipment/case-maxell-aquapark-shinagawa.html 2025/10/29 閲覧)

(9) Yuto Osada, and Yue Bao., *Design of Ghost-free Aerial Display by Using Prism and Dihedral Corner Reflector Array, IS&T International Symposium on Electronic Imaging., Society for Imaging Science and Technology., 2022.,p.1.*