

卒業論文

バーチャルリアリティーを用いた
3次元視覚情報が人間の時間認識に及ぼす影響

2018年度卒業論文

指導教員 ミケレット・ルジェロ

横浜市立大学国際総合科学部国際総合科学科

物質科学コース

150168

小野 真

目次

第1章	序論	3
1.1	研究背景	3
1.2	研究目的	4
1.3	VRについて	4
第2章	先行研究	6
2.1	研究方法	6
2.2	実験手順	7
2.3	実験結果	8
2.4	先行研究と本研究の相違点	9
第3章	実験概要	10
3.1	Unity3Dについて	10
3.2	実験環境と空間の種類	10
3.3	実験方法	18
第4章	実験結果	20
4.1	空間エントロピーと時間評価の結果	20
4.2	被験者の頭の動きについて	21
第5章	考察	23
5.1	40秒評価による実験の考察	23
5.2	20秒評価による実験の考察	26
5.3	パターン4についての考察	26
第6章	まとめ	27
第7章	謝辞	28
第8章	文献	29
	実験説明書	30

第 1 章 序論

1.1 研究背景

時間は人間にとって重要な情報である。生きている環境の中で起こる出来事の時間を正確に把握し、自身の行動にその情報を反映させることが生存と適応につながる。また時間感覚は人間の幸福度と深い関係があるという研究報告もあり、人間がどのように時間を知覚しているかを理解することは日常生活に限らず、生きていく上で重要である。

時計で計測される時間はいつでもどこでも同じ間隔で同じように進行する。しかし人間が感じられる時間というのは様々な要因によって長くなったり短くなったりする。例えば何かに集中しているときや遊んでいる時間はあっという間に過ぎてしまうのに、退屈な時間というのは永遠のように思える。また子供のころには長かった 1 年間で大人になると短く感じてしまう。このような経験は誰にでも心当たりがあるのではないだろうか。このような時間の知覚・認識というのは世界中の学者によって議論されてきた。人間が知覚する時間の長さに影響を及ぼす要因は主に時間に対する注意といわれているが、この他にも身体的代謝、これまでに経験した情報の数、感情状態なども要因となっていることが知られている。

この時間経過に対する注意の要因を操作することで楽しい時間を長くすることは難しい。なぜならば、楽しいことをしているとき、その時間を長く感じるため時間経過に注意を向けようとすると、当の楽しいことに集中できないことになる。よって、楽しい時間を長く感じさせるためには時間に対する注意を逸らす必要があるからである。

要因として挙げられる経験情報や感情は個人差が大きく、その人の記憶までも遡る必要がある。これら全ての情報を測定することは膨大で複雑であるため、外界情報に対する注意に注目して実験、分析を行うことにした。

人間は通常、光や音などの外界の情報を目や耳などの感覚器で受容し、その情報を脳の特定の領域で処理し、知覚・認識する。しかし時間にはそれに対する受容器も処理する脳の領域も存在しない。人間の時間とは、脳が複数の領域で外界の情報を得て処理した結果、整理され生み出される認知の産物であると考えられている。そのため時間認識が変化する要因の一つとして五感情報に依存しているといえる。そして人間の五感情報を知覚する割合は視覚 87%、聴覚 7%、触覚 3%、嗅覚 2%、味覚 1%となっており、視覚情報が 8 割以上を占めている。このことから五感から生み出される時間認識に視覚が大きく影響していると考え、視覚情報による時間認識の研究を行った。

一口に「時間」といっても数秒という短い時間から 1 時間・1 年といった長いものまでさまざまな範囲がある。たとえば 1 日周期をもとにした時間感覚というのは、日常生活のリズムとして睡眠や食事といった人間の行動に影響を与えており、日光によってリセットされる。一方で数分から数時間の時間間隔は、計画的な行動に必要な意思決定にも関与する。

また 1 秒未満の短い時間は会話や身体運動、音楽のパターン認識において重要である。本研究では数秒から数分の時間感覚について研究を進めた。

また近年では視覚に関する技術は大きな発展を遂げており、テレビや映画、スマートフォンなどでは画像や映像技術の発展によりバーチャルリアリティー(VR)が開発され、娯楽として利用されるなど立体視技術が注目されている。本研究では現実世界の環境に近づけるため、立体視技術装置である VR を用いて実験を行った。後ほど VR について述べていく。

1.2 研究目的

時間感覚を理解し、解明することでさまざまな日常生活に応用することができる。たとえば授業が退屈で集中できない生徒などのいる教育現場であれば授業内容の改善・向上につながり、病院の待合室などでは待ち時間のストレスの解消、また時間をうまく利用することによって仕事の効率化にも応用することができる。

視覚情報と時間認識の関係性を分析することは心理学研究においても視覚情報研究においても重要性は高い。しかし 3 次元空間においてこのような関係を定量的に解析した実験はほとんど存在しない。本論文では VR を用いてこの 2 つの関係性を 3 次元空間という、より現実世界に環境を近づけた方法で解析することが最大の目的である。

また近年急速に発展しており注目を浴びている人工知能 (AI) という技術は人間の脳のメカニズムを応用しているため、脳と関係性が高い知覚情報科学研究をすることは重要であるといえる。しかし知覚情報科学という分野は物理学や数学などと比べて新しく、まだ歴史が浅いため、確立されている数式や理論モデルが数少ないのが現状である。そのため実験を通して単純な数式、理論モデルを構築することも目的とする。

1.3 VR について

ここでは、近年急速に発展しているバーチャルリアリティー (以後 VR と略す) について述べていく。VR とは、被験者 (ユーザー) にコンピュータなどによって作られた実際には存在しない人工的な空間を、あたかも現実に見えているように錯覚させる技術である。一般的には映像と音響で仮想現実を体験することができる。近年では映像ディスプレイがセットされたヘッドマウントディスプレイ (以後 HMD と略す) で体験が可能になり、医療やゲーム、不動産や教育の現場にも活躍されている。

HMD とは VR を体験する際に装着する大きなゴーグルのようなものである。VR は CAVE (多面立体映像装置) と呼ばれる技術を用いている。この専用ゴーグルを装着すると、ユーザーが立方体の中にいるとして、目の前の四方の壁、床、天井がスクリーンとなり、顔の向きに合わせて、見せるべき映像を映し出すという仕組みである。加速度センサー、ジャイロセンサー、地磁気センサーなどが顔の向きを検知する役割を果たし、コンテンツ側は各センサーから顔の向きの情報を受け、それに合わせて映像などを表示している。

VR の HMD には様々な種類があるが、大きく分けてスマートフォンなど携帯機器を使用

する簡易的なものとコンピュータによって高解像度のディスプレイモニターが搭載された 2 種類がある。今回の実験では高性能 HMD である Oculus 社製の Oculus Rift を装置として使用した。本研究ではより現実世界に忠実な環境で実験を行うことを目的としている。そのため仮想現実内に没入する必要がある、これは広い視野角や高解像度な表示が重要となる。それに対してこの装置はトラッキング精度が高く、左右の眼 2 枚のパネルで構成されており、解像度が 2160×1200 pixel と高解像度である。また人間の左右の視野角が左右ともに 100° であるのに対して装置は 110° であるためすべての角度をカバーしているため、縦横の制約のない広がった世界を感じ取ることができる。

このように仮想空間が確立されるわけだが、この空間はユーザーすなわち VR 体験者のみが認識するものである。体験者は HMD を利用して得られる知覚的性質が現実空間の環境に総じて似ている、つまりリアルであると認識するのである。

ここで VR における認識はユーザーしか知覚することができないと述べたが技術の進歩により近年ではミックスドリアリティ (MR) と呼ばれるものに注目が集まっている。MR とは現実空間と仮想現実を融合して同時に影響する複合現実世界を作り出す技術のことである。VR は体験者自身も仮想空間内に入ることで成り立つものであったが、MR は体験者が生きている現実空間に仮想の物質を知覚させることができる。これにより VR をよりリアルに感じることができ、同じ MR 空間を複数の人間が同時に体験することも可能になる。これは VR よりも一歩進んだ技術であり、本論文では詳しく触れないが、エンターテインメントからビジネスシーンにいたるまで、あらゆる分野で今後の成長が期待される技術である。

第2章 先行研究

時間認識の研究報告はいくつか存在しており、時間認識が変化するのは時間に対して注意する頻度によるものであると言われている。そして、ここでは「視覚情報の複雑さ」が時間に対する注意に関係していると考え、視覚情報が時間認識に対してどのように影響を与えているかを調査した研究を紹介する。

2.1 研究方法

MAURIZIO CARDACI(2007)^①の実験では3種類の合計18個の絵画を用意し、絵画の視覚的情報の複雑さを計算することによって知覚時間と視覚情報の関係を明らかにしている。3種類の絵画には特徴があり、一つ目は神話を描写したダイナミックで生き生きとしたディテールの絵であり(図1)二つ目は図3と表現が似ているが人物がおらず動きのない風景の絵(図2)、三つ目は幾何学模様のような単調な平面的な絵である。(図3)実際に実験に使用した絵画を以下に示す。(図4)

この実験は研究の目的を知らないボランティアのスタッフと大学生50人で行った。そして被験者がこの取り組みに対して視覚的に気が散るのを減らすため薄暗い部屋で行い、暗闇に慣れるため数分時間を設けた。また、より自然な環境で実験を行ってもらうため、できるだけ快適な状態で座るようにし、勉強などを行っているときのいつも通りの姿勢をとるようにさせた。



図1 : Category I のうちの一つ



図 2 : Category II のうちの一つ

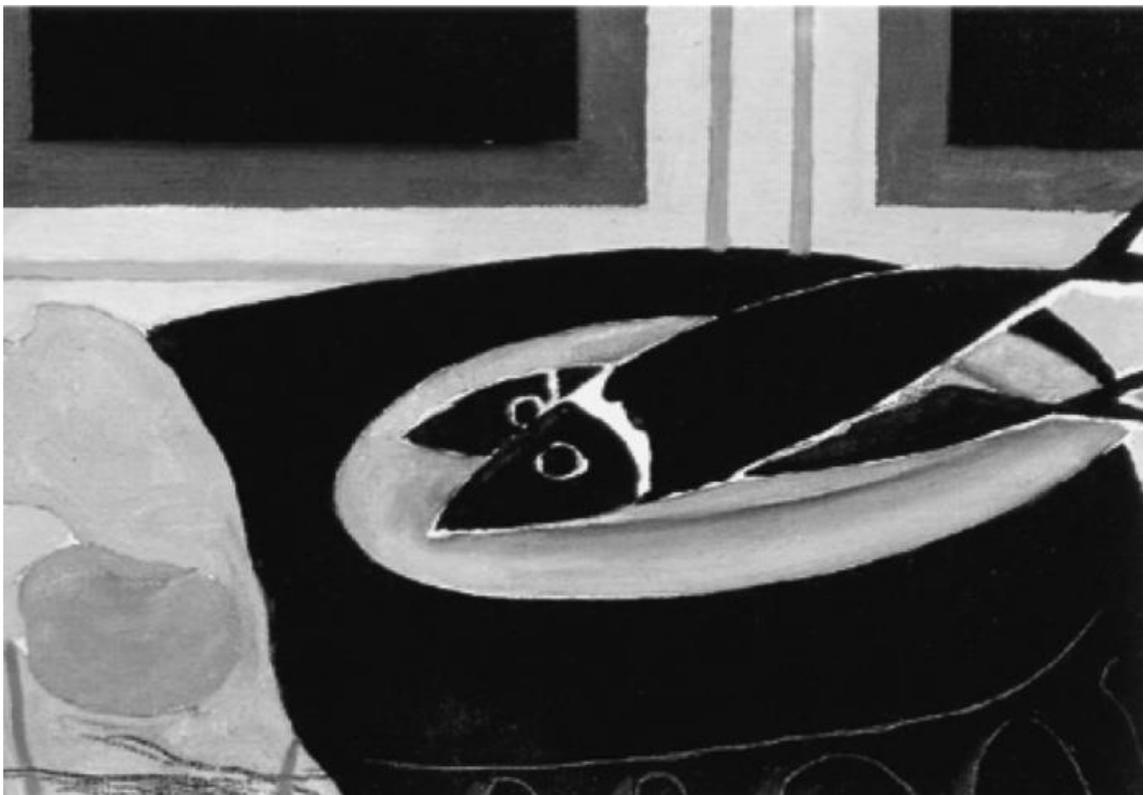


図 3 : Category III のうちの一つ

Artists	Painting	Category	Year
Nicholas Poussin	<i>Triumph of Pan</i>	I	1636
“”	<i>Triumph of Flora</i>	I	1631
“”	<i>The rape of the Sabin women</i>	I	1634
“”	<i>Apollo and the Muse</i>	I	1630
“”	<i>Bacchanal at Pan's statue</i>	I	1631
“”	<i>The Andrians (Bacchanal)</i>	I	1628
Frederic Church	Landscape	II	1848
Arnold Boecklin	<i>Island of death</i>	II	1880
Gustave Caillebotte	<i>Yerres — Rain (part.)</i>	II	1887
Frederic Church	<i>The natural bridge</i>	II	1852
“”	<i>La Maddalena</i>	II	1854
George Innes	<i>Medfield</i>	II	1861
Piet Mondrian	<i>Composition IX</i>	III	1920
Georges Braque	<i>The black fish</i>	III	1942
Marc Franz	<i>Blue horses</i>	III	1911
Oscar Bluemner	<i>Venus (part.)</i>	III	1924
Helen Frankenthaler	<i>Seeing the moon in a hot summer day</i>	III	1989
Paul Klee	<i>Station L112, 14 kilometers</i>	III	1920

図 4：実験に使用した絵画一覧

2.2 実験手順

研究の真の目的を伝えないよう時間に関することは言わず、実験の説明と要約を述べた後、スクリーン上に表示される画像を細部まで観察するように指示する。そして被験者がリラックスしたら被験者自身にキーボードを押してもらい、するとそれから 90 秒間画像が表示される。スタートしてから 15～50 秒でランダムに一回チャイムが鳴るようにし、一回目のチャイムから 30 秒後もう一度チャイムを鳴らす。これらのタイムマーカはプログラミングによってコンピュータで自動的に作動させる。そして 90 秒が経過し、スクリーンから画像が消えたら被験者にいくつか気をそらすような質問をする。その質問の中に我々が本当に知りたい情報である画像の表示時間と 2 回のチャイムのインターバル時間を含め、その回答を記録する。

2.3 実験結果

画像の表示時間とチャイムのインターバル時間両方で平均時間を算出した。実際の画像表示時間は 90 秒であるが、得られた知覚時間の範囲は 20～210 秒であった。また分散を分析した結果[F=6.3 p<0.002]で Category ごとに有意差があり、相関があることが確認された。MAURIZIO CARDACI(2007)^①の研究では絵画の複雑さというのは情報データのばらつきであると定義されており、データの乱雑さ・不確定さ・曖昧さを表す統計的尺度である

Shanon のエントロピーで表している。これは以下の式で計算でき、Category ごとに算出した。

$$H = - \sum_{i=1}^n p(i) \log_2 p(i) \dots \textcircled{1}$$

H : エントロピー n : ピクセル数 i : ピクセルの位置 p : ピクセルの出力存在確率

Category ごとの実験結果とエントロピーの値を以下の表に示す。

	実際の時間	被験者の知覚時間		
		Category I	Category II	Category III
画像の表示時間 (秒)	90.00	61.74	73.38	85.15
インターバル時 間 (秒)	30.00	20.98	24.77	29.27
エントロピー		0.74	0.72	0.68

表 1 : 実験結果

この実験結果から人間の知覚時間の歪みはエントロピー、つまり視覚情報の複雑さと相関関係にあることがわかり、情報が複雑であればあるほど人間の認識する時間は実際の時間より短くなることが明らかになった。

2.4 先行研究と本研究の相違点

本先行研究ではスクリーン上に映し出された画像を視覚情報の対象としている。したがって現実世界の 3 次元空間で視覚情報が時間認識に影響を与えているか明らかでない。また画像の種類が神話・人物・風景など、被験者の体験や記憶によってとらえ方の違い、なじみの有無など個人差がでてくる可能性がある。これらの課題点から本研究では近年注目を集めている技術装置バーチャルリアリティ (VR) を使用して仮想空間内で実験を行った。これによって立体的な視覚情報が人間の時間認識に影響を与えているのがわかるだけでなく、顔の向きによって映し出される視界が移動するため現実世界の環境に限りなく近づいた状態で実験を行うことができる。また本研究で使用した 3 次元空間は人物や風景が存在せず、意味のない空間を扱うことで被験者の文化や記憶に影響しないようにした。

第 3 章 実験概要

3.1 Unity3D について

今回の実験で被験者が体験する 3 次元空間は Unity3D というゲームエンジンによって作られたものである。Unity3D は主にコンピュータや携帯機器向けのゲームを開発するために使用されている。このゲームエンジンはプログラミング C 言語 (C++) で書かれている。スクリプト言語として C#、JavaScript、Boo の 3 種類のプログラミング言語によって制御することができる。今回の実験環境では C# を使用している。

Unity3D というゲームエンジンを実験に使用したのは、その空間づくりの手軽さにある。本実験では異なるパターンの 3 次元空間を複数用意する必要があり、その空間情報を分析するため記録しなければならない。Unity3D はプログラミングによりこの 2 つのタスクを簡易的に行えるほか、HMD の動きも記録することができるため被験者の頭の位置や顔の向きなどから分析することができるという利点がある。加えて瞬時に複数用意した空間を切り替えて映し出すことができるので被験者の実験に対するストレスがかからない。現在までにこのゲームエンジンを用いて知覚実験を行った科学者はいないに等しい。

3.2 実験環境と空間の種類

被験者は HMD を装着すると、仮想現実の世界に入る。被験者は太陽を模した照明によって照らされ、水平線まで何もない空間にいる。その空間内にプログラミングによって物体を出現させ、被験者は空間内全体を観察する。

ここで、実験内で使用した空間のパターンを紹介する。本実験ではすべての物体の色を白、形を立方体に統一した。これによって色による時間知覚の違いや図形ごとのエントロピーを考える必要がなく、物体の配置によつてのみの複雑さを明確に検証することができる。今回の実験では物体配置パターンの違う 4 種類の 3 次元空間を用意した。これらを以下に示す。

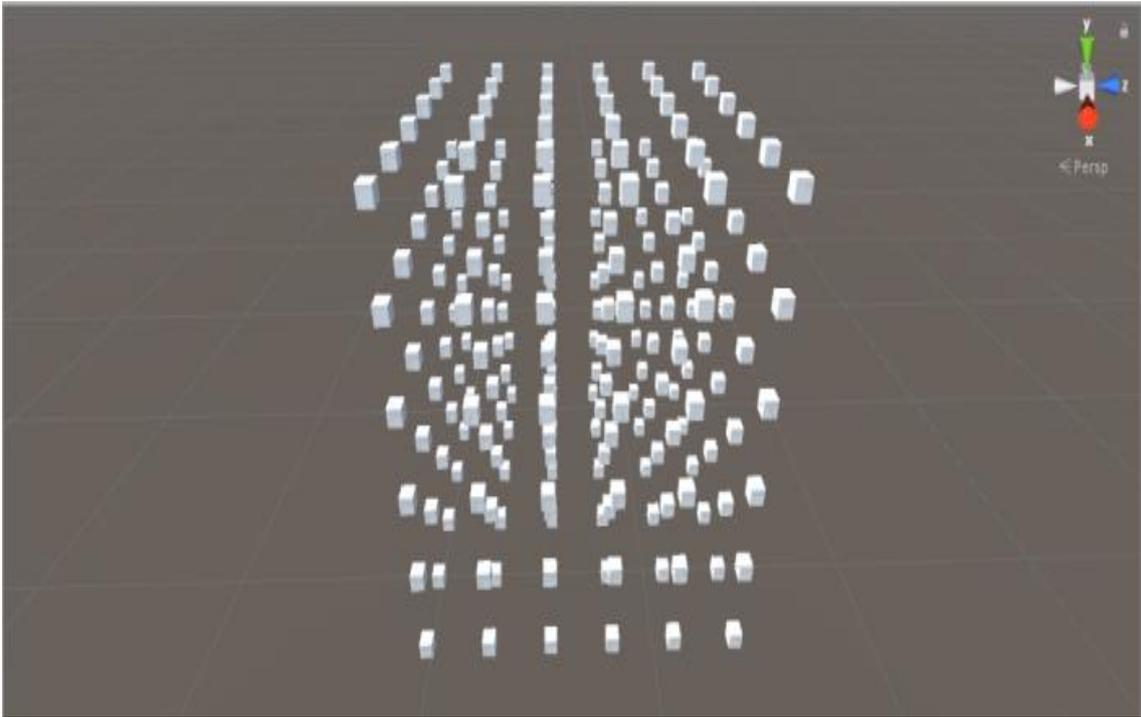


図 5 : 空間パターン 1 (全体図)

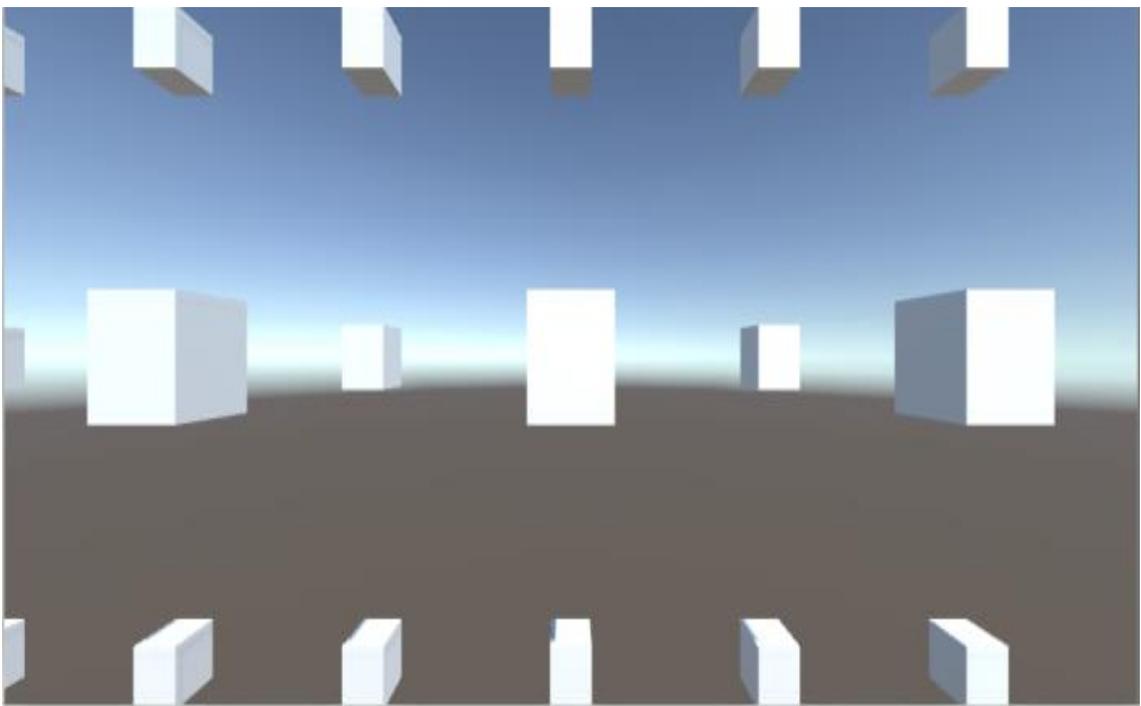


図 6 : 空間パターン 1 (被験者の視界)

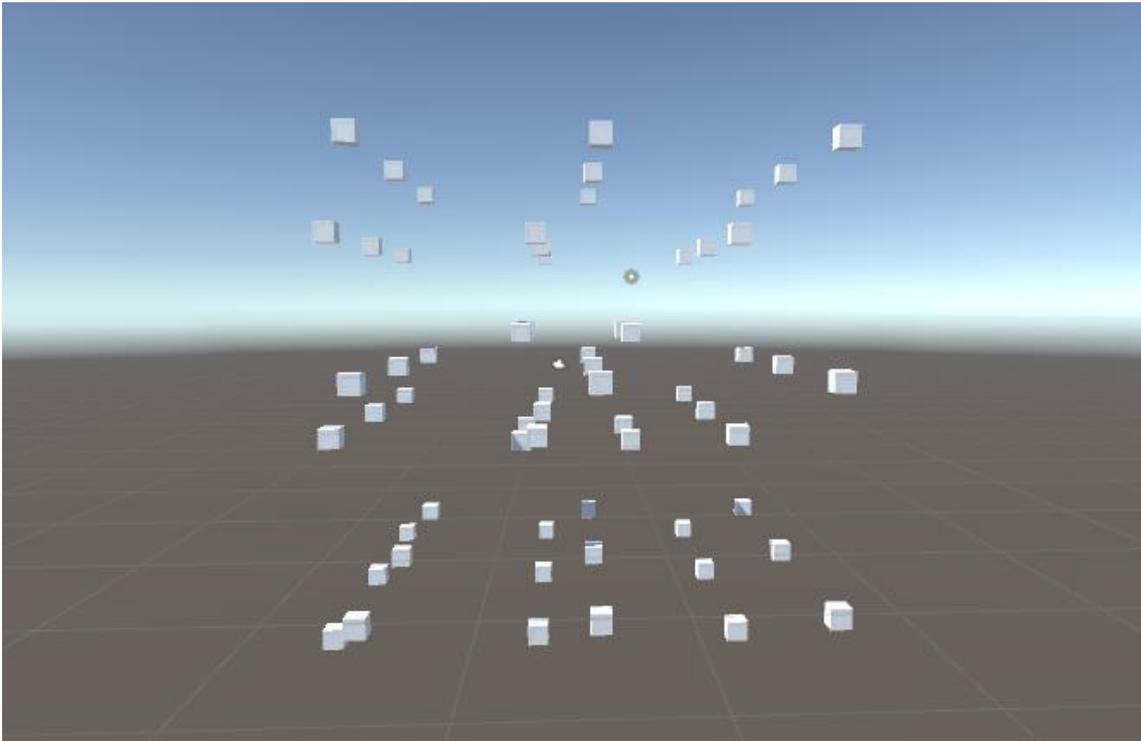


図 7 : 空間パターン 2 (全体図)

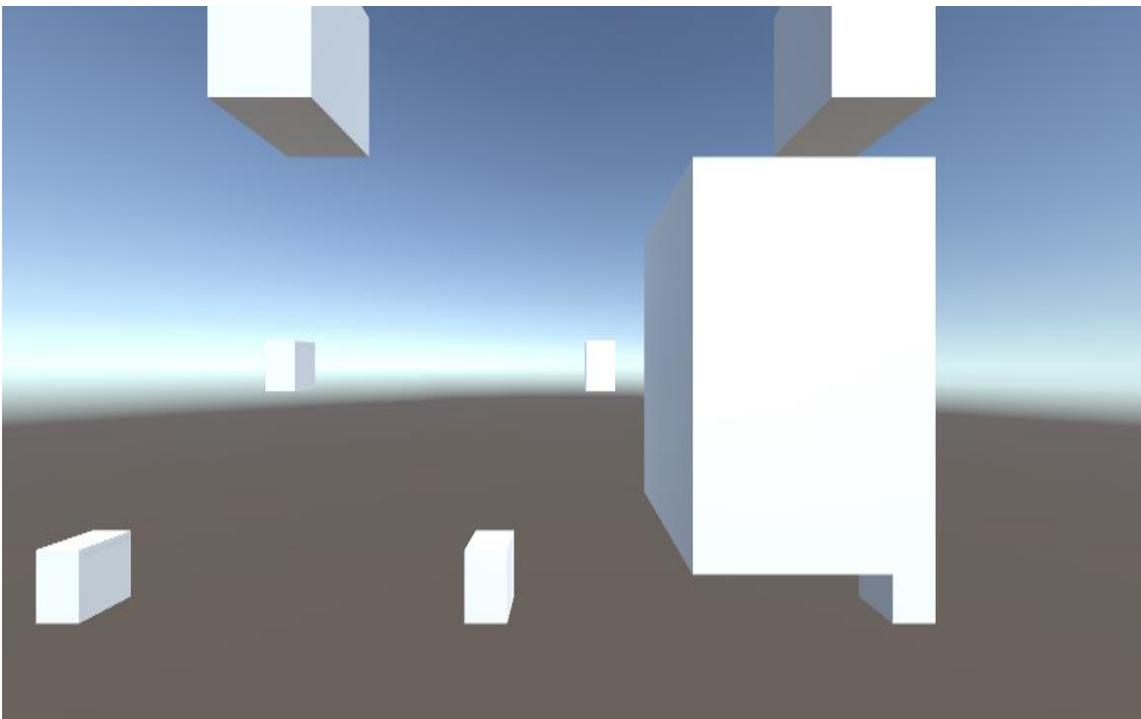


図 8 : 空間パターン 2 (被験者の視界)

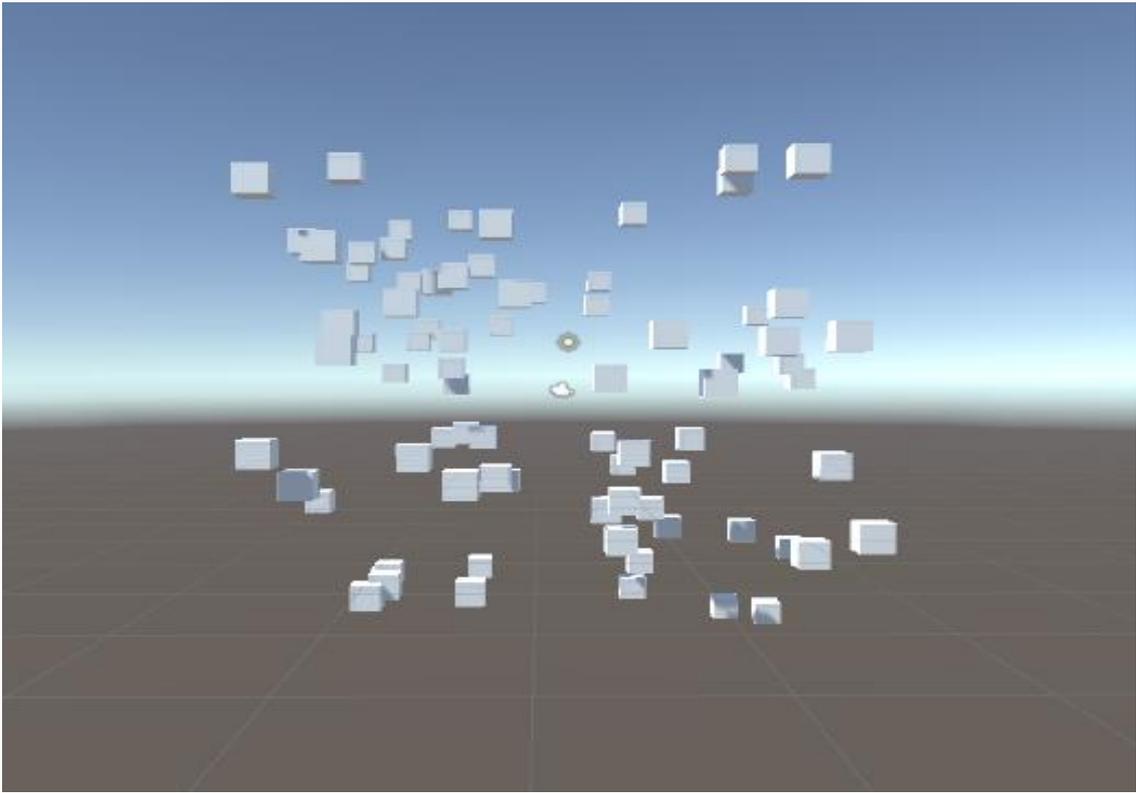


図 9 : 空間パターン 3 (全体図)

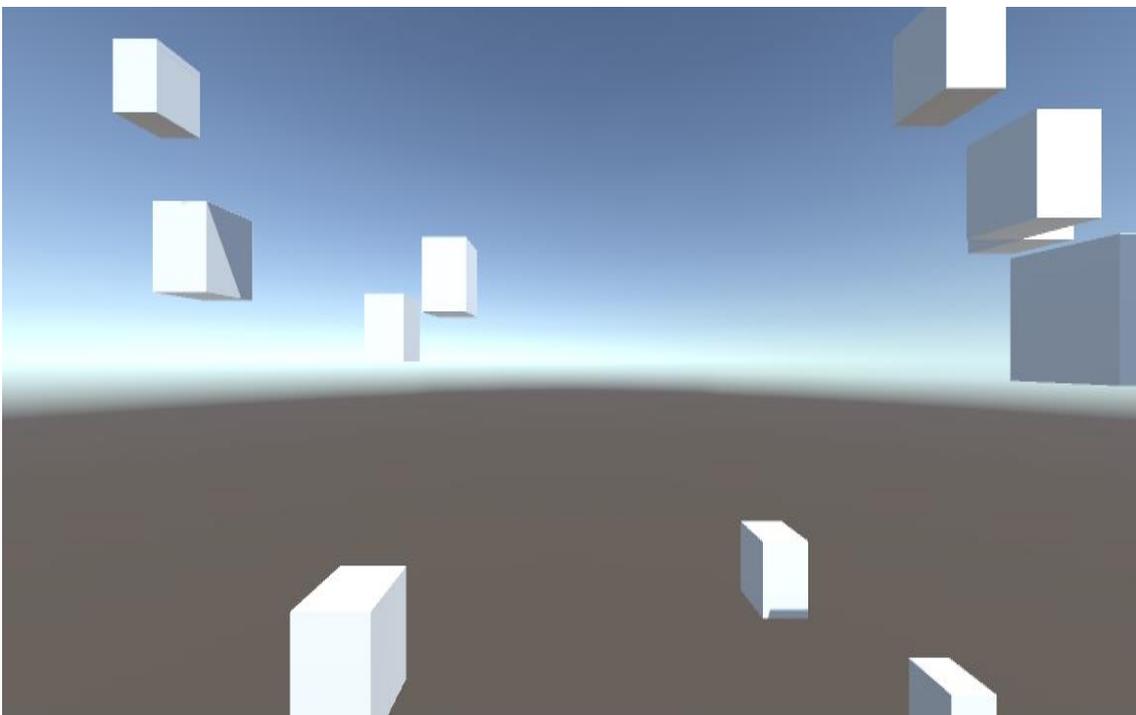


図 10 : 空間パターン 3 (被験者の視界)



図 11 : 空間パターン 4 (全体図)

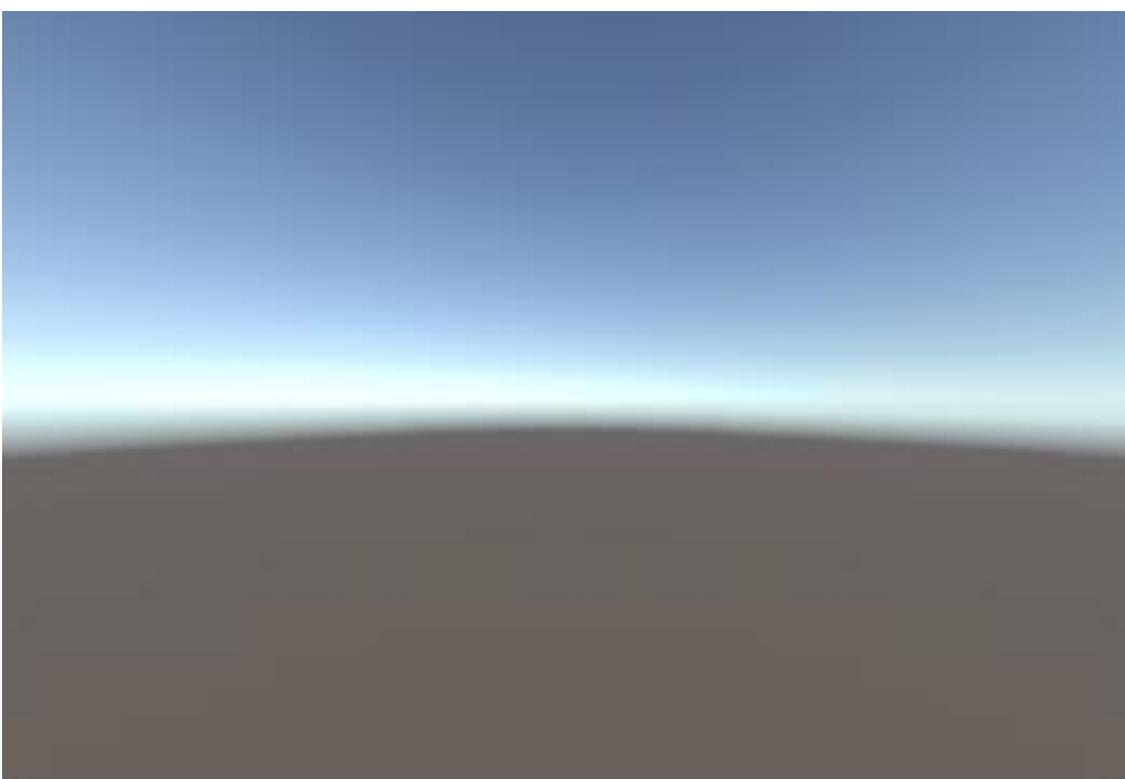


図 12 : 空間パターン 4 (被験者の視界)

まず、パターン 1 (図 5、図 6) は物体が分子の結晶のように規則正しく面心立方格子状に配置されており、合計 216 個存在する。次に、パターン 3 (図 9、図 10) は物体の数が合計で 82 個あり、x 座標・y 座標・z 座標すべてランダムに配置されている。そして中間的な空間として規則正しく配置されている空間に複数の物体をランダムに 62 個配置したパターン 2 (図 7、図 8) を用意し、最後に対称実験として空間内に物体が一つも存在しないパターン 4 (図 11、図 12) を用意した。

また、用意した空間内に配置した全物質の座標を csv ファイルに記録、保存されるようプログラミングを行った。この情報をもとに第 2 章で用いた①の式を用いることで空間の視覚情報の複雑さを求めていく。先行研究では画像をピクセル単位に分割して計算を行っていたが、今回の実験では全空間を $5 \times 5 \times 5$ に分割した時の空間単位で計算を行う。よって n は分割した空間数、 i は空間の位置、 p は分割された空間内の物質存在確率とした。

$$H = - \sum_{i=1}^n p(i) \log_2 p(i) \cdot \cdot \cdot \cdot \textcircled{2}$$

H : エントロピー n : 空間数 i:空間の位置 p:空間の物質存在確率

具体的な計算手順を説明する。まずプログラミングによって記録された物質の座標からプログラミングソフト `python` を使用して散布図・ヒストグラムを作成し、1 つの空間ごとにいくつ存在するか記録する。そして全空間内に存在する物質の総数から空間ごとの確率を算出し、これを $p(i)$ として以下の式に代入することでエントロピーを求めた。この結果、エントロピーの値がパターン 1 は 0、パターン 2 は 1.4619、パターン 3 は 2.8129 となった。

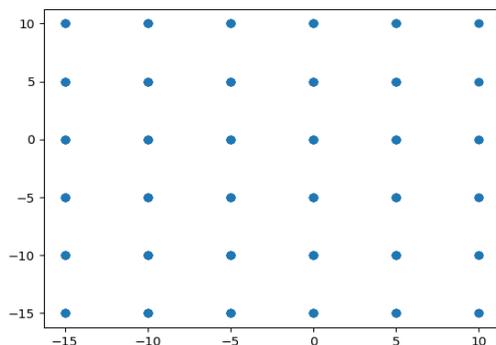


図 13 : パターン 1 の散布図

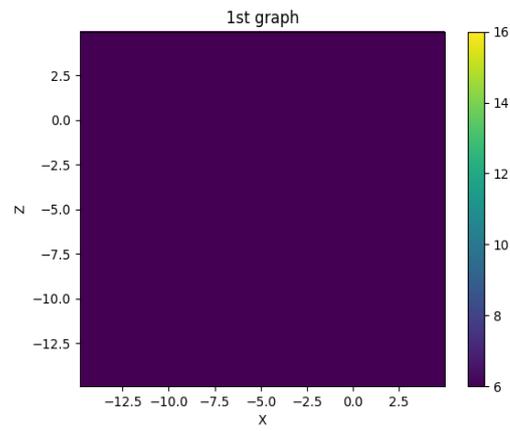


図 14 : パターン 1 のヒストグラム

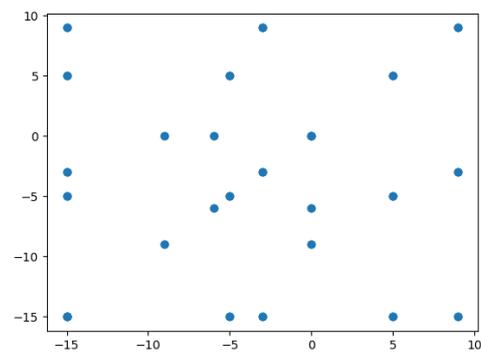


図 15 : パターン 2 の散布図

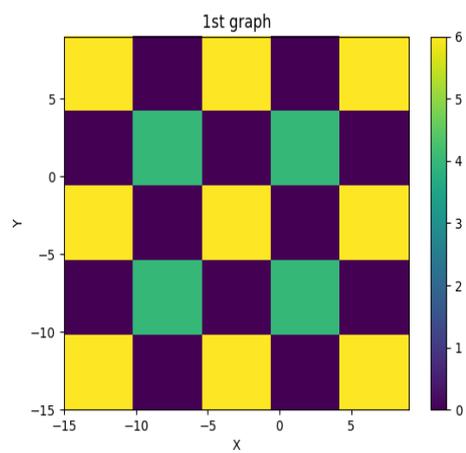


図 16 : パターン 2 のヒストグラム

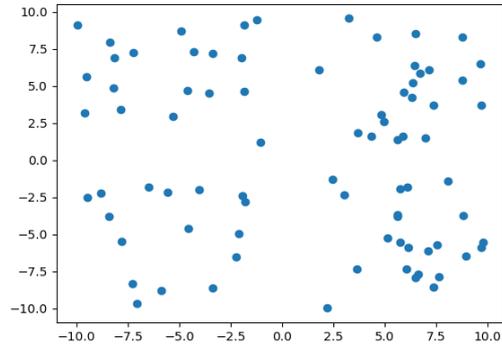


図 17 : パターン 3 の散布図

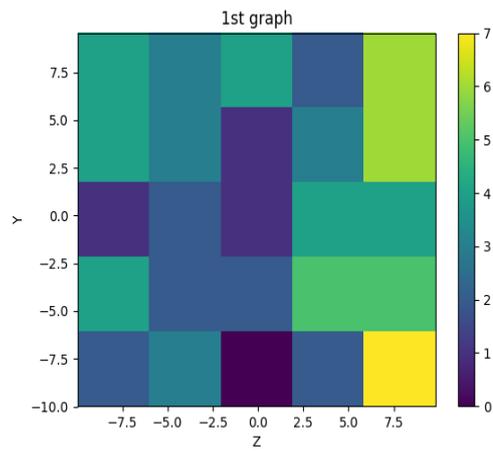


図 18 : パターン 3 のヒストグラム

今回、対称実験として用意したパターン 4 は空間の物質情報が存在しないため、エントロピーの計算を行うことができなかった。

3.3 実験方法

被験者は健康な晴眼者 5 名（眼鏡、コンタクトレンズなどの矯正も含む）で、椅子に座った状態で実験を行った。被験者には「実験説明書」（最終頁参照）を熟読してもらった後、思い込み、勘違いを防ぐため口頭での説明を行い、被験者全員が同じ環境で実験操作をできるようにした。さらに被験者に対しては必要以上に話かけることはせず、静かな状態で実験に集中できるようにした。

今回の実験では実験時間が長くなると疲労して退屈な状態になってしまい、正確な時間評価が困難となる。そのため被験者の負担を考慮して実験時間を 40 秒とし、この時間を評価してもらった。また今回、これに加えて実験時間の半分である 20 秒が経過したと被験者が認識した実際の時間も記録した。ちょうど中間の時間評価をすることによって実験中の被験者の体内時間がどのように進んでいるのかを知ることができると考えたためである。また短い時間を扱うことで被験者の評価がより正確になり、データの誤差が小さくなることも考えられる。この時間評価手法として再生法という方法を採用した。再生法とは経験した時間と主観的に同じ長さになるように合図をするなどして時間を評価する方法である。推定評価手法として代表的なマグニチュード推定法というものも存在するが、これよりも理解のしやすい手法であるという利点がある。

実験手順はまず被験者は基準時間として VR 装置を付けない状態で時計を見ながら本来の 20 秒を数える。その後 HMD を装着し、映し出された 3 次元空間を 40 秒みる。このとき被験者は実験時間を伝えず、知らないままの状態である。空間が映し出されて 20 秒が経過したと被験者が判断したら手元のスマートフォンをタップし、その時間を記録した。そして 40 秒が経過したら自動的に空間が映し出されなくなるので止まった後 HMD を外し、時間評価を含めたいくつかの質問用紙に回答してもらおう。その後、再度 HMD を装着し、同じ手順で全 4 パターンの実験を行った。実験を行った空間パターンの順番は偏りが出ないように被験者ごとにランダムに設定した。このとき被験者が研究の目的を知ってしまうと時間を数えることに注意が向いてしまい、視覚情報に対する注意がなくなってしまう。これを防ぐため質問内容には本研究とは無関係な質問をいくつか含め、実験が終了するまで研究内容を悟らせないようにした。

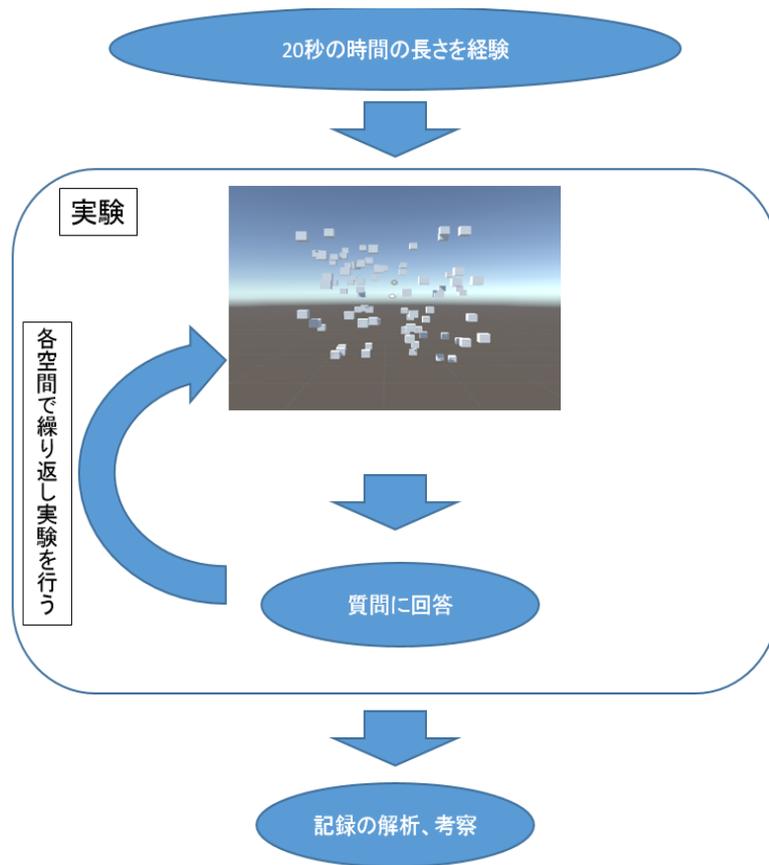


図 19：実験操作の流れ

第 4 章 実験結果

この章では、以上で述べてきた実験で得られた結果について述べていく。ここでは第 5 章で実験の考察をしていくために得られた被験者データなどを表やグラフなどでまとめ、そこからわかることを述べていく。

4.1 空間エントロピーと時間評価の結果

実験によって得られたデータを被験者ごとにまとめ、各空間パターンで見積もった時間と実際の時間の差を算出しまとめたものを以下の表 2・表 3 に示す。また今回の実験データは「時間の長さ」であるが、被験者によって初期状態の時間知覚が異なるので比率尺度ではない。しかし被験者ごとの 1 秒の間隔は一定であり間隔尺度に従ったものとみなすため平均値を求めることは数量的に意味をもつ。よってパターンごとに平均時間を算出しグラフにまとめた。(図 20)

実験結果からわかることを述べていく。表 2 では被験者が 20 秒だと認識しているときの実際の時間である。この時間が長くなるほど、長い時間が過ぎているのにも関わらず被験者は 20 秒と認識していることになるので実際の時間より時間を短く見積もっているといえる。表 3 は 40 秒が経過しているときの被験者の時間評価である。これは先ほどとは逆にこの時間が短いほど実際の時間より時間を短く見積もっているといえる。

これらの値を実際の時間で差をとることによって被験者の時間評価がどれだけズレが生じているのかを算出し、各パターンのエントロピーと比較したものを表 4 に示した。結果を見てわかるように 20 秒評価ではパターン 1 よりもパターン 2、パターン 3 の時間評価が短くなっているが、この 2 つの差がほとんど見られなかったため、複雑さによって時間評価が短くなるという仮説を立証するには不十分である。しかし 40 秒評価ではエントロピーが大きい空間ほど時間を短く見積もっており、仮説と一致した。またパターン 4 は 20 秒、40 秒どちらの時間評価でも他パターンとの関係性は見られなかった。

被験者	パターン 1	パターン 2	パターン 3	パターン 4
1	26.0	27.0	24.0.0	18.0
2	23.0	21.0	25.0	24.0
3	17.0	22.0	20.0	20.0
4	23.0	23.0	23.0	21.0
5	19.0	20.0	21.0	25.0
平均	21.6	22.6	22.6	21.6

表 2：被験者の 20 秒間評価に対するパターンごとの実際の時間

被験者	パターン 1	パターン 2	パターン 3	パターン 4
1	30.0	30.0	25.0	35.0
2	35.0	32.0	28.0	32.0
3	31.0	30.0	25.0	32.0
4	40.0	40.0	35.0	37.0
5	35.0	32.0	35.0	30.0
平均	34.2	32.8	29.6	33.2

表 3 : 実際の 40 秒間に対するパターンごとの被験者の時間評価

	パターン 1	パターン 2	パターン 3
20 秒	-1.6	-2.6	-2.6
40 秒	-5.8	-7.2	-10.4
エントロピー	0	1.4619	2.8129

表 4 : パターンごとのエントロピーと被験者の時間評価のズレ関係

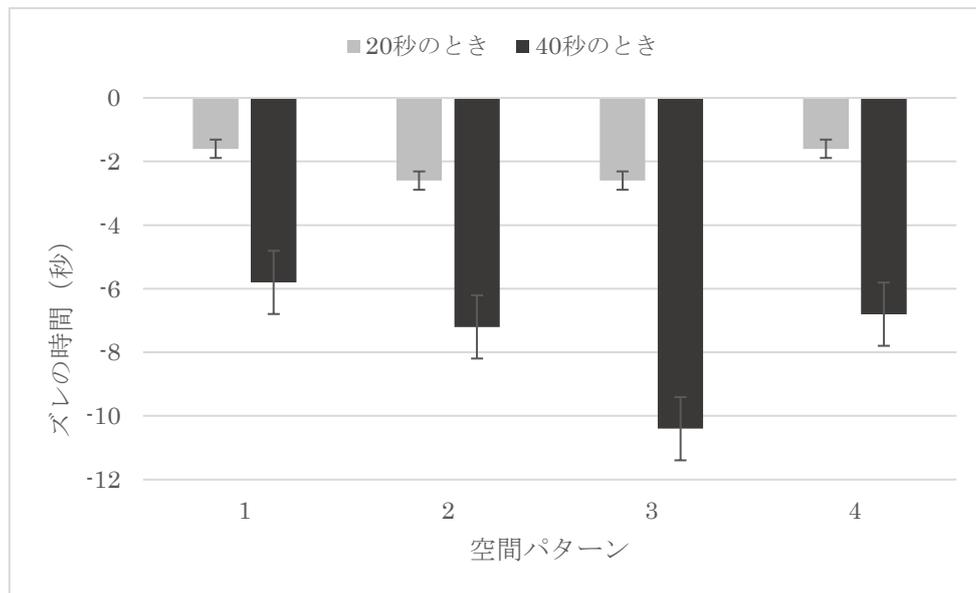


図 20 : パターンごとの被験者の評価時間と実際の時間とのズレ

4.2 被験者の頭の動きについて

プログラムによって記録した HMD の角度から、実験中の被験者の頭の向きを算出し、解析を行う。記録された角度も 3 次元であるため、x 面 y 面 z 面の 3 つがあり、それぞれフーリエ変換を行い、その平均をとることによってそのパターンでのフーリエ変換とした。これを被験者ごとに行い、パターンごとに平均をとりグラフ化して比較した。このグラフは縦

軸が大きいほど被験者の頭が大きく動いており、グラフが右に行くほど素早く動いていることを示している。

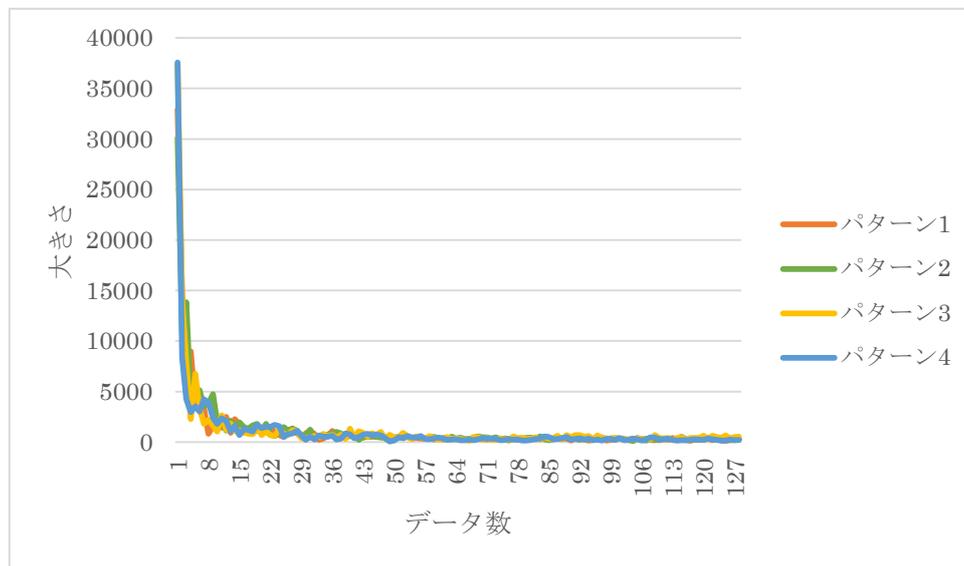


図 21 : 各パターンでの被験者の頭の角度のフーリエ変換したグラフ

図 21 を見ると被験者はどのパターンであってもほとんど同じ程度頭を動かしており、あまりパターンによって差は見られなかった。

第5章 考察

この章では第4章で得られた実験データ、結果から裏付けられること、推測されることを述べていく。以下本実験データである被験者の時間評価を t_i 、実際の時間を t_r 、エントロピーを E とする。

5.1 40秒評価による実験の考察

第4章で述べたように、40秒評価の実験結果では空間が複雑である、つまり空間の視覚情報エントロピーが高くなるにつれて被験者は時間を短く見積もることが分かった。この実験では3次元の空間を見る場合でも2次元の画像を見た場合と同じように視覚情報が複雑になるにつれて時間を短く見積もることが確認された。これは空間情報が複雑になることで、視覚に対する脳の処理の負荷が大きくなってしまう。それによって視覚に対する注意が大きくなり、時間に対する注意が少なくなった結果時間を短く見積もったと仮説を立てた。脳の処理の負荷が大きくなるほど被験者が実際の時間よりも評価時間を短く見積もることから、脳の負荷のパラメータを β として $dt_i = \frac{1}{\beta} dt_r$ という関係にあることがわかる。そ

して実験結果から t_i は E のみに依存しておらず、何かしらのパラメータが関与していると考えられる。第1章でも述べたように人間は機械のように正確で規則的でなく、視覚情報以外にも感情や体調、代謝などの対内的なエントロピーが存在する。また被験者ごとに初期状態の時間の長さが違うことから対内的なエントロピーを α とし、対外的なエントロピーである E との合計を脳の負荷パラメータ β とした。

$$dt_i = \frac{1}{\beta} dt_r \quad (\ast \beta = \alpha + E)$$

またこの式を変形すると

$$\frac{dt_i}{dt_r} = \eta = \frac{1}{\beta}$$

という関係にあることがわかる。この式は t_i を変位として考えると実際の時間1秒あたりの体内時間が進行する速さと捉えることができ、これを η とした。仮に被験者の時間評価と実際の時間に差が生じなかった場合、当然だが $dt_i = dt_r$ であるため $\eta = 1$ となる。

さらに上記の式を変形し、多くの謎に包まれている被験者ごとに変化する体内エントロピー α を求めた。これは

$$\begin{aligned} \alpha &= \beta - E \\ &= \frac{1}{\eta} - E \end{aligned} \quad (\ast \eta = \frac{dt_i}{dt_r})$$

で計算することができ、これらの値を被験者ごとに計算し、まとめたものを以下の表に示す。

被験者	パターン 1	パターン 2	パターン 3	パターン 4
1	0.75	0.75	0.63	0.88
2	0.88	0.80	0.7	0.80
3	0.78	0.75	0.63	0.80
4	1	1	0.88	0.93
5	0.88	0.8	0.88	0.75

表 5 : 被験者の体内時間の速さ[被験者の時間 (秒) /実際の時間 (秒)]

被験者		パターン 1	パターン 2	パターン 3
1	α	1.33	-0.13	-1.21
	β	1.33	1.33	1.60
2	α	1.14	-0.21	-1.38
	β	1.14	1.25	1.42
3	α	1.29	-0.13	-1.21
	β	1.29	1.33	1.60
4	α	1.00	-0.46	-1.67
	β	1.00	1.00	1.14
5	α	1.14	-0.21	-1.67
	β	1.14	1.25	1.14

表 6 : 被験者のパターンごとの体内エントロピーと脳の処理の負荷

表 5 から情報が複雑であるほど人間は体内時間の進行が遅くなり、逆に単調であるほど早く進行することが分かった。この結果から簡易的であるが、実際の時間に対して体内時間がどのように進行しているかを可視化した図式的なモデルを作成した。(図 22、図 23)

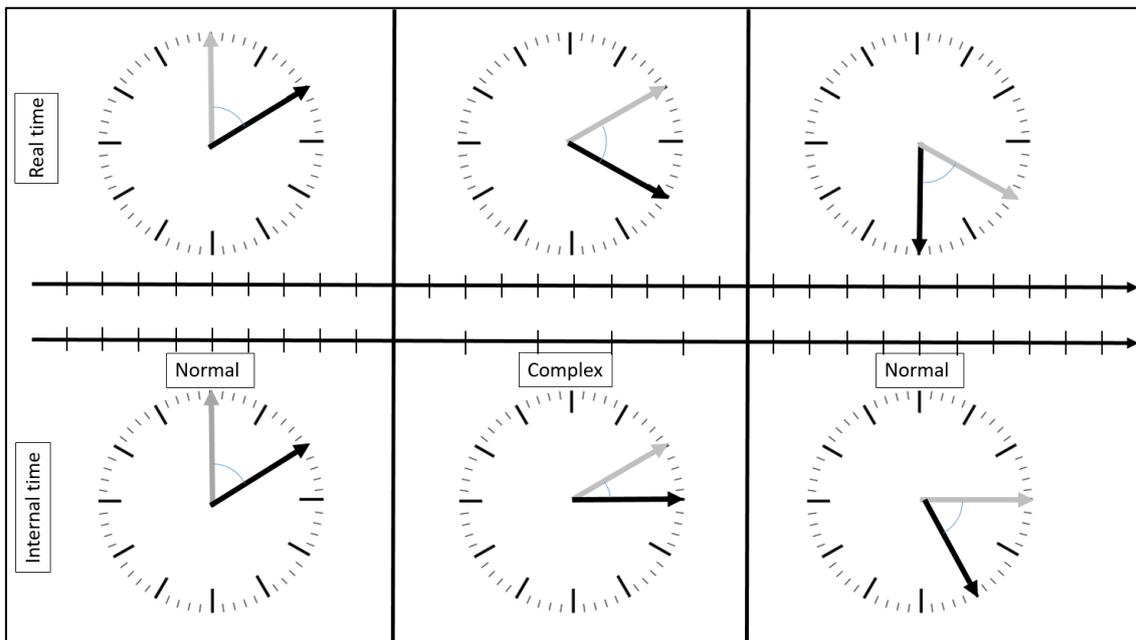


図 22：複雑な場合の体内時間モデル

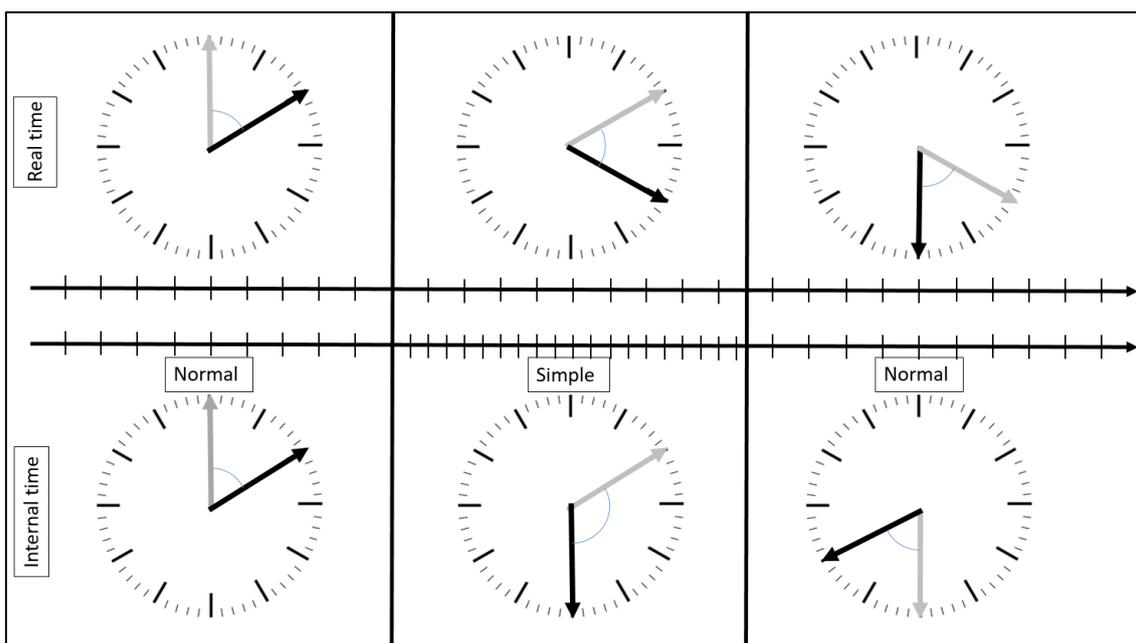


図 23：単調な場合の体内時間モデル

表 6 では時間を短く見積もるほど β の値が大きくなっていることがわかり、情報が複雑になるにつれて被験者の脳の負荷が大きくなり、時間に対する注意力が減少した結果、時間を短く見積もったことが推測される。

しかし被験者ごとの体内のエントロピーの値を α と仮説を立てたが、パターンごとに違う値を示している。これは実験を行う際に体験した空間パターンの順番、実験への慣れなどに

も影響していると考えられるが、 β と同様に空間パターンと相関があるため、 α はまだ空間エントロピーに依存している値である可能性が考えられる。

5.2 20 秒評価による実験の考察

上記の 40 秒評価に対して 20 秒評価の実験ではパターン 2、3 に差が見られなかった。この原因として距離や速度など様々なことでもいえるが、一般的に人間の推定評価というのは遠方の物体であったり、推定単位が長くなったりするほど生じる誤差が大きくなる傾向にある。これと同じように、20 秒という短い時間に設定したことにより視覚情報による脳の負荷に関係なく、被験者が時間を正確に評価したからであると推測される。エントロピーの測定ができなかったパターン 4 の結果と比較してもほとんど差が見られないことからこの推測は妥当であるといえる。

5.3 パターン 4 についての考察

パターン 4 についての考察を行う。この空間は物質が存在しないためエントロピーの計算を行うことができなかったが、観察するものが何もないため時間評価は最も長く見積もる結果になるだろうと予想していた。しかし実験結果を見ると被験者によってばらつきがあるが、全体的に時間を短く見積もっており、予想と反した結果となった。また平均をとって比較しても他のパターンとの関係性は見られなかった。この要因を考察する。

実験結果を見るとパターン 2 とほとんど同じ程度時間を短く見積もっている。つまり何もないパターン 4 の実験中でも被験者は何かしら脳で作業が行われ、時間に対する注意が減少したと推測される。また、実験中に実験以外のことを考えていた時間はあったかという質問（最終頁参照）に対してほとんどの被験者は「ない」と回答しており、「ある」と回答した被験者は他の被験者に比べて時間評価が長くなっていた。さらに第 4 章の図 23 より空間に何も存在しなくても頭の向きは他のパターンと同じように空間内を見渡している。これらのことからパターン 4 は空間内に何も存在しないが、それゆえ被験者は逆にどこかに物質が存在するのではないかと思い、空間内を隅々まで見渡して探してしまったと推測される。これによって結果的にタスクに集中し、時間に対する注意が減少し、時間を短く見積もったと考えた。

第6章 まとめ

これまで視覚情報の複雑さと時間認識について考察をしてきた。結果として実験前の仮説通り、3次元空間でも視覚情報が複雑であるほど時間を短く評価することが確認された。これは複雑な情報になると脳の処理の負荷がおおきくなり、時間に対する注意が減少したからであると考察した。また、人間の体内の時間進む速さの式を確立し、脳の負荷の大きさによって時間認識が変化する理論モデルを考察した。

今後の展望としては、本研究では物質の位置による情報のみで時間知覚を行ったが、色の種類によって時間知覚が変化するという研究報告もでていたため、色が人間の脳に与える影響というものも研究対象にしていきたいと考えている。また、被験者の感じ方など曖昧であるため、被験者のデータをより定量的に測定するために実験方法を改善する必要がある。さらに実験中、被験者に専用の装置を装着してもらい、脳波を測定することで脳の状態を把握できると考えた。これにより、どの情報が脳にどのように影響を与えているかを推測することができ、より深い考察ができると考えた。

第7章 謝辞

本研究を進めていくにあたり、研究テーマ設定、実験方法データ分析方法などすべてにおいてご指導賜りましたミケレット・ルジェロ教授には心から感謝申し上げます。また、視覚情報研究室のメンバーには研究のご協力、意見なども多くいただきました。この場を借りて感謝申し上げます。

また本研究における実験の際に被験者を快く引き受けてくださった皆様に感謝いたします。

2018年11月23日東京理科大学—横浜市立大学合同シンポジウムにてポスター発表に参加致しました。会場の設営、進行をしていただいた東京理科大学、横浜市立大学の企画担当の皆様、また参加させていただきお話をいただきましたミケレット・ルジェロ教授、誠にありがとうございました。

最後に、本論文執筆に携わってくださった全ての方々に感謝の意を示し、謝辞といたします。

第9章 文献

大山 正 (2010), 『知覚を測る~実験データで語る視覚心理学~』, 株式会社誠信書房

大槻有一郎 (2016), 『Unity ではじめる C# 基礎編』, 株式会社エムディエヌコーポレーション

諸葛 智勝 (2007), 『「待つ」ことに対する心理的ストレス緩和のための色彩計画と時間評価に関する基礎的研究』, 東京大学大学院 建築学専攻

MAURIZIO CARDACI(2007)^①, "Attentional vs computational complexity measures in observing paintings" VITO DI GESU, MARIA PETROU and MARCO ELIO TABACCHI, Spatial Vision, Vol.22, No.3, pp.195-209

実験対象者の方へ

実験説明書

実験方法

Oculus 社製の VR ゴーグルを頭に装着して仮想空間内に入っていただきます。実験の準備が整いましたら、合図とともに Unity で創作した仮想空間を映し出しますので仮想空間中の情報をできる限り覚えてください。空間が映し出されましたら開始して 20 秒経過したと認識したら合図をお願いします。空間が映し出されなくなりましたら「ゴーグルを外してください」と声をおかけするので速やかに指示に従ってください。その後簡易的ないくつかの質問を回答用紙に記入していただきます。その他実験の不明な点があれば気軽にお声掛け下さい。

データの取り扱いについて

取得したデータは本研究以外では使用しません。またデータは番号付けを行い匿名化し、さらに誰がどのデータなのかもわからなくなるように、ランダムに分析を行います。また、この実験は個人の能力差を図るものではありません。個人間で能力の優劣を分析することは一切ありません。

質問

1. 見えた図形の個数はいくつでしたか
2. 見えた図形の種類はいくつでしたか
3. 空間内に存在する色は何種類でしたか
4. 空間が映し出されている時間は全部で何秒でしたか
5. 仮想空間内で明るさは変化したか
6. 実験前と比べて気分は変化したか
7. 実験と無関係なことを考えている時間はあったか（あったらその時間も）

以上で実験を終了します。ご協力ありがとうございました。

横浜市立大学
国際総合科学部 国際総合科学科
物質科学コース ミケレット研究室
小野 真