

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K18722

研究課題名(和文) VRを用いた4次元空間の可視化と複素力学系

研究課題名(英文) Visualization of 4D space by VR and complex dynamics

研究代表者

石井 豊 (Ishii, Yutaka)

九州大学・数理学研究院・教授

研究者番号：20304727

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：高次元の対象物を可視化することは、数学、物理学、データサイエンスなど、様々な分野で研究が求められている。この研究課題の目的は、バーチャル・リアリティを積極的に用いることで4次元空間におけるジュリア集合や超多角形などの数学的对象物を可視化する新たな手法を提案、実装することであった。具体的な成果としてはCAD (computer aided design) のような多重射影の4次元版である Polyvision というシステムを開発した。これは SIGGRAPH ASIA というコンピュータ・グラフィックスのトップ・カンファレンスに採択された。またこのシステムに基づいて心理実験も進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回の研究成果の中で最も重要なものは Polyvision の開発に成功したことである。科学における研究対象物は高次元空間内のデータセットとして与えられることが多く、その形状の特性を抽出することが重要である。本研究の具体的な意義として、このような幾何的形狀の抽出を容易にすることで、数学、地質学、材料工学への応用の道を切り開いた点が挙げられる。具体的には、数学においては複素力学系のパラメータ集合における奇妙な「穴」を稲生が発見し、現在その厳密な証明に取り組んでいる。また材料工学への応用として、素材の亀裂を生み出す「トリガー」の発見に Polyvision を応用する研究も進んだ。

研究成果の概要(英文)：Visualization of higher dimensional objects attracts great interest from mathematics, physics and data science, etc. The purpose of this project is to visualize mathematical objects in 4 dimensional space such as the Julia sets by using virtual reality system. As a consequence, we succeeded a system called Polyvision which is a higher dimensional analogue of CAD (computer aided design) by using the idea of multi-projections. This system has been accepted to SIGGRAPH ASIA, one of the top conferences in computer graphics. We also started psychological test based on this system.

研究分野：数学、特に複素力学系

キーワード：バーチャル・リアリティ ジュリア集合 高次元可視化

## 1. 研究開始当初の背景

人間はその生誕以来、常に3次元空間で生活を行ってきた。そのため4次元以上の高次元空間を直感的に理解する能力は持っていないと考えられてきた。一方で、高次元のさまざまな対象物を可視化することは、古くから数学や哲学の問題として考えられてきた。さらに最近ではデータ・サイエンスの発展に動機付けられて、数学、統計学、物理学、など、様々な分野で高次元空間を可視化するための技法を開発することが盛んに研究されてきた。

## 2. 研究の目的

この研究課題の目的は、4次元空間を直感的に理解するためのデバイスを開発することにあった。そのために、特にバーチャル・リアリティを積極的に用いることで、4次元空間におけるジュリア集合や超多角形などの数学的対象物を可視化する新たな手法を提案、実装することにある。

## 3. 研究の方法

このプロジェクトのメンバーは、主に数学者とVRの専門家という全く異なる分野の研究者から構成されていた。そのためプロジェクトの前半ではミーティングを重ねることでまずお互いの分野における専門的知識の相互理解に努め、後半はPolyvisionの開発を中心的課題として進め、同時に研究集会を企画するなどして他分野への応用の可能性を探った。

## 4. 研究成果

具体的な成果としてはCAD (computer aided design) のような多重射影の4次元版であるPolyvisionというシステムを開発した。これはSIGGRAPH ASIAというコンピュータ・グラフィックスのトップ・カンファレンスにおけるEmerging Technology部門に採択された。またこのシステムに基づいて、4次元空間の認知がどの程度向上するかを定量的に評価するための心理実験も進めた。この成果は基本的には、プロジェクトのメンバー全員が参加することで進められた。(図1参照)

また、両眼視差と運動視差を4次元空間内で独立した方向に対応させることで4次元空間における4方向を同時に知覚するためのアルゴリズムを開発し、これを実装した。この成果は石井と稲生によって得られた。(図2参照)

さらに4次元空間における迷路をVR空間において実装することが早稲田大学の五十嵐治雄によってなされた。(図3参照)



图 1

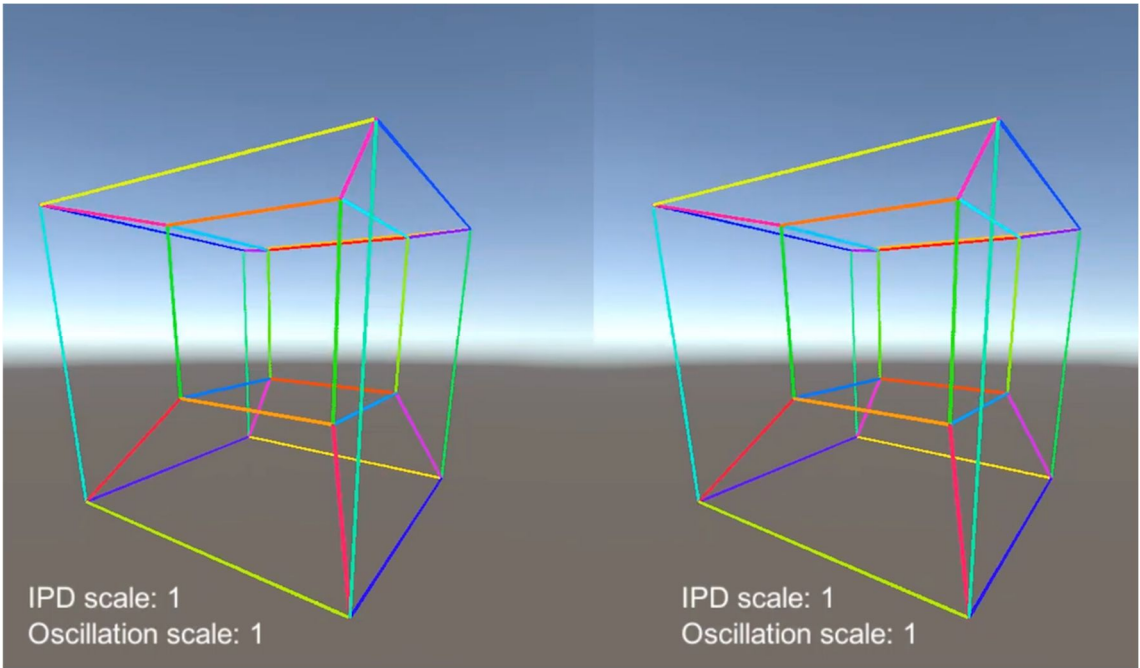
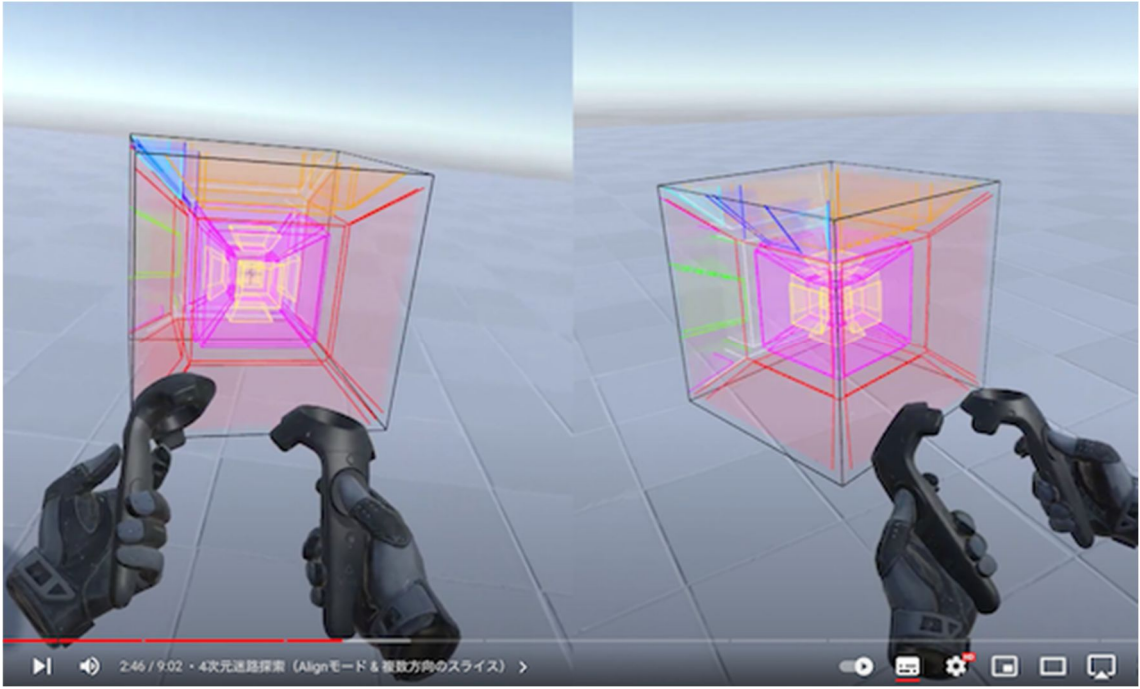


图 2



3

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Matsumoto Keigo, Ogawa Nami, Inou Hiroyuki, Kaji Shizuo, Ishii Yutaka, Hirose Michitaka	4. 巻 November
2. 論文標題 Polyvision: 4D Space Manipulation through Multiple Projections	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 SA '19: SIGGRAPH Asia 2019 Emerging Technologies	6. 最初と最後の頁 36-37
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3355049.3360518	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 石井豊	4. 巻 27
2. 論文標題 バーチャル・リアリティを用いた 4次元可視化プロジェクト	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 数学通信	6. 最初と最後の頁 49-54
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 9件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 石井豊
2. 発表標題 4次元可視化プロジェクト
3. 学会等名 VRを用いたインタラクティブな高次元認識（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲生啓行
2. 発表標題 4次元の回転とVRにおける操作
3. 学会等名 VRを用いたインタラクティブな高次元認識（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鍛冶静雄
2. 発表標題 シンプルな4次元パストレーサーによるレンダリング
3. 学会等名 VRを用いたインタラクティブな高次元認識 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keigo Matsumoto, Nami Ogawa, Hiroyuki Inou, Shizuo Kaji, Yutaka Ishii, Michitaka Hirose
2. 発表標題 Polyvision: 4D space manipulation through multiple projections
3. 学会等名 SIGGRAPH Asia 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 五十嵐治雄
2. 発表標題 射影と断面の組み合わせによる4次元インタラクションシステム
3. 学会等名 VRを用いたインタラクティブな高次元認識 2 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鍛冶静雄
2. 発表標題 Capturing the fourth dimension
3. 学会等名 VRを用いたインタラクティブな高次元認識 2 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 稲生啓行
2. 発表標題 Visualization in complex dynamics in dimension two
3. 学会等名 VRを用いたインタラクティブな高次元認識 2 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松本啓吾
2. 発表標題 メビウスの帯を歩く-リダイレクテッドウォーキングの3次元への拡張
3. 学会等名 VRを用いたインタラクティブな高次元認識 2 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石井豊
2. 発表標題 Complex dynamics, rigorous numerics and 4D visualization
3. 学会等名 トポロジーとコンピュータ (招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	稲生 啓行  (Inou Hiroyuki)  (00362434)	京都大学・理学研究科・准教授    (14301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	荒井 迅 (Arai Zin)  (80362432)	中部大学・創発学術院・教授  (33910)	
研究分担者	寺尾 将彦 (Terao Masahiko)  (50772357)	山口大学・時間学研究所・講師  (15501)	
研究分担者	鍛冶 静雄 (Kaji Shizuo)  (00509656)	九州大学・マス・フォア・インダストリ研究所・教授  (17102)	
研究分担者	松本 啓吾 (Matsumoto Keigo)  (20909527)	東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教  (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関