

4-Danmension : デュアル断面図による4次元空間の表現

宮下 芳明[†] 青木 秀憲^{††} 篠原 祐樹[†]

4-Danmension: A New Way to Explore 4-Dimensional Space by Dual Cross-sectional Surfaces

Homei Miyashita[†] Hidenori Aoki^{††} Yuki Shinohara[†]

1. 背景

今日、高度な3DCG技術を用いてリアルな表現を追求するゲームが多く開発されている。そこにおける「リアリティ」は私たちが日常的に知覚している現実世界に即するものであるが、新鮮な驚きとしてのエンタテインメントを目的とするのであれば、現実世界の枠組みにとらわれない多様な世界表現が求められているのではないだろうか。藤木らは錯視をモチーフとした独自の空間を構築する「OLE Coordinate System[1]」を提案し、その表現に基づくアクションパズルゲーム「無限回廊[2]」を発表している。また、2次元空間をベースとしながらも3次元的な視点移動というアクションを加えたゲーム「ペーパーマリオ[3]」シリーズも発表されている。

Saber Interactive社のアクションFPS「TimeShift[4]」では、時間を止めたり戻したりする能力を駆使し、落下運動を上昇に変えて移動したりとパズル的な要素をも含んだゲームとなって好評を博している。これらのゲームは、ユーザの興味関心をひき、ゲームとしても高いエンタテインメント性を実現しているが、一時的な効果だけではなく、人間の知覚や時間の概念についての柔軟な理解につながると考えられる。

本稿では、4次元空間上で繰り広げられるゲームを試作し、短期的にはエンタテインメント性を、長期的には4次元的な空間認知能力の獲得を目指す。4次元というと一般に3次元空間に時間軸を加えた時空間が想起されるが、本稿では空間3軸と同質な広がりを持つ軸をもう1本追加した空間を対象としている。

4次元に関する研究は、高次元のデータを扱う統計やデータ解析の分野においても重要な位置を占めている。4次元以上の高次元データの特徴を理解する手法としては、多次元尺度構成法などを用い低次元化する古典的な手法や、軸を平行に並べる手法[5]などがある。

エンタテインメントコンピューティングやVRの分野においても近年研究が進みつつあり、村田らは4次元データの傾向や形状を直感的に理解するための、インタラクティブなVRシステムを開発している[6]。また、井上らは3次元物体を4次元空間上で折り曲げ、「折り紙」を楽しむ手法を提案している[7]。

これらの研究では全て、3DCGの技法を1次元拡張し、4次元の形状を3次元空間に投影することによって理解を促すものである。このような提示方法は理論的には整っており、たしかに形状を知る一助とはなるものの、4次元空間を完全に理解する事はやはり困難であると指摘されている[8]。こうした背景を受け、花村らは4次元

立方体の表層（展開図）上を移動させるようにする事で4次元空間を感じさせるシステムを提案している[8]。また、4次元物体の超表面の「曲がり」に擬似的に光を反射させ4次元立体を認識させようとした研究[9]もある。しかし、いずれの研究においても出力は3次元的な図形の投影画像であり、提示される形状は「3次元物体に見える」ものであった。

このように、これまでの研究は3次元空間を拡張したものとして4次元空間を扱うものばかりであった。人間は3次元空間において長い間生活しており、物体形状を認識する際にどうしてもそれをベースに考えてしまう。そのため、提示された形状が3次元的なものであった場合、知覚が経験に誘導され「4 = 3 + 1次元」という意識でそれを見てしまうのではないだろうか。そこで筆者らは、4次元空間を2枚の2次元断面層面によって表現する新たな手法「4-Danmension」を提案する。具体的には、表示中心となる点 (x_0, y_0, z_0, w_0) を定め、右の画面にはこの点を通る X-Y 平面を表示し、左画面にはこの点を通る Z-W 平面を表示する（図1）。

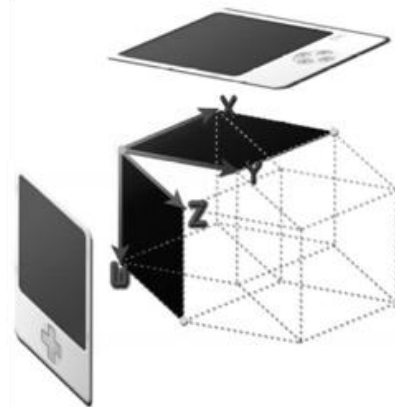


図1. 「4-Danmension」の概念図

3次元空間で生活する人間にとって4次元空間上の物体の幾何学的形状を想像・認識するのは困難であるが、このように2枚のディスプレイを組み合わせる「4 = 2 × 2次元」を念頭に置いた表示手法によれば、4次元形状の構造は十分理解可能であると考えられる。これはゲームプレイの幅や面白さを増大させるだけでなく、4次元の空間理解や幾何形状認識への足がかりにもなると考えている。

2. 試作アプリケーション概要

前章で述べた「4-Danmension」の手法を用い、4次元の迷路を解いていくゲームを試作した（図2）。丸印のキャラクターが主人公であり、4次元空間迷路上の道（画面上の黒い領域）を歩き回りながらゴールを目指すという

[†] 明治大学理工学部情報科学科 Department of Computer Science, Meiji University

^{††} 明治大学大学院理工学研究科基礎理工学専攻情報科学系 Computer Science Course, Graduate School of Science and Technology, Meiji University

ものである。なお、スタート地点は (0, 0, 0, 0)、ゴール地点は (10, 10, 10, 10) である。座標原点は左右共に画面左上となり、画面右方または下方に進むにつれ座標の値は大きくなっていく。システムの特性上、丸印の主人公キャラクターは左右のディスプレイに1体ずつ表示されることとなるが、スタート時は両者とも画面左上に、ゴール時は画面右下に位置することになる。

また、本システムでは図2のような着色により現在位置を把握しやすくしている。左画面には色相マップを表示し、右画面には彩度と明度のマップを表示しているが、主人公キャラクターの現在位置により色相・彩度・明度が一意に定まり、いわば「その地点の色」を定義することが出来る。なお左画面の彩度・明度は右画面のマップに対応しており、右画面のマップに用いられる色は左画面で選ばれている色相に対応している。このように位置と座標を対応づけることにより、4次元形状の構造理解が促進されるものと考えられる。

図1で右画面はX-Y平面、左画面はZ-W平面を表示しているが、この座標軸を入れ替えることにより同じ4次元形状を最大24通りの表示方法で提示することが可能である。例えば、同じ迷路でも右画面をX-W平面、左画面をZ-Y平面に対応させた場合では見た目の様子が大幅に異なる。ただし原点の位置および軸の方向は変わらないため、スタート地点とゴール地点の表示位置は変化しない。

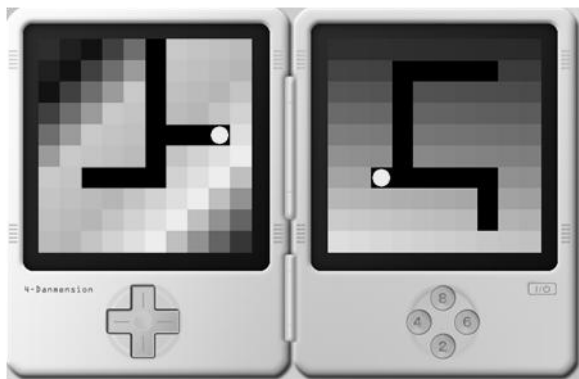


図2. 試作アプリケーション

3. 評価実験

本稿では、このシステムの短期的な効果を検証するため、20代の男性被験者7人にゴール地点に到達するまでゲームをプレイしてもらった。これを1セットとし、クリアする毎に1分の休憩をはさんで計5セットの実験を行った。対応する座標軸は1セット毎に無作為に設定するものとする。ただし同一の軸の組み合わせが選ばれることはないものとし、第1セットにおいても無作為に設定するものとする。

各被験者が迷路クリアに要した移動歩数の推移を図3に示す。縦軸は歩数、横軸は何セット目のデータであるかを表している。クリアに要した歩数が実験を重ねていく毎に減少している。要した時間についても、平均して35%程度に減少している。「一部(特にゴール付近)まで来るとある程度迷路の形状を予測できる気がする」という

趣旨の感想を述べた被験者が5名いた。実験毎に座標軸を入れ替えていることから考えると、2次元的な記憶だけではこの現象を説明できない。彼らは、おぼろげながらも「4次元的な構造として」迷路の形状を理解し、記憶し始めたのではないだろうか。いわば、被験者は4次元空間についての暗黙知を獲得しつつあり、この試行を続ければ本研究の長期目標「4次元的な空間認知能力」を身につけられるに違いない。

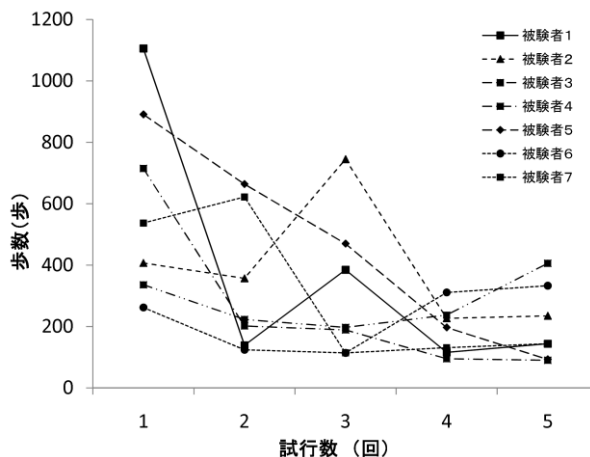


図3. クリアに要する歩数の推移

今回、被験者全員から「新鮮だった」「面白かった」「ぜひまたプレイしたい」といった好意的な意見が聞かれたため、エンタテインメント性については一定の評価が得られたと考えている。操作性についても、「使いやすかった」「直感的だった」といった快適さを示す感想を得ることが出来た。本実験では、空間認知における疲労を想定して1セット毎に休憩を入れていたが、被験者はほとんど疲れを感じなかったという。一般に4次元を提示するシステムは、高い認知負荷や映像酔いを引き起こすこともあるため、本システムが低負担で4次元空間を提示できたのは特筆すべきことであると考えている。今後は、長期の実験や色による支援を除去した訓練を通じて実際に被験者に「4次元の空間認知能力」が身につくかどうかを検証していきたいと考えている。

参考文献

- [1] 藤木淳, 牛尾剛聡, 富松潔: OLE Coordinate System, インタラクティブだまし絵, インタラクション2007論文集, pp.39-40, 2007.
- [2] <http://www.jp.playstation.com/scej/title/mugen/>
- [3] <http://www.nintendo.co.jp/wii/r8pj/>
- [4] <http://www.timeshiftgame.com/>
- [5] A. Inselberg: The plane with parallel coordinates, The Visual Computer1, pp.69-91, 1985.
- [6] 村田誠, 橋本周司: 4次元データの直感的な理解のためのインタラクティブシステム, インタラクション2001論文集, pp.43-44, 2001.
- [7] Akira Inoue, Ryuko Itohara, Kuniaki Yajima, Keimei Kaino: CG Image Generation of Four-Dimensional Origami, The Journal of the Society for Art and Science Vol.4, No.4, pp.151-158, 2005.
- [8] 花村創史: Qube-4次元体感型ソフトウェア, 2004年度末踏ソフトウェア創造事業, 2004.
- [9] 渡辺啓蔵: 超表面の擬似反射による4次元超立体の可視化, 日本バーチャリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 3, pp. 437-442, 2005.