

四次元図形を“見る・聴く・操作する”

リズムゲーム型可視化システムの試作と予備的評価

茨城県立 I T 未来高等学校 1 年 中里 龍誠

1. 背景および目的 (Background and Purpose)

リズムゲームの操作は、気分の向上や集中力維持に効果があり、視覚・聴覚・運動感覚の統合が没入感や動機づけを高める [1]。一方、四次元図形の理解は空間構造を直感的に把握することが難しい [2]。Sakai らは、動的可視化が空間的直観の形成に有効と報告している [3]。これらを踏まえ、本研究では、四次元図形と音楽リズムを統合した体験型学習システムの提案 [4] をもとに、プロトタイプを試作と予備的評価した。

本研究の目的は、四次元図形の動的可視化と音楽リズム操作を融合した体験型システムが、図形の構造理解や空間的思考に与える影響を評価することである。

2. システム構成 (System)

Unity上で四次元図形を生成し、16頂点・32線分を「x, y, z, w」座標で可視化する(図1)。内側8頂点から、外側8頂点へ向かって移動するノーツが生成される。前回の試作版では、ZW平面のみを回転軸としていたが、改良版では、6平面すべてに対応する多平面回転処理を実装し、より立体的で滑らかな動きを実現している(図2)。さらに透視投影とイベント駆動型の同期構造を採用し、奥行き表現と描画安定性を向上させた。

①四次元図形を生成し、16頂点32線分を可視化

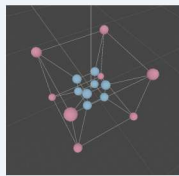


図1.16頂点と32線分の位置をわかりやすくした図(青の頂点=内部の立体的頂点、赤の頂点=外部の立体的頂点)

②内側8頂点から、外側8頂点へ移動するノーツが生成

③多平面回転処理により四次元図形を回転



図2.ノーツ生成をし、回転した四次元図形

3. 方法 (Method)

音楽リズムゲーム歴に差異のある経験者の高校生6名(上級者3名、中級者1名、初級者2名)[†]に対して体験後に簡易的な半構造化インタビューを実施した。それぞれ体験直後に、四次元図形の視覚的理解・メンタルローテーション(心的回転)・空間認識力の初期変化に関する3つの質問をした。

Q1	ゲームをしている時、四次元図形はどのように見えたのか。始めと終わりで、形の見え方や分かりやすさに変化はあったか。
Q2	プレイ中に、頭の中で形を回したり、角度を変えたりして考えることはあったのか。
Q3	図形の動きや空間の広がりとはどんなふう感じたか。例えば『立体の動きが前よりわかるようになった』など、感じたことを教えてください。

[†]初級・中級・上級の3段階の分類に関しては、実験者の主観的評価ではなく、客観的観察に基づく熟達度推定として判断した。

8. 参考文献 (References)

- [1] Leung, H. T., Law, M. H., & Horner, A. B. (2024). Enhancing emotional well-being through active music listening: A study on the effects of music rhythm games on mood improvement in Hong Kong university students. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 52(1), 050004.
- [2] Sakai, Y., & Hashimoto, S. (2008). 数学的な4次元データを観察するための4次元グラフィックスシステム. 映像情報メディア学会技術報告, 42(Supplement1), 123-126.
- [3] Sakai, Y., & Hashimoto, S. (2006). Interactive four-dimensional space visualization using five-dimensional homogeneous processing for intuitive understanding. *ITE Journal*, 60(10), 1630-1647.
- [4] 中里龍誠, 小林秀明. (2025). 四次元図形の世界を映像と音で楽しむインタラクティブシステムの提案. , 2025年映像情報メディア学会年次大会予稿集, 22C-1.

4. 分析結果 (Results)

	Q1	Q2	Q3
初級者	回転時に形の把握が難しく、立体構造の変化を追いかかった。	回転を意識したが難しかった、または意識する余裕がなかった。	動きの全体構造は捉えにくい、立体感や空間的奥行きは感じ取れた。
中級者	回転による変化は視覚的には普通で、特に分かりやすさの変化は感じられなかった。	回転を試みたが、操作の忙しさにより思考と動作を同時に処理できなかった。	奥行きの把握がより容易になったと感じており、空間認識の向上を自覚。
上級者	回転により「線の伸縮」や「奥行き」がより明瞭に見え、立体構造を深く理解できた。	ノーツ密度や配置に応じて空間的把握を意識的にを行い、プレイ中に形状の変化を捉えようとしていた。	線の伸縮や奥行き変化を通して、構造の全体像を動的に理解できた。

分析総括

Q1: 上級者ほど回転時の奥行き知覚の精度が上がる。初級者は情報量と操作手順による負荷が高い。

Q2: 経験に応じて心的回転の活用が増加。初級者は操作と空間的把握の並行処理が困難。

Q3: 体験で空間・奥行き知覚が一定程度促進の可能性。上級者は動的奥行き変化の把握が初級者より正確。

総括まとめ

熟練度が高いほど、回転時の奥行き手がかり(縮尺変化・情報更新)の利用が安定し、初級者は呈示情報と操作の同時処理で負荷が高い。経験に比例して心的回転の意識的活用が増え、初級者は操作と空間的把握の並行処理が難しい。全体では空間理解・奥行き知覚に関する肯定的回答がみられ、とくに上級者は奥行きの動的変化の捉えによる知覚が相対的に正確だった。

5. 考察 (Discussion)

☆四次元図形の理解促進効果

図形の変化や奥行きの把握がしやすい

☆上級者の特徴

ノーツの動きが回転軸の可視化を補助、構造変化やパターン予測が容易

→動的構造の理解・空間的思考力の向上を示唆

☆初級～中級者の傾向

操作負荷や複雑性が高く、静的理解にとどまる傾向。→ 心的回転の難しさを確認

★総合的示唆

動的可視化とリズムゲーム要素の融合が空間認識・学習動機の向上に有効である可能性を示唆

本研究は、視覚・聴覚・操作を統合したリズムゲームにより、四次元図形の理解を促す可能性を示唆した。上級者ではノーツの動きが回転軸の可視化を補助し、動的構造の把握やパターン予測が容易になるなど、空間認識の向上が示唆された。一方、初級・中級者は操作負荷と動きの複雑性により静的理解にとどまり、心的回転が困難だった。なお、全参加者で奥行きや空間的広がりへの知覚が見られ、基礎的な空間理解には変化が生じた。総じて、動的可視化とリズムゲームの融合は空間的思考力の向上の有効性を示す可能性がある。

6. 今後の展望 (Future Directions)

今後は、体験者数を増やし得られた知見からさらに本システムの改良を図る。また、キーの場所によるノーツの色変更、四次元図形の回転の速度変更などによる視覚的理解を向上させる機能追加を試みる。