



教育メディアとしての3次元映像の特性

河村, 壮一郎

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

2016-03-07

(Date of Publication)

2017-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙第3306号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2003306>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博士論文

教育メディアとしての3次元映像の特性

平成28年1月

神戸大学大学院海事科学研究科

河村 壮一郎

目 次

第1章 序論.....	1
1.1 研究の背景.....	1
1.2 これまでの研究と本研究の位置づけ	2
1.3 論文の構成と概要	2
第2章 3次元映像の技術と特性	4
2.1 3次元映像の原理.....	4
2.2 3次元映像の発展の経緯	6
2.3 3次元映像の利用過程.....	8
2.3.1 3次元映像の撮影.....	9
2.3.2 3次元映像の編集.....	9
2.3.3 3次元映像の提示.....	10
2.3.4 3次元映像のフォーマット.....	12
2.4 3次元映像の心理的特性	13
2.4.1 3次元映像の認知的特性	13
2.4.2 3次元映像の立体感	14
2.4.3 3次元映像の臨場感、質感.....	14
2.4.4 3次元映像の感情喚起、印象の強さ.....	15
2.5 3次元映像の人間工学.....	16
2.6 現状と課題.....	17
参考文献.....	17
第3章 教育メディアにおける3次元映像の位置づけ.....	21
3.1 教育メディア	21
3.1.1 教育と教育メディア	21
3.1.2 教育メディアの経緯と現状.....	21
3.1.3 教育メディアの種類	22
3.1.4 教育メディアの構成要素	23
3.1.5 教育メディアの役割：(1) Dale の経験の円錐理論	23
3.1.6 教育メディアの役割：(2) Gagne の教授プロセス理論.....	24
3.1.7 教育メディアの選択	25
3.2 映像メディアのコミュニケーション特性	26

3.2.1	二重符号化理論	26
3.2.2	マルチメディアとしての映像	27
3.2.3	映像メディアの教育的役割	27
3.3	3次元映像の教育メディアとしての認知的機能	27
3.4	3次元映像の教育メディアとしての意欲的機能	28
3.4.1	3次元映像の新奇性	28
3.4.2	3次元映像の不調和	28
3.4.3	学習意欲に関する ARCS モデル	29
3.5	3次元映像の教育効果のモデル	30
	参考文献	31
第4章	教育メディアとしての3次元映像	35
4.1	3次元映像の教育利用の経緯と現状	35
4.2	教育メディアとしての利用形態	35
4.2.1	授業における3次元映像利用	35
4.2.2	展示における3次元映像利用	36
4.3	3次元映像の教育効果に関する先行研究	36
4.4	3次元映像の認知的機能に関する先行研究	37
4.4.1	学習分野ごとの検討	37
4.4.2	2次元映像との比較研究	38
4.5	3次元映像の意欲的機能に関する先行研究	40
4.6	3次元映像の教育利用研究の問題	40
	参考文献	42
第5章	教育メディアとしての3次元映像の認知的機能	46
5.1	実験1 スライドショー理解における3次元画像の利用	46
5.1.1	目的	46
5.1.2	方法	47
5.1.3	結果と考察	50
5.2	実験2 面接練習における自己の3次元映像の利用	54
5.2.1	目的	54
5.2.2	方法	55
5.2.3	結果と考察	57
5.3	実験3 スプリット・スクリーン技法を用いた3次元映像の教育利用	59

5.3.1	目的	59
5.3.2	方法	61
5.3.3	結果と考察	63
5.4	総合論議	65
	参考文献	66
第6章	教育メディアとしての3次元映像の意欲的機能	69
6.1	意欲的機能の検証方法	69
6.2	実験4 画像の印象判断に対する3次元提示の効果	70
6.2.1	目的	70
6.2.2	方法	70
6.2.3	結果と考察	72
6.3	実験5 画像の観察時間に対する3次元提示の効果	75
6.3.1	目的	75
6.3.2	方法	76
6.3.3	結果と考察	78
6.4	実験6 画像の観察回数に対する3次元提示の効果	80
6.4.1	目的	80
6.4.2	実験方法	81
6.4.3	結果と考察	84
6.5	実験7 汎用ソフトウェアでの3次元映像の教育利用	85
6.5.1	目的	85
6.5.2	方法	86
6.5.3	結果と考察	89
6.6	総合論議	92
	参考文献	92
第7章	総合論議	94
7.1	3次元映像の教育効果	94
7.2	3次元映像の認知的機能	94
7.3	3次元映像の意欲的機能	95
7.4	3次元映像の教育利用の課題	95
7.5	今後予想される3次元映像の教育利用の効果	96
	参考文献	98

謝 辞.....	99
本論文に関わる研究業績.....	100

目次

図 2.1	奥行き知覚の要因ごとの奥行き感度	6
図 2.2	3次元映像の利用過程	8
図 2.3	3次元映像提示方式の分類	10
図 2.4	偏光方式による3次元映像の提示	11
図 3.1	DALEの経験の円錐理論	23
図 3.2	3次元映像の教育メディアとして機能モデル	31
図 5.1	実験1の画像提示装置の外観と提示画面	47
図 5.2	実験1の偏光方式による提示装置の構成	48
図 5.3	実験1の画像に対する印象評定の結果	51
図 5.4	実験1のライドショーに対する印象評定の結果	52
図 5.5	実験1の紙資料に対する印象評定の結果	53
図 5.6	実験2の実施状況	56
図 5.7	実験2の条件別映像の印象評価結果	58
図 5.8	実験2の映像の視聴意識結果	58
図 5.9	実験3の実施状況	61
図 5.10	実験3の2画面映像の構成	62
図 5.11	実験3の映像に関する評価平均値	64
図 5.12	実験3の視聴態度に関する評価平均値	65
図 6.1	実験4の画像刺激の例 短期大学の建物と伝統的建築の写真	71
図 6.2	実験4の画像の印象評定平均値	72
図 6.3	実験5のカテゴリー判断時の画像刺激例	77
図 6.4	実験5の実験手続き	77
図 6.5	実験5の条件別の観察持続時間	79
図 6.6	実験5の試行数のブロックごとの観察持続時間	80
図 6.7	実験6のライド教材の構成	82
図 6.8	実験6の画像刺激の例	83
図 6.9	実験6の拡大画像の平均観察回数	84
図 6.10	実験6のライドに対する印象評定値の結果	85
図 6.11	実験7のライド教材の構成	87
図 6.12	実験7の画像刺激の例	88

図 6.13	実験 7 の拡大画像の平均観察回数の結果.....	90
図 6.14	実験 7 の拡大画像の平均観察時間の結果.....	90
図 6.15	実験 6 と実験 7 での拡大画像の観察割合の結果.....	91
図 6.16	実験 7 の画像とスライドショーに対する印象評価の結果.....	91

表目次

表 2.1 奥行き知覚の成立に関わる主要因	4
表 3.1 GAGNE の教育事象と学習プロセスに関する理論.....	24
表 3.2 KELLER の ARCS モデル	29
表 4.1 MCINTIRE ET AL. (2014) による 3 次元映像と 2 次元映像の比較論文の要約	39
表 5.1 実験 3 の映像視聴の教育効果に関する評価平均値.....	65
表 6.1 実験 4 の画像評定値の因子分析結果.....	74

第 1 章 序論

1.1 研究の背景

教育は教員と学習者間のコミュニケーションによって成立する。とりわけ、教育が学習者に対する伝達を主としている以上、教員から学習者へのコミュニケーションは教授の中心的な活動である。

コミュニケーションはメッセージと媒介手段から構成される。授業でのコミュニケーションは言語を主要な媒介手段としている一方で、言語だけでは十分な教育効果を達成することは難しい。すなわち、授業で言語以外の視覚的な表現である画像や映像などの手段を用いることは不可欠であり、こうした手段となる教育メディアは学習者の教育内容の理解に大きく寄与している。

現在の教育メディアは視聴覚教育から発展を遂げている。その起源は 17 世紀のコメニウス (Comenius, J. A.) の教育実践にあるとされるが、本格的な研究は 20 世紀になってからである。視聴覚教育は画像や映像の工学を基礎としており、その技術的展開とともに新たなメディアを授業で有効に利用する方法が研究、開発されてきた。また、視聴覚機器が一般社会に普及するに伴い、教育での役割は拡大してきた。

20 世紀前半ではカラー写真の普及、動画と音声を組み合わせた動画像の発展が主要な変化である。この時期に映像を用いた各種の教材が開発され、それらを授業で利用することが一般化していった。1980 年代以降では情報処理技術の発達によって視聴覚メディアの種類や利用方法が多様化し、その利便性が高まった。デジタル映像はアナログ映像に比べて記録、編集、保存が容易であるため、教員は映像を教材に導入しやすくなった。映像提示には画像閲覧やプレゼンテーションなどの汎用ソフトウェアが授業環境に関わらず運用されるようになった。インターネットに代表される情報通信技術の教育利用によってネットワーク環境を通じて映像を活用できるようになった。2000 年代になると教員が制作可能な映像の画質はフルハイビジョンとなり、ほぼ放送用のレベルに到達した。2010 年代には 3 次元映像や 4K 映像などが新たな映像技術の流れになっており、こうしたメディアを教育で利用できる可能性が増している。

本論文で述べる 3 次元映像は両眼立体視によって知覚される映像を指している。すなわち、両眼視差を伴う映像であり、立体的なモデリングとは異なっている。「3D」という用語は文脈によって複数の意味をもちうるが、本論で述べる「3 次元映像」はステレオスコピック 3D (Stereoscopic 3D; S3D) を意味している。また、映像とは静止画像と動画像 (ビデオ映像) の両方を含むものとする。

1.2 これまでの研究と本研究の位置づけ

デジタル技術を3次元映像に適用することによって従来のアナログ技術の段階から飛躍的にその利便性が高まった。3次元映像を教育に応用する研究はアナログ映像の時代から始まっていたが、デジタル化された映像に関する研究はそれまでとは異なる意義をもっていると考えられる。本論文では近年のデジタル映像技術を適用することにより、3次元映像を教育に活用する従来にはない方法を開発、提案する。国内における3次元映像の技術レベルは高度であるため、国際的にも先進的な研究を行いやすい。

3次元映像の教育利用に関する初期の研究では、授業に映像を導入することが課題であったため、技術的な点に力点が置かれやすかった。その後の研究では3次元映像を利用する教育効果が対象となっているが、個別的な実践利用の報告が中心となっており理論的な関連づけがやや乏しい。本論文では心理学、教育工学の知見や理論に基づいて3次元映像を教育メディアとして利用する意義を分析し、3次元映像の役割を統合的に理解するモデルを提唱する。3次元映像の教育利用に関する研究データは必ずしも十分に蓄積されておらず、本論文の実験は先駆的である。教育メディアとしての3次元映像の特性を明確にすることで、今後の3次元映像の教育利用に示唆を与えようとしている。

1.3 論文の構成と概要

本論文は以下の構成になっている。第2章では3次元映像の技術的特性を検討する。3次元映像の工学的特徴はその教育利用と密接に関連している。3次元映像の基本的な原理を示した後、現在までの発展の経緯をたどりデジタル技術の進展に伴う画像の高精細化や処理の効率化について述べる。3次元映像の利用過程を撮影、処理、提示の3段階に区分し、各段階で2次元映像との技術的相違を明らかにする。映像の提示段階では複数の方式があり、教育に適した提示方法を考察する。次に、3次元映像に特有な心理的特性について述べる。3次元映像では奥行き方向の認知が効率的になるだけでなく、立体感、臨場感、質感、感情喚起の点で2次元映像とは異なる印象を与えることが先行研究で指摘されており、教育利用で得られる効果を予測する。最後に、人間工学の知見から3次元映像を授業で安全に視聴する必要性について考察する。

第3章では3次元映像の教育メディアとしての特性を心理学、教育工学の理論や知見と結びつけて考察する。最初に、3次元映像を教育メディア全体の歴史や分類の中で位置づけ、教育メディアの役割に関する代表的な理論と関連づける。次に、映像メディアおよびマルチメディアとしての3次元映像の特性を考察する。これらの検討に基づいて、3次元映像の教育的役割に認知的機能と意欲的機能があるとする本論文のモデルを提唱する。意欲的機能

については教育工学の ARCS 理論、心理学の内発的動機づけ理論を基礎にして説明する。

第 4 章では 3 次元映像を教育メディアに実用化してきた先行研究について検討する。最初に、3 次元映像を教材としてきた学習分野やその利用方法を概観する。次に、3 次元映像を教育に利用する効果について認知的機能と意欲的機能ごとにこれまでの検証結果を吟味する。最後に、これらの検討を通じて明らかになった 3 次元映像の教育利用に関する研究上の問題点を考察する。

第 5 章では 3 つの実験を通して 3 次元映像の認知的機能を検証している。実験 1 では 3 次元画像を観察するための提示装置を製作し、スライドショー理解における画像の提示次元の効果を検証した。実験 2 では 3 次元映像を撮影した直後に視聴できる方法を開発して、面接練習の自己理解に応用し、その効果を吟味した。実験 3 はスプリット・スクリーン技法を用いて、学習者に 2 つの 3 次元映像を同時に提示する可能性をコミュニケーションに関する演習授業で検討した。これらの実験では従来の研究にはなかった学習分野や提示方法で 3 次元映像を利用しており、参加者の印象を 2 次元映像と比較することにより学習対象の理解がより深まるという結果を得た。

第 6 章では教育メディアとしての 3 次元映像の意欲的機能について検証した 4 つの実験を述べる。実験 4 では同一画像に対する印象を提示次元ごとに測定し、主観的に評価される興味の程度は 2 次元画像に比べて 3 次元画像でより大きいことを確認した。実験 5 では画像を自発的に観察し続ける時間を提示次元間で比較し、客観的測度で 3 次元画像への注意が強まりやすいことを示した。実験 6 ではマルチメディア教材として 3 次元画像を提示した。画像の観察回数を指標として学習者の探索行動を吟味し、画像の 3 次元提示は観察意欲を高めるだけでなく、観察行動にも影響することを明らかにした。実験 7 では汎用性のあるプレゼンテーションソフトウェアで 3 次元画像を提示する方法を考案し、この方法を用いた教材で 3 次元画像への興味がより強いことを確認した。これらの実験を通して異なる測度において 3 次元映像の意欲的機能の有効性が示された。

第 7 章ではこれまでの検証に基づいて 3 次元映像の教育利用によって得られる効果と今後の可能性を展望している。3 次元映像に特有の認知的機能と意欲的機能がどのような条件で実効性を示すかを考察した。また、3 次元映像の教育利用は映像の普及段階ごとに異なる意義があることを示した。

第2章 3次元映像の技術と特性

本章では3次元映像の教育メディアとしての可能性を映像技術の特性から検討する。3次元映像は産業、研究、娯楽などの分野に応用されており、教育もそうした分野の1つである。そこで、3次元映像の技術的展開、特にデジタル技術の進展に伴う画像の高精細化や処理の効率化について述べる。この技術的発展が3次元映像の教育利用の基盤になっている。最初に3次元映像の利用過程を説明し、2次元映像との差異から技術的独自性を示す。3次元映像の提示方式とフォーマットには複数の種類があり、授業に適した方法について考察する。次に、3次元映像視聴の心理的特性について検討する。3次元映像は両眼視差によって成立し、立体感、臨場感、質感、感情喚起などの点で2次元映像とは異なる印象を与えることがわかっており、教育利用によってどのような効果が生じうるのかを考察する。また、2010年代に3次元映像が映画館やテレビの大画面で長時間視聴される機会が増大したため、人間工学的な観点から安全に視聴するためのガイドラインが作成された。このガイドラインから3次元映像を教育利用する制約について吟味する。

2.1 3次元映像の原理

人間の奥行き知覚は複数の要因によって成立することがわかっている（泉, 1995; 藤田, 2015）。これらの要因は関与している眼の機構から単眼視による要因と両眼視による要因に分類することができる（表 2.1）。

表 2.1 奥行き知覚の成立に関わる主要因

単眼視による要因	両眼視による要因
調節	輻輳
重なり	両眼視差
線遠近法	
きめの勾配	
陰影	
大気遠近法	
相対的大きさ	
視野内の高さ	
進出色・後退色	
運動視差	

単眼視による要因には多数の要素が含まれ、焦点調節と運動視差という視覚の生理的要因と重なり、線遠近法、きめの勾配、陰影、相対的大きさなどの心理的要因から成り立っている。後者の心理的要因では経験的に妥当な手がかりに基づいて奥行き知覚をもたらす。両眼視による要因にはともに生理的要因である輻輳と両眼視差がある。両眼が内側を向く角度である輻輳角は奥行き視の手がかりとはなるが、両眼視差は輻輳よりも強い奥行き知覚の手がかりである。

人間の両眼には 6cm 前後の間隔があり、同一対象の網膜像は両眼間で相対的な位置や形状に差異が生じる。この現象が両眼視差であり、左右の眼で異なる網膜像から対象の奥行き情報が得られる。すなわち、両眼の像の差異は知覚者に近い対象の方が遠方にある対象よりも大きく、この差異の量から対象との距離を知覚することが可能となる。両眼立体視とは右眼と左眼で異なる網膜像を融合して単一の知覚像を形成する過程において、対象との距離や空間内の対象配置、立体物を認識することである。Julesz (1971) はランダム・ドット・ステレオグラムを用いた研究において他の奥行き知覚の手がかりが含まれない図版を作成し、両眼視差単独の要因によって奥行き知覚が成立することを示した。

奥行き知覚をもたらす諸要因の中で、両眼視差は有効性の顕著な要因となっている。長田 (1977) は奥行弁別閾を奥行き知覚の要因ごとに測定した。その結果、両眼視差の奥行感度は対象との距離に反比例し、距離が 10m 以内では他の要因と比較して奥行感度が最も大きく、数 10m 程度の距離においても奥行き知覚の強力な手がかりとなっていることを明らかにした (図 2.1)。

両眼視差の優位性は参加者が立体物の認識や位置判断を行う実験において認められている。Lee & Saunders (2011) は立体形状を判別する課題において、比較する図形間の差異が陰影の要因のみである条件に比べて両眼視差の要因が加わった条件の方が判断の成績が良いことを示した。また、コンピュータグラフィックス内にある対象の位置決定や大きさ変更の課題において、他の奥行き知覚の要因よりも両眼視差の要因は優位な手がかりであった (Hubona, Wheeler, Shirah, & Brandt, 1999)。

認識対象がより複雑で現実的な場面における実験においても、両眼視差が奥行き知覚の重要な要因であることが示されている。奥行き知覚の閾値 (McKee & Taylor, 2010) や対象の認識や識別 (Caziot & Backus, 2015) を測定する実験において単眼視と両眼視の条件間で成績を比較した結果、両眼視の条件の方が優れていた。同様に、9~18m の距離にある対象の奥行きを認知する課題において両眼視が単眼視に比べて有効であった (Allison, Gillam, & Vecellio, 2009)。日常生活に関連している単語の読み課題や糸の針通し課題など 7つの課題のうち 5つの課題では、単眼視条件と比較して両眼視条件の方が成績の優れてい

た (Sheedy, Bailey, Buri, & Bass, 1986)。両眼視差は人間が日常行動する空間において距離を理解するための強力な要因になっている (Proffitt, Stefanucci, Banton, & Epstein, 2003)。

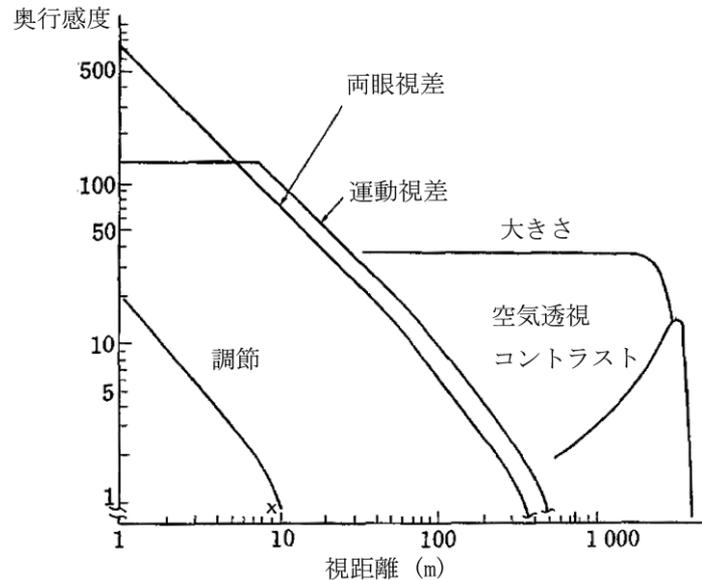


図 2.1 奥行き知覚の要因ごとの奥行き感度 (長田, 1977)

2.2 3次元映像の発展の経緯

3次元映像は写真や映画など映像全般に関する技術の発展とともに開発がすすみ普及してきた。Wheatstone は 2つの画像を組み合わせる立体視できる提示装置「ステレオスコープ」を初めて開発した (Wheatstone, 1838)。同時期に開発された写真の撮影技術はすぐに3次元画像にも応用され、銀板写真として制作が可能になった。ステレオ写真の印刷技術の実用化は早く、19世紀末には観察用のビューアが欧米社会の一部に普及した。この時期にはアナグリフ方式による3次元画像の制作方法も考案された。当時の撮影者は写真の専門家であり、制作には高度の技術を必要とした。

20世紀になるとフィルムに関する技術開発を背景にして、3次元映像の写真や映画が制作された。リール内にある3次元画像を簡易に鑑賞することができる View-Master と呼ばれる機器と専用のステレオ写真は米国を中心に大量生産された。フルカラーの3次元映像は1950年代に映画として実用化されたものの、投影装置の機構が複雑であり高度な投影技術が必要であったため一時的なブームにとどまった。また、同年代には3次元画像を撮影できる民生用のステレオカメラが製造・販売されたが、写真の加工に手間がかかりその普及

の程度は限定的であった (Michel, 2013)。すなわち、20 世紀後半までは 3 次元映像は主としてアナログデータとして扱われており、映像の処理が複雑で、制作には高度に専門的技能を必要としていた。

映像全般に関する技術は情報処理技術の発展、応用とともに 1990 年代以降大きく変化し、映像はデジタルデータとして処理されるようになった。映像をデジタル化することによって得られるメリットは多い。すなわち、コンピュータを用いた編集作業およびディスプレイへの提示はアナログ映像の段階よりも容易になった。映像データの複写や経年に伴う劣化が少なく、高画質を保ちやすい。また、一般にデジタル機器は利用コストが低下しやすい (田村, 2002)。

3 次元映像については 2000 年代にデジタル処理が本格的に応用されるようになった。制作や提示の過程でより複雑な処理を必要とする 3 次元映像ではデジタル化するメリットは大きい。とりわけ左右の映像の調整がより精密で、簡易に行われるようになった (Mendiburu, 2009)。また、ステレオペアのデジタル映像を 1 つのデータファイルとして保存することが可能になり、映像の保管や提示が容易になった。これらのハードウェアの進展とともに 3 次元映像の編集および提示のための専用ソフトウェアが開発され、より一層高速で効率的な処理が実現するようになった。画質についてもデジタル化とともに向上した。フルハイビジョン (1920×1080 ピクセル) の解像度に対応した撮影装置、提示装置の開発によって映像は高精細化した。

デジタル映像技術の進展に伴い、2000 年代後半には商業映画として 3 次元映像の制作が活発になった (大口・谷島・灰原, 2012)。日本では 2010 年に 3D 元年と言われるほど 3 次元映像技術は社会的に注目されることになり、映画だけでなく、テレビやゲーム、広告といった多様な産業分野で 3 次元映像が応用されるようになった (深野・渡辺, 2010; 河合, 2014)。また、3 次元映像は医学などの研究手段としても活用範囲が拡大した。

こうした発展のもと、3 次元映像を視聴することができる民生用のテレビやプロジェクターが製造、販売された。そこで、以前と比較して家庭や学校などで 3 次元映像を視聴する環境を構成しやすくなった。これと平行して 3 次元映像を撮影する専用のデジタルカメラ、ビデオカメラも製造されるようになった。パーソナルコンピュータの演算能力も向上し、データ量が多い 3 次元映像をより高速に処理することが可能になった。そのため、3 次元映像を広く利用するための基盤が整備されることとなり、映像制作と視聴の手続きが以前と比較して飛躍的に簡易化された。また、民生用の映像機器の販売に伴って利用にかかるコストも低下した (町田, 2013)。この状況を背景として民間で 3 次元映像を制作するための技術が蓄積されている (e.g. 町田・関谷・深野, 2011)。

一方、2010 年前後に起きた 3 次元映像の急速な拡大はすでに落ち着きつつある（小畠，2014）。2010 年代中盤には 3 次元映像による映画やテレビ番組の制作は縮小の傾向が認められる。その原因として 3 次元映像の視聴に特殊な環境が必要であるためと考えられる。ビデオ映像技術はこれまでもモノクロからカラー、標準画質からハイビジョン画質へと変化してきたが、それらの変化では視聴者の状況が大きく変化することがなかった。しかし、2 次元映像から 3 次元映像への変化では両眼で異なる映像を知覚するため、多くの場合視聴者は特殊な立体メガネの装着が必要になる。3 次元映像がこれまでも何回か社会的に流行しつつも一般に定着しなかった要因の 1 つは、視聴時の環境が 2 次元映像の場合と質的に異なっているためと把握される。今後メガネを必要としない提示装置が普及する可能性もあるが、現状では 3 次元映像は視聴機器の特殊性から多くの利用者にとって非日常のメディアとして位置づけられやすい。そのため、視聴環境の変化に見合うだけのメリットを 3 次元映像が有することが重要である。

2.3 3 次元映像の利用過程

3 次元映像を利用するには映像の記録から観察に至る一連の過程が必要である。この過程は①映像の撮影、②映像の編集、③映像の提示という 3 つの段階ですすめられる（図 2.2）。各段階の処理は関連しており、最初の撮影段階から編集や提示での方法を考慮したプランニングがなされる。

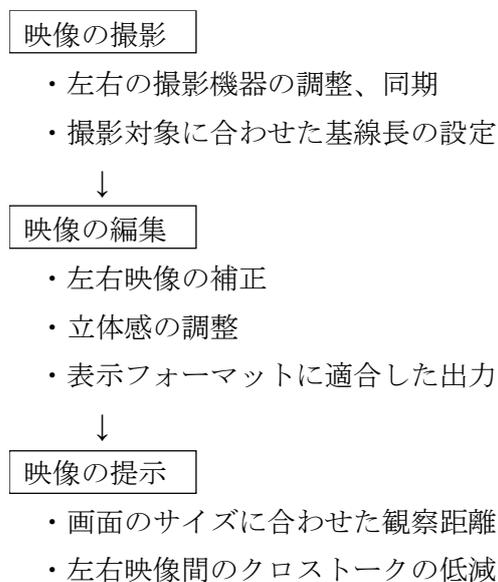


図 2.2 3 次元映像の利用過程

全体の過程は 2 次元映像の場合と類似しているが、質の優れた 3 次元映像を作成するには各段階で 2 次元映像にはない処理技術が必要になる。これらの技術は映像がデジタル化された現在でも不可欠である。

2.3.1 3次元映像の撮影

3 次元映像の撮影では視差のある 2 つの映像を記録する。このため 2 つのレンズやペアとなるカメラを左右に配置し、水平方向に撮影位置の異なる 2 つの映像を同期して保存することになる。この際、左右レンズの方向や上下位置を揃えておくことが重要になる。

2 つのレンズ間の距離を基線長（ステレオベース）といい、視差の決定要因になるため撮影対象との距離および視聴時の画面サイズに合わせた設定が必要である（熊田, 1993）。左右レンズの相対的位置によって観察時の画像の奥行き感が変化する。過少に設定すると立体感が損なわれ、過度な設定は観察の負担を高めやすい。適切な飛び出し・奥行き量について国内では 3D コンソーシアムにより安全基準が定められている。レンズと対象との距離が数メートル前後の場合には、人の両眼間隔とほぼ等しい 6~7cm が基線長として適切とされている。適度な立体感が得られるよう、対象がレンズに近い場合には基線長をより短く、対象が遠い場合には長くすることになる（Ferwerda, 1982）。近年市販された 3 次元映像用のカメラでは過度な視差とならないよう基線長をほぼ 4cm~7cm としており、ある程度近距離にある対象に対して適切な設定になっている。

3 次元映像の撮影に独立した 2 台のカメラを用いる場合には、両者の時間的な同期ずれを最小にすることが必要である。3 次元映像を撮影する専用のレンズやカメラの場合では同期が保たれている。

2.3.2 3次元映像の編集

3 次元映像の編集では、①左右映像の補正（上下移動・回転・色合わせ）、②立体感の調整（平行移動およびトリミング）、③テロップ・特殊効果の追加、④特定フォーマットでの映像出力という各段階をおって制作がすすめられる（町田・関谷・深野, 2011）。①、②、④の段階での編集処理は 3 次元映像に独特である。

3 次元映像の編集では左右映像間の上下位置や向きの相違を最小化するとともに立体定位（ステレオウィンドウ）の設定を行うことになる。立体定位とは観察時の 3 次元映像の奥行き位置のことであり、スクリーンやモニター画面からの前側あるいは奥側の相対量である。立体定位は画像ごと、映像のカットごとに設定が必要である。左右映像の補正や調整作業は微妙で複雑であるが、3 次元映像のデジタル化によってソフトウェア上で処理すること

が可能になったため以前よりも省力化された。

3次元映像には複数のフォーマットがあり(2.3.4節)、出力の段階では提示に適合した形式で左右画像を保存することになる。

2.3.3 3次元映像の提示

3次元映像が正常に認識されるには観察者の両眼に異なる映像を提示することが必要であり、これを実現するため図2.3に示すように複数の方式が開発されている(磯野, 1995; 羽倉, 1988; 泉, 1995)。これらの方式にはそれぞれ長所、短所があり、映像の利用目的や利用環境などに適した方式を選択することが重要である。

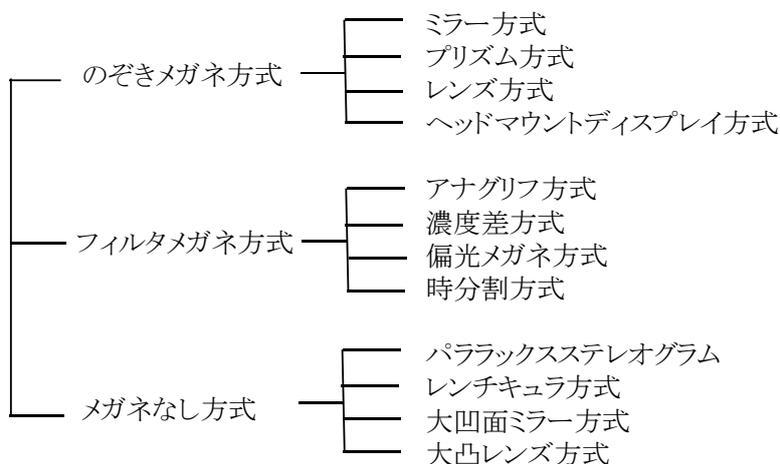


図 2.3 3次元映像提示方式の分類

1) アナグリフ方式

赤と青のように色相の異なる2色を映像と立体メガネに適用することで、左右映像を分離する方法である。メガネのコストが低く、印刷物や通常のディスプレイ、スクリーンで利用できるという長所がある。このため、普及のしやすさでは優れており、教材としてアナグリフ方式の3次元映像が用いられることがある。しかし、色の正確な再現性が低いことや左右画像を充分区別できないことによるクロストークの可能性、メガネの色順応という課題がある(畑田, 1988)。

2) 偏光方式

左右の映像を角度の異なる偏光板を通して投影し、その角度に合わせた偏光フィルターを立体メガネに取り付けることより左右映像分離する方式である(図2.4)。メガネは軽く、

その製造コストは低い。プロジェクターで投影する場合にはシルバースクリーンを利用することが一般的で、映画では IMAX や RealD がこの方式である。偏光の方式には直線偏光と円偏光の 2 種類ある。近年市販されているモニターやテレビには画面自体に円偏光フィルターが貼られていることがある。この場合、上下方向の視聴位置にやや制約があるが、観察者の頭の傾きによらず良好な立体視が可能であり、クロストークは少ないとされる（平田・鈴木, 1987）。

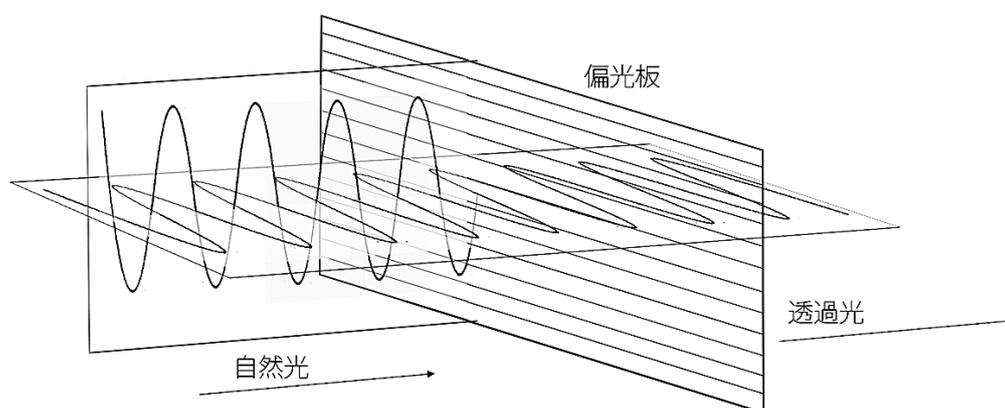


図 2.4 偏光方式による 3 次元映像の提示

3) 時分割方式

左右の映像を極短時間ずつ交互に提示し、映像と同期して立体メガネの左右の液晶シャッターを遮蔽する方式である。フレーム・シーケンシャル方式とも言われ、この方式を利用できるディスプレイやプロジェクターが市販されている。投影の際には特殊なスクリーンを必要としない一方、立体メガネに電子機器が含まれるため高コストになりやすく、メガネが重くなりやすい。映画では XpanD がこの方式である。

4) レンチキュラー方式

細長いレンズを並べたレンチキュラーシートを印刷物やモニターの表面に配置し、その位置に合わせて左右の映像を交互に配置する方式である。映像が見える範囲を左右の眼ごとに遮蔽するパララックスバリア方式も同様の方式である。この方式では映像の観察に立体メガネを必要としないが、一度に観察可能な人数が限定されやすい。

5) ヘッドマウントディスプレイ (HMD) 方式

観察者の頭部に提示装置を装着し、両眼に別個の小型のディスプレイを配置する方式で

ある。クロストークは少ないが、観察者ごとに高価な機器が必要になる。

3次元映像を教育で利用するには多人数の学習者が同時に視聴できることが求められる。また、立体メガネのメンテナンスが容易であること、利用コストの低いことが望ましい。これらの点を考慮すると、3次元映像を提示する方法の中ではアナグリフ方式あるいは偏光方式が教育利用に適している。このため、本研究では色の再現性がより高い偏光方式の映像を主として利用している。一方、時分割方式やヘッドマウントディスプレイ方式を用いた教育環境においても偏光方式と同様に3次元映像が視聴されうるため、本研究の結果はそれらの方式においても応用可能であると考えられる。

2.3.4 3次元映像のフォーマット

3次元映像のデジタル形式には左右映像を別々のファイルとして扱う方法と両者を1つのファイルに統合する方法がある。映像の取り扱いやすさの点から、現在では1つのファイルとする方法が主流となっている。2つの映像を組み合わせて記録、伝送する方法として、アナグリフ形式以外では以下の形式が代表的である。

1) サイド・バイ・サイド形式

左右の映像を横並びに配置する方法である。映像を左右に振り分けるため編集時に直感的に理解しやすく、左右映像の統合手順も比較的簡単である。この形式は静止画像、動画像とともに利用頻度が高い。動画像の場合には左右映像をそのまま並べて横の解像度が2倍になるフル形式と横幅をそれぞれ半分に圧縮したハーフ形式がある。テレビ放送では通信できる映像の解像度が定まっているためハーフ形式を利用することが一般的である。また、この形式では左右映像の一方を用いることによって2次元映像として表示することも行いやすい。

2) トップ・アンド・ボトム形式

左右の映像を縦並びに配置する方法である。

3) フレームパッキング形式

左右の映像を時間系列的に交互に組み合わせる方法である。左右の解像度をともにフルハイビジョンに保つことが可能で、市販のブルーレイソフトで用いられることが多い。

4) ライン・バイ・ライン形式 (インターレース形式)

映像を縦方向 (あるいは横方向) に一行ごと分割し、左右映像を交互に配置する方式である。この方式では縦または横方向の映像の解像度が元の半分になるが、2次元映像と共通の縦横比として記録できる。

上記の形式以外に、静止画像の場合はカメラ映像機器工業会規格によって mpo 形式が統

一フォーマットとして提唱されている。3次元画像を撮影するデジタルカメラではこの形式のファイルを採用することが多くなっている。

教育で3次元映像を利用する場合には、利用環境に左右されないように形式をできるだけ標準化しておくことが望ましい。上記のフォーマットの中では映像の配置が直感的に理解しやすく、2次元映像との親和性が高いサイド・バイ・サイド形式が適していると考えられる。また、6.5節で検討するようにライン・バイ・ライン形式の映像を偏光ディスプレイに表示する場合にはソフトウェア上で変換する必要性が少なくなる。

2.4 3次元映像の心理的特性

3次元映像の研究が進展するとともに、その研究対象は利用方法の開発だけでなく、映像のもつ基本的特性に広がっている。3次元映像の応用研究はその映像特性と深く結びついており、教育メディア研究についても同様である。

2.4.1 3次元映像の認知的特性

3次元映像は両眼視差による奥行き知覚の手がかりを含んでいるために、2次元映像よりも立体的な対象の知覚処理が効率的に実行されうると考えられる。3次元映像の認知的特性を明らかにするため、これまでに2次元映像との比較研究が行われている。

図形に左右の視差があり立体視が可能な条件で刺激を提示すると立体視ができない条件と比較して、その認識が優れているとする実験結果は多い。心的回転（メンタルローテーション）によって図形が同一か鏡像かを判断する課題において、2次元提示と比較して3次元提示では判断時間が有意に短いことが示された（長峰・中山・清水, 1992）。同様に立体形状の回転図形を照合する実験で、2次元条件と比較して3次元条件では形の認識や理解成績が優れていた（Burke, 2005; Edelman & Bühlhoff, 1992; Ware & Franck, 1996; Wickens, Merwin, & Lin, 1994）。また、3次元映像で提示することによって、コンピュータグラフィックス（CG）で作成された刺激の高さがより正確に判断され（Barfield & Rosenberg, 1995）、複雑な立体形状の理解が向上した（Ware & Franck, 1996）。動作を測度とする実験においても3次元映像の促進効果が認められている。ジョイスティックを用いた3次元空間のトラッキング作業において提示次元間に差が示された（Kim, Ellis, Tyler, Hannaford, & Stark, 1987）。

ただし、3次元映像の認知的優位性は必ずしも一定しているわけではない。文字回転、ブロック回転、紙折りのタスク、形の空間的判断の各実験において3次元条件と2次元条件の成績の差は部分的であった（Price & Lee, 2010）。また、CGで作成された立体的なチュ

一ブを識別する課題において、参加者にとって見慣れていない形については 2 次元条件に比べて 3 次元条件の方が優れていたが、他の条件では 3 次元画像の優位性は認められなかった (Bennett & Vuong, 2006)。提示された図形が記憶した図形かどうかを照合する課題で、3 次元提示で成績が優れていたのは比較する図形間の角度差が大きい時だけであった (Cristino, Davitt, Hayward, & Leek, 2015)。両眼視差の効果が十分認められなかった結果もある (Valsecchi, Caziot, Backus, & Gegenfurtner, 2013)。

このため、3 次元映像では 2 次元映像に比べて一般に奥行きや立体的形状の認識が容易になる傾向があるが、課題の条件によってはこうした優位性は限定的であった。単眼視での奥行き手がかりが少ない条件や刺激の奥行きが曖昧な条件では 3 次元映像の効果が明確になることが示されている (Yeh & Silverstein, 1992)。このため、3 次元映像を用いた教育メディアは学習内容に依るが、学習対象の奥行きや立体の知覚に役立つと推測される。

2.4.2 3 次元映像の立体感

3 次元映像は上記の認知的特性以外にも 2 次元映像と異なる独自の心理的特性をもつことが明らかにされている。泉 (1995) は、3 次元映像の研究で用いられてきた評価語からその心理的効果を①立体感、②奥行き感、③実在感、④迫力感、⑤一体感、⑥自然らしさ、⑦好ましさとして列挙した。これらの評価語は 3 次元映像の多様な特性を示している。3 次元映像に特徴的な心理的効果は研究によってやや差異があるため、ここではそれらに共通している特性を統合的にまとめる。

3D コンソーシアム (2014) の資料によれば、3 次元映像に対する評価語として立体感と質感の 2 種類が示されている。前者の立体感のグループには奥行き感、実在感、臨場感が含まれており、快適さや疲労度と関連する見やすさも組み入れられている。3 次元映像での立体感とは 2 次元映像との差異から明確に示されている。同一内容の 3 次元映像と 2 次元映像の印象を調査した実験で、3 次元映像の立体感がより強いと評価された (矢野・湯山・福田, 1986)。また、3 次元映像は 2 次元映像と比較して飛び出し感、奥行き感がともに優れているという結果が得られた (藤掛他, 2008)。3 次元映像の基本的な心理的特性は立体感や奥行き感にあるととらえられる。したがって、教育利用においても学習対象の立体感が明瞭に認識されると予想される。

2.4.3 3 次元映像の臨場感、質感

井出他 (1999) と山之上他 (2000) は 3 次元映像の評価実験を行い、印象評価の因子分析で「見やすさ」と「臨場感・迫力」の 2 因子を抽出した。臨場感は 3 次元映像の主要な心

理的特性の1つであるにとらえられる。

臨場感は立体感と関連のあることが認められている(榎並, 2010)。妹尾他(2005)によれば、臨場感は画質、立体感、没入感度で評価される。このため、立体感の強い3次元映像は臨場感や迫力が強くなりやすいと考えられる。2次元映像と印象を比較した実験において3次元映像の臨場感に対する評価はより大きく、提示画面の面積が拡大すると臨場感はより強まった(矢野・湯山・福田, 1986)。同様の結果は3次元映像の応用場面においても確かめられている。手話のコミュニケーション手段として3次元映像を用いた実験では動作のわかりやすさとともに臨場感の効果が示された(磯野 他, 1997)。具体的な広告映像を刺激にした実験においても、3次元映像の臨場感は高く評価された(Yim, Cicchirillo, & Drumwright, 2012)。主観的な印象に対してだけでなく、3次元映像の臨場感は身体的反応においても現れることが認められている(磯野, 1994)。

3次元映像の視聴では質感に関する評価も全般に高く、対象のもつ微細な特徴や起伏が認識されやすいと指摘されている(3D コンソーシアム, 2014)。質感は対象の実感としての質感、浮き上がっている印象の鮮鋭感および空気感、臨場感、位置関係の理解度を含んだ存在感と関連があるとされている。このように臨場感や質感の強さは3次元映像に共通している特徴の1つであると考えられる。このため、教育メディアとして利用することによって3次元映像を観察する学習者が場面の臨場感や対象のリアリティを理解しやすくなると推測される。

2.4.4 3次元映像の感情喚起、印象の強さ

3次元映像は認知的な印象以外の側面においても2次元映像と異なった効果をもたらすことが実証されている。熱田他(2013)は幸福や驚きなどの感情を喚起する画像を2次元条件と3次元条件で提示し、参加者の情動価と覚醒価を条件間で比較した。その結果、3次元画像の観察によって参加者の覚醒度がより増大することが示された。また、劇場公開されている3次元映画では鑑賞者の感情に影響を与える視差量をストーリーの文脈に合わせて調整していると考えられる(富山・平原・熱田・河合, 2012)。映像の印象を測定した実験では、3次元映像は2次元映像よりも視聴の印象や迫力が強くなりやすい結果が得られた(藤掛他, 2008)。

これらの結果は3次元映像が観察者の感情や印象の強さに影響を与えることを示唆している。3次元映像は奥行きを理解といった認知的側面だけでなく、情動的側面においても特有の効果があると考えられる。このため、3次元映像を教育利用することによって、学習者の情意面での教育的効果が期待される。

2.5 3次元映像の人間工学

3次元映像の観察には2次元映像にはない疲労が伴うことがある。そのため、3次元映像の提示には観察者への人間工学的な配慮が必要である(河合, 2014)。商業的な3次元ビデオ映像の視聴が普及するとともに、2010年に国内の3Dコンソーシアムによって利用のための安全ガイドラインが策定された(3Dコンソーシアム, 2010)。このガイドラインはその後の3次元映像制作の基準となっている。このガイドラインから3次元映像を教育に利用する制約が明らかになっている。

第一に3次元映像の左右視差量を適切に調整することが重要である。視差量が大きいと立体感が強くなるが、視聴による疲労や不快感が生じやすくなる。参加者の評定に基づいた研究から3次元映像の安全性および快適性は視聴時の視差量によって決まり、安全性の基準となる視差量が 1° であり、快適性の基準値が 2° であることが示された(岸他, 2006)。また、眼球運動や調節機能の視覚機能の点では視差量が 1° 以内であれば、視覚系の負担は過大ではないとされている(井上他, 1994)。このため、3次元映像の学習コンテンツを作成あるいは提示するうえでは、左右映像の視差量を一定角度以内に設定しておく必要がある(小畠, 2014)。

第二に、このガイドラインには低年齢層への配慮に関する項目があり、視覚機能が発達中の子どもには3次元映像の視聴を制約すべきとされている。両眼立体視の機能は6歳までに成人と同様に発達するとされており、幼児に対しては3次元映像の視聴を制約する必要がある一方、児童期以降ではその教育利用を大きく制約する必要はないことになる。

第三に、視覚的疲労や映像酔いなどの不快感を生じないように3次元映像の視聴時間に制約をかける項目がある。ディスプレイに集中して作業する場合には映像を連続して視聴する時間が1時間以上にならないよう休憩の必要性が示されている。このため、授業で3次元映像を用いる場合には、学習者が集中して視聴する時間が長くなりすぎないことが望ましい。

上記の問題とは別に、各個人の立体視の能力に関する課題がある。左右の視力が健常であっても両眼視差による奥行き知覚の能力が劣っているステレオブラインド(stereoblind)が人口の数%程度存在することが示されている(Newhouse & Uttal, 1982; Richards, 1970)。ステレオブラインドは3次元映像の学習コンテンツを2次元映像として認識することになり、他の学習者と異なった知覚体験をする可能性がある。このため、3次元映像を授業で利用する際にはステレオブラインドへの対応を考慮しておく必要がある。以上のように、3次元映像を授業で提示する教員はその人間工学的特性を把握し、適切に運用することが不可欠である。

2.6 現状と課題

3次元映像の技術的な向上、特にデジタル化技術の進展に伴い、利用可能な機器が普及するとともに映像を容易に運用できるようになった。このため、3次元映像を応用できる領域が広がり、教育メディアとしての利用可能性が高まった。

3次元映像には奥行き認知の容易性や立体感、臨場感の強さといった特性があるため、教育メディアとして学習コンテンツの理解や判断に役立つことが期待される。また、3次元映像は感情を喚起しやすく、学習者に強い印象の与えやすいと考えられる。3次元映像にはこうした特性があるため、2次元映像にはない教育効果をもつことが推測される。

一方、3次元映像を制作するには独自の技術が必要であり、提示においても一定の専門知識を要するため、3次元映像を広く教育で利用するには課題が残っている。現状では日常の視聴機会が限られていることに3次元映像の特色がある。また、人間工学の観点から3次元映像の教育利用では特に安全性に配慮する必要がある。

参考文献

- 3D コンソーシアム (2010). 人に優しい 3D 普及のための 3DC 安全ガイドライン
http://www.3dc.gr.jp/jp/scmt_wg_rep/3dc_guideJ_20111031.pdf (2015.5.20 アクセス)
- 3D コンソーシアム (2014) 3D 関連用語の資料 Rev0.90
http://www.3dc.gr.jp/jp/scmt_wg_rep/ (2015.5.20 アクセス)
- Allison, R. S., Gillam, B. J., & Vecellio, E. (2009). Binocular depth discrimination and estimation beyond interaction space. *Journal of Vision*, 9(1):10, 1–14.
- 熱田大貴・富山勇也・金相賢・盛川浩志・三家礼子・河合隆史・Jukka, H. (2013). 立体映像の視差量の操作と情緒表現への影響 人間工学, 49(Supplement), 40-41.
- Barfield, W., & Rosenberg, C. (1995). Judgments of azimuth and elevation as a function of monoscopic and binocular depth cues using a perspective display. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37 (1), 173-181.
- Caziot, B., & Backus, B. T. (2015). Stereoscopic offset makes objects easier to recognize. *PloS one*, 10(6), e0129101.
- 榎並和雅 (2010). 超臨場感コミュニケーションとその展望 O plus E, 32(10), 1174-1178.
- Ferwerda, J. G. (1982). *World of 3D*. Netherland Society for Stereo Photography.
- 藤掛和広・大森正子・長谷川聡・高田宗樹・市川哲哉・田原博史・小坂将也・小室貴弘・宮尾克 (2008). 立体映像注視時における水晶体調節と主観評価 映像情報メディア学会

- 技術報告, 32(27), 13-16.
- 藤田一郎 (2015). 脳がつくる 3D 世界・立体視のなぞとしくみ 化学同人
- 深野暁雄・渡辺昌宏 (2010). 3D の時代 岩波書店
- 羽倉弘之 (1988). 三次元映像による教育分野への応用: 画像処理・画像応用 テレビジョン学会技術報告, 12, 1-4.
- 畑田豊彦 (1988). 3 次元映像技術の動向と視覚特性 日本写真学会誌, 51(1), 42-49.
- 平田渥美・鈴木清明 (1987). 3 次元ディスプレイ種々の方式とテレビジョンへの応用— テレビジョン学会誌, 41(7), 610-618.
- Hubona, G. S., Wheeler, P. N., Shirah, G. W., & Brandt, M. (1999). The relative contributions of stereo, lighting, and background scenes in promoting 3D depth visualization. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 6(3), 214-242.
- 井出真司・山之上裕一・奥井誠人・湯山一郎・尾藤峰夫・寺島信義 (1999). 立体ハイビジョン映像における臨場感と見やすさに関する主観評価実験 映像情報メディア学会年次大会講演予稿集, 97-98.
- 井上哲理・野呂影勇・岩崎常人・大頭仁 (1994). 視覚機能すら見た立体映像の呈示条件 テレビジョン学会誌, 48, 1301-1305.
- 磯野春雄 (1994). 立体テレビと感性 NHK 技研だより, 52, 16-20.
- 磯野春雄 (1995). 3 次元画像表示技術 放送技術研究所(編) 3 次元映像の基礎 (pp.131-178) オーム社
- 磯野春雄・棚田詢・尾藤峯夫・永山克・大場省介・島田隆・末吉 賢一・三橋哲雄 (1997). 聴覚障害者に対する立体ハイビジョン手話映像の効果 電子情報通信学会総合大会講演論文集, 326.
- 泉武博(監修) NHK 放送技術研究所(編) (1995). 3 次元映像の基礎 オーム社
- Julesz, B. (1971). *Foundations of cyclopean perception*. Chicago: University of Chicago Press.
- 河合隆史 (2014). 分野別人間工学の現状と将来 (4) 3D 人間工学の現状と展望 人間工学, 50(3), 106-111.
- Kim, W. S., Ellis, S. R., Tyler, M. E., Hannaford, B., & Stark, L. W. (1987). Quantitative evaluation of perspective and stereoscopic displays in three-axis manual tracking tasks. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, 17(1), 61-72.
- 岸信介・山添崇・柴田隆史・河合隆史・井上哲理・坂口裕介・岡部和重・久野泰浩 (2006).

- 2 眼式立体映像のコンテンツ評価システムの試作 映像情報メディア学会誌, 60, 934-942.
- 小嶋健仁 (2014). 製品の安全基準と生体影響リスク—3D 立体映像のガイドライン規制を例にして 社会医学研究, 31(1), 69-79.
- 熊田典明 (1993). 3D-HDTV の番組制作: 立体映像の設計について: 立体画像の入力・処理・表示関連 テレビジョン学会技術報告, 17(82), 1-6.
- Lee, Y. L., & Saunders, J. A. (2011). Stereo improves 3D shape discrimination even when rich monocular shape cues are available. *Journal of Vision*, 11, 1-12.
- 町田聡 (2013). 3D 技術が一番わかる 技術評論社
- 町田聡・関谷隆司・深野暁雄 (2011). はじめての 3D 映像制作 オーム社
- McKee, S. P., & Taylor, D. G. (2010). The precision of binocular and monocular depth judgments in natural settings. *Journal of vision*, 10, 1-13.
- Michel, B. (2013). Digital Stereoscapy: Scene to Screen 3D Production Workflow. *StereoscapyNews*.
- Mendiburu, B. (2009). 3D movie making. *Focal Express*.
- (メンディブル, B. 株式会社 B スプラウト(訳) (2009). 3D 映像制作—スクリプトからスクリーンまで、立体デジタルシネマの作り方— ボーンデジタル)
- 長田昌次郎 (1977). 視覚の奥行距離情報とその奥行感度 テレビジョン, 31, 649-655.
- 長峰和仁・中山実・清水康敬 (1992). メンタルローテーションへの立体テレビ提示の効果. 電子情報通信学会論文誌 A, 75(2), 218-225.
- Newhouse, M., & Uttal, W. R. (1982). Distribution of stereoanomalies in the general population. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 20(1), 48-50.
- 大口孝之・谷島正之・灰原光晴 (2012). 3D 世紀—驚異!立体映画の 100 年と映像新世紀— ボーンデジタル
- Price, A., & Lee, H. S. (2010). The effect of two-dimensional and stereoscopic presentation on middle school students' performance of spatial cognition tasks. *Journal of Science Education and Technology*, 19(1), 90-103.
- Proffitt, D. R., Stefanucci, J., Banton, T., & Epstein, W. (2003). The role of effort in perceiving distance. *Psychological Science*, 14(2), 106-112.
- Richards, W. (1970). Stereopsis and stereoblindness. *Experimental Brain Research*, 10(4), 380-388.
- 妹尾孝憲・青木輝勝・安田浩・小暮拓世・小池真由美 (2005). 3D マルチメディアコンテン

- ツ再生システムの性能評価尺度の考察, 情報処理学会研究報告 オーディオビジュアル複合情報処理(AVM), 48, 85-90.
- 田村秀行(編) (2002). コンピュータ画像処理 オーム社.
- 富山勇也・平原正広・熱田大貴・河合隆史 (2012). ハリウッド 3D 映画の視差分析と表現手法の検討(1), 日本人間工学会大会講演集 48spl(0), 418-419.
- Valsecchi, M., Caziot, B., Backus, B. T., & Gegenfurtner, K. R. (2013). The role of binocular disparity in rapid scene and pattern recognition. *i-Perception*, 4, 122-136.
- Wheatstone, C. (1838). Contributions to the physiology of vision. Part the first. On some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, 371-394.
- Ware, C., & Franck, G. (1996). Evaluating stereo and motion cues for visualizing information nets in three dimensions. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 15(2), 121-140.
- 矢野澄男・湯山一郎・福田忠彦 (1986). 立体画像の視覚効果 テレビジョン学会全国大会講演予稿集, 22, 11-12.
- 山之上裕一・井出真司・奥井誠人・湯山一郎・尾藤峯夫・寺島信義 (2000). 立体画像の臨場感・見易さと視差ベクトル分布についての一考察 映像情報メディア学会技術報告, 24(63), 29-34.
- Yeh, Y. Y., & Silverstein, L. D. (1992). Spatial judgments with monoscopic and stereoscopic presentation of perspective displays. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 34(5), 583-600.
- Yim, M. Y. C., Cicchirillo, V. J., & Drumwright, M. E. (2012). The impact of stereoscopic three-dimensional (3-D) advertising. *Journal of Advertising*, 41(2), 113-128.

第3章 教育メディアにおける3次元映像の位置づけ

本章では教育メディアにおける3次元映像の位置づけを心理学、教育学の立場から理論的に考察する。教育メディアについて概観した後、Daleの経験の円錐モデル、Gagneの教授プロセス理論、Paivioの二重符号化理論などに基づいて3次元映像の教育的役割を考察する。次に、3次元映像の役割に認知的機能と意欲的機能があるとする本研究のモデルを提唱する。認知的機能については主として知覚心理学の知見によって説明される。意欲的機能については先行研究での指摘が少なく、KellerのARCS理論と内発的動機づけ理論と関連づけて説明を行う。

3.1 教育メディア

3.1.1 教育と教育メディア

教育は教師と学習者間のコミュニケーションによって成立するととらえられる(櫛田, 1994)。教師が教育内容を学習者に伝え、学習者がそれを理解し、応答するといったコミュニケーションは教授の中心的な活動である(坂元, 1971)。

教育メディアはこうしたコミュニケーションを促進する媒体や方法であり(大内, 1979)、その役割は学習や授業を具体化することであると考えられる(中野, 1988)。教育メディアは教育の目的を達成するための学習内容(コンテンツ)と教授・学習方略を含んでおり、教育活動の環境を形成する手段であるとされる(近藤, 2015)。教育メディア全般には情報伝達、学習内容、教授者、学習道具、コミュニティ形成といった多面的な役割が考えられるが(黒田, 2015)、コミュニケーションの推進はその中心的役割であると考えられる。

教育メディアのうち視聴覚メディアは映像や音などを伝達することによって、学習者の概念形成や技能向上など教育目標の達成に貢献することを目的としている。このようにとらえると教育メディアに3次元映像を用いる意義は、教育の目的を実現するため他のメディアにはない独自の方法でコミュニケーションを行うことであると考えられる。

3.1.2 教育メディアの経緯と現状

現在の教育メディアは視聴覚教育から発展してきた。その起源は17世紀のComeniusの教育実践にある(櫛田, 1994)。その教科書には図版が豊富に取り入れられており、画像が教育に導入されたことを意味している。

視聴覚教育は20世紀になると映像技術の発展とともに拡大してきた。画質の向上と動画

と音声を組み合わせた映像導入が 20 世紀前半の主要な変化である (近藤, 2015)。写真や映画が社会で普及するにつれて、それらは教育のために利用されるようになり、20 世紀前半には授業で映像を活用することは一般的になった。しかし、3 次元映像が教育利用される機会は限定的であった。当時は安価に利用できる 3 次元映像の提示方法はステレオ写真やアナグリフ画像にとどまっていたためである。

1970 年代以降、教育工学の研究発展に伴い、視聴覚メディアは教育システム全体の中で位置づけられるようになった (坂元・永野, 2012)。1980 年代には情報通信技術の進展によってパーソナルコンピュータが徐々に教育にも応用されるようになり、教育メディアのデジタル化がすすんだ。デジタル映像はアナログ映像よりも編集や加工の手続きが簡単であるため、授業担当者がデジタルカメラやビデオカメラで撮影した映像から教材を作成することが容易になった。また、デジタル映像はディスプレイやプロジェクターで直接表示することが可能であるため、一斉授業でも利用しやすい。特定の情報機器に制約されない画像ビューアーや動画プレイヤー、プレゼンテーションなどのソフトウェアによって、授業環境に関わらず映像を提示することが可能になった。また、インターネットの発展によりネットワーク環境においても映像が利用されるようになった。20 世紀後半は映像のデジタル化と利用環境の拡大が主要な変化である。21 世紀になると、教員が制作できる映像の画質はフルハイビジョンに向上し、ほぼ放送用のレベルになった。映像の利用方法には今後の発展が見込めるものの、映像自体は一定の水準に到達したと考えられる。映像技術の点では 2010 年代に 3 次元映像や 4K 映像などが新たな流れになっている。

3.1.3 教育メディアの種類

情報通信技術の発展に伴い教育メディアは多様化してきた。現在の教育メディアは広範囲にわたっている。

平沢 (2014) によれば、教育メディアは①印刷型、②標本型、③非印刷・非標本型に大別される。標本型と非印刷・非標本型のメディアにはそれぞれ静止画像や動画像などの④視聴覚メディア、プログラム学習の CAI などの⑤対話型メディア、ICT や電子黒板などの⑥情報処理メディアの 3 群が含まれる。この分類によれば、デジタル化された 3 次元映像はアナグリフ形式を除いて学習対象をディスプレイに表示することが大部分であるため③非印刷・非標本型に該当する。また、画面上に映像を単独に提示することが多く、視聴覚メディアとして区分される。このため、3 次元映像は非印刷・非標本型の視聴覚メディアとして位置づけられる。この点ではディスプレイに単純に表示される 2 次元映像と共通した分類になっている。ただし、マルチメディアソフトやネットワークソフトを組み合わせることによ

り、3次元映像を双方向性のある対話型メディアや情報処理メディアとして利用できる可能性がある。6.4節と6.5節では対話型メディアとしての提示方法を検討する。

3.1.4 教育メディアの構成要素

教育メディアには5つの要素があるとされる。すなわち、①メッセージの内容、②構成技法や伝達方法、③材料や媒体、④装置や機材、⑤利用環境である（中野，1988）。この概念に基づくと、両眼視差の奥行き情報を含んでいる3次元映像の独自性はメッセージの内容にあると考えられる。3次元映像は立体視を実現しているため、2次元映像とは質の異なるメッセージとなっている。メッセージの構成技法と伝達方法については、左右の映像を組み合わせているため2次元映像とは違った記録形式や表示方法となっている。装置や機材あるいは利用環境についても専用ディスプレイや立体メガネのように3次元映像の特殊性は強い。

したがって、教育メディアの構成要素ごとに検討すると3次元映像の独自性が明らかになる。3次元映像はコミュニケーションを媒介する手段となっている点では他の教育メディアと同等であるが、2次元映像との比較で異なっている要素が多い（2.3節）。

3.1.5 教育メディアの役割：(1) Daleの経験の円錐理論

Dale（1957）は視聴覚教育の役割を経験の円錐理論によって説明している（図3.1）。

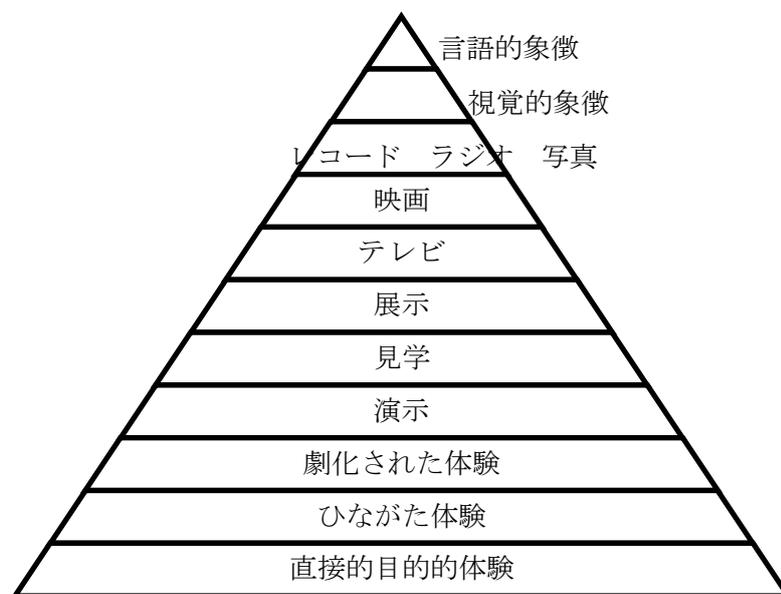


図 3.1 Daleの経験の円錐理論

このモデルでは授業における学習者の様々な経験を具体性・抽象性の基準で階層化しており、最下部にある直接経験から上部にある言語的抽象へと向かうピラミッド形状となっている。写真や映画などの視聴覚教材は直接体験と言語的象徴の中間にあたる位置づけとなっている。映像は直接経験の代理となり、学習者が現実場面と結びつけて抽象的概念を形成することに役立つとされている。

この理論によれば 3 次元映像は学習者に間接経験を与える役割を果たすことになる。2.4.3 節で述べたように臨場感やリアリティの高さは 3 次元映像がもつ特性の 1 つであり、2 次元映像よりもやや直接経験に近い位置にあると考えられる。そのため、学習者が実際の体験に近似した観察経験をすることが 3 次元映像の教育メディアとしての役割であると考えられる。

3.1.6 教育メディアの役割：(2) Gagne の教授プロセス理論

Gagne (Gagne, 1975; Gagne et al., 2005) は教授とは学習者の内部で起こっている学習過程を支援するための外部からの働きかけ（外的条件）であるにとらえた。この枠組みに基づいて学習者の情報処理プロセスをモデル化し、学習のメカニズムを提案した。すなわち、教授のプロセスは 9 つの段階に分けることができ、段階ごとに効果的な教育方法があると考えられる（表 3.1）。教育メディアは各段階でそれぞれの特性に応じた役割を果たしうると理解される。

表 3.1 Gagne の教育事象と学習プロセスに関する理論 (Gagne et al., 2005)

段階	教授事象	学習プロセスの保持
1	学習者の注意を喚起する	神経インパルスのパターンの受容
2	授業の目標を知らせる	実行制御プロセスの活性化
3	前提条件を思い出させる	以前に学習したことを作業記憶に想起
4	新しい事項を提示する	選択的知覚ができるように特徴を強調
5	学習の指針を与える	意味的符号化、検索のためのヒント
6	練習の機会をつくる	反応の組織化の活性化
7	フィードバックを与える	強化の確保
8	学習の成果を評価する	検索の活性化、強化を可能に
9	保持と転移を高める	検索のためのヒントと方略を提示

この枠組みで3次元映像の役割をとらえると、「新しい事項を提示する」第4段階での寄与が大きいと考えられる。両眼視差を含む3次元映像は学習者に2次元映像にはない事項を伝えることができる。また、3次元映像は「学習者の注意を喚起する」第1段階にも関与すると考えられる。立体視による独特の刺激は注意を高めることになるであろう。そこで、3次元映像は教育メディアとして新しい事項を提示する役割と学習者の注意を喚起する役割があると期待される。大内（1982）は、視聴覚メディア全般について写真のように刺激を提示する機能がある一方、映画やテレビの映像については刺激を提供する以外にも多様な役割をもっており、注意の方向づけの機能にも適合していると論じた。映像メディアの役割に関する検討において（3.2.2節）、この考察を深める。

3.1.7 教育メディアの選択

多様なメディアが利用可能な現在の教育環境では、授業担当者はそれらの中から特定のメディアを選択することになる。この際、それぞれの授業に適した教育メディアの選択が重要である。3次元映像は他のメディアと同様、すべての授業で利用可能ではなく、またすべての授業に適しているわけではないと考えられる。

坂元（1971）は、教育メディアの特性として機能、目標、コスト、使用形態の4つの基準を示している。このうち、機能の基準は情報提示、KR情報（Knowledge of Results）、反応喚起、反応統制、診断評価に整理されており、映像メディアはこれらの機能の中で情報提示について特に有利とされている。また、目標の基準には知識、技能、能力、態度の4つの項目が含まれており、映像は知識の目標に対してとても有利であり、態度の目標についても有利とされている。3次元映像についても映像全般と同様の機能と目的に適しており、知識獲得のために情報提示する役割が重要であると考えられる。

Gerlach & Ely（1971）は、教授メディアの選択基準として適切さ、難易度、経済性、利用可能度、質の良さの5項目を示している。適切さとは学習課題に適合していることであり、3次元映像の場合は両眼視差の奥行き情報によって立体物や空間の認識をする授業ではこの基準で優れていると考えられる（2.4.1節）。難易度とは学習者の知的レベルや到達度についての選択基準であり、3次元映像については幼児期から認識や理解は可能であるが、両眼立体視の能力が発達した児童期以降に利用することが好ましいと考えられる（2.5節）。一方、3次元映像は2次元映像よりも導入コストが増加しやすく、利用には専用の機器を必要とするため、経済性や利用可能度の基準では適合度が低くなりやすいととらえられる。ただし、2.3.3節で検討したように3次元映像の提示方法によってこれらの程度には違いがある。また、質の良さについては左右映像の適切な調整やクロストークの低下といった利用過

程での作業によって、映像の見やすさを一定のレベルで保つ必要がある。これらを考慮すると、3次元映像を教育メディアに選択する基準としては学習課題との適合性の高さがとりわけ重要であると考えられる（4.4.1節）。

3.2 映像メディアのコミュニケーション特性

コミュニケーションはメッセージ内容と媒介手段から構成され、媒介手段は言語と非言語に大別される。授業でのコミュニケーションは口頭での説明や板書など主として言語を手段としている一方で、言語だけでは伝達が困難な教育内容もある。教育メディアにも記述資料や音声などの言語的メディアがある一方、映像やイラストなどの非言語的メディアは教育メディアに不可欠である（小柳, 2004）。

映像は言語メディアにはない内容を伝達することができるため、その効果的な利用によって教育効果を高めると考えられる（中島, 1996）。3次元映像は非言語的な特性をもっており、学習者の視覚的な対象理解を促進する効果をもつと期待される。

3.2.1 二重符号化理論

Paivio (1990) は人間の情報処理に言語的処理とイメージ的処理があるとする二重符号化理論を提唱した。すなわち、言語情報の符号化、貯蔵、検索を行うシステムとイメージのための認知システムとは独立していることになる。この理論に基づくと、特定の対象を学習する際に名前といった言語システム単独で符号化するよりも、名前と映像を用いて言語システムとイメージシステムで二重に符号化すると学習が効果的になると考えられる（Clark & Paivio, 1991; 中島, 2011）。この予測と一致して、物語を記憶する実験において言語を単独に提示する条件と比べて画像、特に色彩のある画像を付加することによって成績が向上することが確かめられている（北尾・岡本, 1993）。

3次元映像はイメージシステムで処理されるため、言語情報とは異なるシステムで認知されると考えられる。したがって、教育メディアに3次元映像を利用することによって学習者のイメージシステムを喚起することになり、言語だけのメディアよりも学習対象の認識や記憶が向上することが期待される。

また、映像は言語的情報とは独立したイメージ表象であるため、言語と組み合わせて同時処理しても両者間に処理資源の競合が生じにくいとされる（太田・中島・河村, 1990）。Najjar (1996) はマルチメディアを用いた教育の研究を総括して、教材が学習を促進させるために言語と非言語の二重符号化を行うことを提唱している。このため、3次元映像をマルチメディアの素材として活用することは有効であると推測される。

3.2.2 マルチメディアとしての映像

映像メディアは単体ではなく、他の素材と組み合わせて教育利用されることがある。1980年代後半からコンピュータを使用することによってマルチメディアとして教育メディアが用いられるようになった（山内, 2010）。マルチメディア教材はテキストと共に複数の映像や音声为一体となって作成される。また、学習者からの応答に応じて教育内容を選択的に提示するインタラクティブな関係を形成するようになった。Clark & Craig (1992) はマルチメディア教材に関する研究をレビューして、コミュニケーションの双方向性が学習に強く影響を与えることを提唱している。

3次元映像は従来メディア単体として教育に利用されることが大部分であった。アナグリフ形式を除くと、3次元映像とテキストや2次元映像を組み合わせた教育メディアの事例の報告はほとんど認められていない。このため、3次元映像をマルチメディア教材に組み入れることは今後の課題といえる。学習者の選択に応答して3次元映像を提示できるようになると、アクティブな学習環境を構成することができる（6.4節）。

3.2.3 映像メディアの教育的役割

3.1.6節では教育メディア全般の役割を検討し、多様な役割の中に刺激の提示と注意の方向づけがあることを示した。この節ではこのうち映像メディアの役割を考察する。

中野（1980）は映像の教育的な役割には参照機能と情意機能の2つがあるとした。参照機能とは現象を理解することや認識を容易にする機能であり、情意機能とは学習者の興味を起すことや感動を高めるはたらきである。このため、映像の教育メディアには認知面と意欲面の2つの役割があると考えられる。同様に、波多野（1972）は教育で用いられる非言語的メッセージは本質を理解しやすいことと印象を強めることに特色があると述べている。前者は対象の認知や理解に関する役割であり、後者は学習時の意欲に関わるととらえられる。

このため、映像メディアには認知的な役割とともに意欲的な役割があるととらえられる。3次元映像についてもこの2つの役割を有すると推定される。次の3.3節と3.4節ではこの分類にしたがって、3次元映像の独自の機能について議論をすすめる。

3.3 3次元映像の教育メディアとしての認知的機能

3次元映像は3章で述べたように2次元映像にはない心理的諸特性をもっている。このため、教育メディアとして特有の認知的機能があると考えられる。

最初の要因は映像の立体視によって奥行き方向の視覚処理が効率的になされることであ

る(2.4.1.節)。このため、教材に3次元映像を用いることによって、立体形状の認識や空間的な把握を必要とする学習課題の遂行成績がより向上すると推測される。次の要因は映像の観察時に立体感、奥行き感が強くなることである(2.4.2.節)。3次元映像では学習者は立体的な内容や対象の奥行きに対する印象や意識が強くなると予想される。また、3次元映像は臨場感や質感が強めやすいという特徴をもっている(2.4.3.節)。そのため、学習者は観察対象に強い現実感やリアリティをもちやすいと考えられる。

3.4 3次元映像の教育メディアとしての意欲的機能

3次元映像は観察時の感情を強めやすいことが示唆されている(2.4.4.節)。強い印象をもたらす3次元映像は観察の興味を高めやすいと推測される。この他にも3次元映像には学習者の意欲を高める以下の要因があると考えられる。

3.4.1 3次元映像の新奇性

一般に見慣れた対象よりも新奇な対象に対して興味が強まりやすいと考えられている。Berlyne(1960)は刺激への興味に影響する諸要因を検討し、新奇性、複雑性および不確定性の高さによって刺激への興味に変化するとした。刺激を観察する際の参加者のGSRを計測した実験において新奇な図形に対する動機づけが高いことが確かめられている(Berlyne, Crow, Salapatek & Lewis, 1963)。このため、教育メディアの新奇性は学習者の興味や関心を高めることになる。

教育メディアの新奇性には学習コンテンツの要因とメディア自体の要因があると考えられる。コンテンツの新奇性とは対象の観察経験や学習の量と関連しており、メディアの新奇性とはそのメディアの観察頻度や利用経験の量によって決まる。Najjar(1996)はマルチメディアがメディアとしての新奇性が高いために、学習の成果が高まりやすいと述べている。3次元映像は近年その利用が拡大したが、依然として一般の家庭や学校では視聴頻度が低いメディアである。3次元映像に対する新奇性は現在でも高く、多くの学習者にとって非日常的な目新しいメディアとなっている。このため、3次元映像は学習者の興味を高めやすいと考えられる。

3.4.2 3次元映像の不調和

3次元映像の観察時に平面のディスプレイに対して強い立体感を得る経験は、日常では生じることが稀であり、現実の物理的世界と知覚像とが異なる錯覚として性質をもつ。例えば、飛び出す印象を与える3次元映像に対して観客が画面方向に手を伸ばす行動はこの不調和

を反映していると考えられる。一般に葛藤を引き起こす状況は認知的な動機づけを高めるとされており(Berlyne, 1965)、3次元映像の観察によって生じる不調和は学習者の知的好奇心を高めると推定される。こうした好奇心は学習者の内発的動機づけであるにとらえられる(鹿毛, 1994)。そのため、3次元映像を教育利用することで自発的な学習行動が増えることが期待される。

3.4.3 学習意欲に関する ARCS モデル

Keller は学習意欲に関わる諸要因を整理して ARCS モデルを提唱した (Keller, 1983;

表 3.2 Keller の ARCS モデル (鈴木 (1995) を改編)

注意 (Attention)	
A-1: 知覚的喚起	新奇、驚き、不調和、不確かな事象を用いることによって、学習者の注意を高め、維持する。
A-2: 探求心の喚起	質問や問題の作成によって、情報を求める行動を高める。
A-3: 変化性	授業に変化をもたせることによって、学習者の興味を持続させる。
関連性 (Relevance)	
R-1: 親しみやすさ	具体的用語や学習者の経験や価値観に関連している例や概念を用いる。
R-2: 目的指向性	達成目的を提示するか学習者に目的を決めさせる。
R-3: 動機との一致	学習者の動因に合った教授方略を用いる。
自信 (Confidence)	
C-1: 学習要求	目標や評価の基準を提示し、学習者が成功の確率を予測できるようにする。
C-2: 成功の機会	学習者が意味のある成功体験ができるようなレベルを提供する。
C-3: コントロールの個人化	学習を制御する機会とフィードバックを与えて、学習者が成功の原因を自分自身に帰することを援助する。
満足感 (Satisfaction)	
S-1: 自然な結果	現実あるいは現実に類似した状況で、習得した知識・技能を使う機会を与える。
S-2: 肯定的な結果	情意的フィードバックや強化によって望まれる行動を維持する。
S-3: 公平さ	課題達成の結果や評価基準を常に一定に保つ。

Keller, 2009)。この理論では学習意欲を形成する要因には、注意（Attention）、関連性（Relevance）、自信（Confidence）、満足感（Satisfaction）の4つがある（表 3.2）。このモデルは視聴覚メディアの教育的効果のうち、興味や態度、感動といった情意領域をとらえる枠組みになりうる（鈴木, 1995）。

3次元映像は学習意欲に関するこれらの項目のうち、「注意」の要因に最も関与すると考えられる。3.4.1節と3.4.2節で述べたように、3次元映像には新奇で、不調和で、驚きを高める特性があるために、「知覚的喚起」を高めやすいためである。また、2次元映像と3次元映像を組み合わせ提示することは「変化性」を高めることになる。このように、3次元映像は「注意」の段階で学習意欲を高める役割があると理解される。

また、3次元映像の特性の1つに現実感の高さがある（2.4.3節）。映像が実際の場面と近い印象を与え、学習者が映像内の対象に親近感を高める可能性がある。そこで、「関連性」の要因内にある「親しみやすさ」の点からも学習意欲を高めると推定される。

3.5 3次元映像の教育効果のモデル

以上の検討を通じて、3次元映像には教育メディアとして認知的機能と意欲的機能があるとする本論文のモデルを提唱する（図 3.2）。3.2.2節で検討したように映像メディアには認知面と意欲面での教育的役割があると考えられており、3次元映像はそれぞれについて特有の機能があると想定する。

図 3.2 の左側では 3.3 節で述べたように、両眼視差によって 3次元映像には奥行き認知や立体感、臨場感が優れているというメディア特性があり、このため教育メディアとして学習対象の知覚的遂行能力や奥行き印象、リアリティを向上する認知的機能をもつことを示している。図の右側では 3.4 節で説明したように 3次元映像の新奇性、不調和、感情喚起といった特性が教育メディアとして知覚的な注意や学習対象への関連性、好奇心といった意欲的機能に結びつくことを表している。この認知的機能と意欲的機能によって教育メディアとしての効果が総合的に高められることになる。それぞれの機能は 3次元映像に独自に備わっており、授業で利用することによって 2次元映像にない学習達成機能をもたらすものと仮定される。

なお、認知的機能と意欲的機能は必ずしも独立しているわけではなく、両要因間に相互作用が生じうると考えられる。すなわち、認知的機能を高めるメディアを観察することによって学習者の意欲が高まることや学習者の意欲の程度によって認知的行動が変化する可能性はある。ただし、このモデルではこうした副次的効果としてではなく 3次元映像が直接認知的機能と意欲的機能を果たすことを示している。

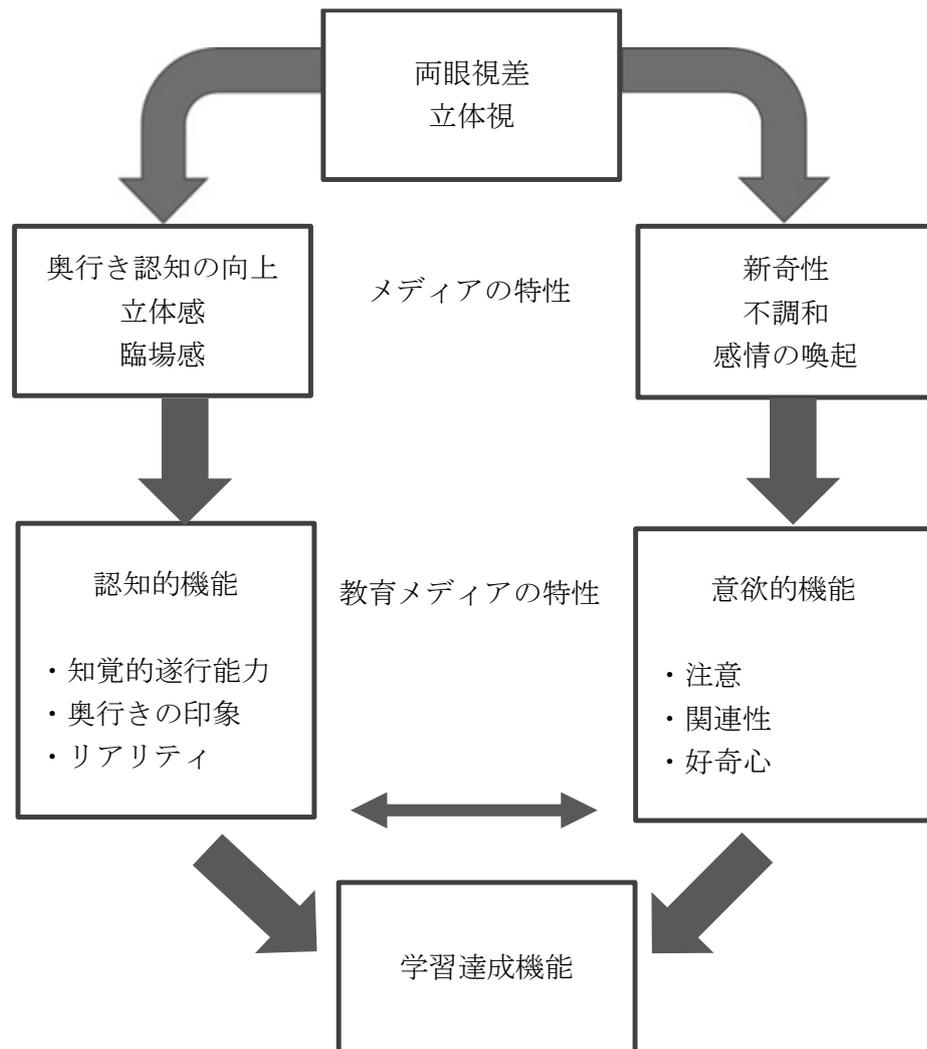


図 3.2 3次元映像の教育メディアとして機能モデル

参考文献

- Bennett, D. J., & Vuong, Q. C. (2006). A stereo advantage in generalizing over changes in viewpoint on object recognition tasks. *Perception & psychophysics*, 68(7), 1082-1093.
- Berlyne, D. E. (1960). *Conflict, arousal, and curiosity*. New York: McGraw-Hill Book Company Conflic.
- Berlyne, D. E., Craw, M. A., Salapatek, P. H., & Lewis, J. L. (1963). Novelty, complexity, incongruity, extrinsic motivation, and the GSR. *Journal of Experimental Psychology*,

66(6), 560-567.

Berlyne, D. E. (1965). *Structure and direction in thinking*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

(バーライン, D. E. 橋本七重・小杉洋子 (訳) (1970) *思考の構造と方向* 明治図書)

Burke, D. (2005). Combining disparate views of objects: Viewpoint costs are reduced by stereopsis. *Visual Cognition*, 12, 705–719.

Clark, J. M., & Paivio, A. (1991). Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review*, 3(3), 149-210.

Clark, R. E., & Craig, T. G. (1992). *Research and Theory on Multimedia Learning Effects*. In M. Giardina (Ed.), *Interactive Multimedia Learning Environments*. Human factors and technical considerations on design issues (pp.19-30). Berlin Heidelberg: Springer.

Cristino, F., Davitt, L., Hayward, W. G., & Leek, E. C. (2015). Stereo disparity facilitates view generalization during shape recognition for solid multipart objects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 68, 2419-2436.

Dale, E. (1957). *デールの視聴覚教育* 西本三十二 (訳) 日本放送教育協会

Edelman, S., & Bülthoff, H. H. (1992). Orientation dependence in the recognition of familiar and novel views of three-dimensional objects. *Vision Research*, 32, 2385–2400.

鹿毛雅治 (1994). 内発的動機づけ研究の展望 *教育心理学研究*, 42(3), 345-359.

Gagne, R.M. (1975) *Essentials of Learning for Instruction (Exp. Ed.)*. Holt, Rinehart and Winston, New York

(ガニエ, R.M. 北尾倫彦 (訳) (1982). *教授のための学習心理学* サイエンス社)

Gagne, R. M., Wager, W. W., Golas, K. C., & Keller, J. M. (2005). *Principles of Instructional Design*. Belmont, CA: Wadsworth/Thompson Learning.

(ガニエ, R. M., ウエイジャー W.W., ゴラス, K. C., & ケラー, J. M. 鈴木克明・岩崎信 (監訳) (2007). *インストラクショナルデザインの原理* 北大路書房)

Gerlach, V. S., & Ely, D. P. (1971) *Teaching and media: a systematic approach*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.

(ガーラック, V. S., & イーリィ, D. P. 町田隆哉 (訳) (1975). *授業とメディア* 平凡社)

Keller, J. M. (1983). Motivational design of instruction. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional Design theories and models: An overview of their current status* (pp.

- 383-433). Hillsdale, N.J: Erlbaum Associates.
- Keller, J. M. (2009). *Motivational design for learning and performance: The ARCS model approach*. New York: Springer.
- (ケラー, J. M. 鈴木克明 (監訳) (2010). 学習意欲をデザインする—ARCS モデルによるインストラクショナルデザイナー— 北大路書房)
- 波多野完治 (1972). *教育機器の学習心理学* 大日本図書
- 平沢 茂 (2014). *教育メディアとその利用* 平沢茂 (編著) 改訂版 *教育の方法と技術* (pp.113-144) 図書文化
- 北尾倫彦・岡本真彦 (1993). 物語の記憶と理解におよぼす画像情報の効果 *心理学研究*, 63(6), 404-408.
- 近藤 勲 (2015). *教育メディアの開発と活用* 近藤勲・黒上晴夫・堀田龍也・野中陽一(著) *教育メディアの開発と活用* (pp.1-55) ミネルヴァ書房
- 小柳和喜雄 (2004). *教育メディアと環境* 西之園晴夫・宮寺晃夫(編) *教育の方法と技術* (pp.183-207) ミネルヴァ書房
- 黒田晴夫 (2015). *教育メディアの系譜* 近藤勲・黒上晴夫・堀田龍也・野中陽一(著) *教育メディアの開発と活用* (pp.56-99) ミネルヴァ書房
- 榎田 磐 (1994). *視聴覚教育の意義* 榎田磐・土橋美歩(著) *新版視聴覚教育* (pp.7-25) 学芸図書
- Najjar, L. J. (1996). *Multimedia information and learning*, *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 5, 129-150.
- 中野照海 (1980). *授業過程における映像の機能* 「映像と教育」研究集団(編著) *映像と教育—映像の教育的効果とその利用* (pp.227-254) 日本放送教育協会
- 中野照海 (1988). *教育とメディア* 中野照海・平沢茂(編著) *実践教職課程講座・教育とメディア* (pp.15-43) 日本教育図書センター
- 中島義明 (1996). *映像の心理学—マルチメディアの基礎—* サイエンス社
- 中島義明 (2011). *映像心理学の理論* 有斐閣
- 太田裕彦・中島義明・河村壮一郎 (1990). 動画像認知における処理資源について *大阪大学人間科学部紀要*, 16, 155-180.
- 大内茂男 (1979). *教授メディアの機能と特性* 大内茂男・高桑康雄・中野照海(編) *視聴覚教育の理論と研究* (pp.216-222) 日本放送教育協会
- 大内茂男 (1982). *授業におけるメディアの選択* 大内茂男・中野照海(編) *教授メディアの選択と活用* (pp.36-47) 図書文化社

- Paivio, A. (1990). *Mental representations: A dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- 坂元 昂 (1971). *教育工学の原理と方法* 明治図書出版
- 坂元 昂・永野和男 (2012). *教育工学の歴史と研究対象* 坂元昂・岡本敏雄・永野和男(編著) *教育工学とはどんな学問か* (pp.1-19) ミネルヴァ書房.
- Sheedy, J. E., Bailey, I. L., Buri, M., & Bass, E. (1986). Binocular vs. monocular task performance. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 63(10), 839-846.
- 鈴木克明 (1995). 「魅力ある教材」 設計・開発の枠組みについて—ARCS 動機づけモデルを中心に— *教育メディア研究*, 1(1), 50-61.
- Ware, C., & Franck, G. (1996). Evaluating stereo and motion cues for visualizing information nets in three dimensions. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 15(2), 121-140.
- Wickens, C. D., Merwin, D. H., & Lin, E. L. (1994). Implications of graphics enhancements for the visualization of scientific data: Dimensional integrality, stereopsis, motion, and mesh. *Human Factors*, 36(1), 44-61.
- 山内祐平 (2010). *デジタル教材の教育学* 東京大学出版会

第4章 教育メディアとしての3次元映像

本章では3次元映像を教育メディアとして実用化してきた事例とその教育効果を検証した先行研究について述べる。3次元映像はデジタル処理されるようになった時期以降、授業で活用される機会が増えている。そこで、これまで利用されてきた主な学習分野や提示方法についてまとめる。次に、3次元映像の教育効果には3章で提唱したように認知的機能と意欲的機能があると考えられ、従来の研究でこれらの役割がどのように検証されてきたかを論じ、そこでの問題点を指摘する。

4.1 3次元映像の教育利用の経緯と現状

3次元映像は両眼視差による奥行き情報を含んでいるため、2章で述べたように観察者は2次元映像とは異なる独自の視覚的経験をすることができる。このため、20世紀前半から教育メディアとして3次元画像の利用が試みられてきた。当時アナグリフの画像やView-Masterなどのステレオ写真が視覚教材や児童向けの書籍に利用されていたことが報告されている(Judge, 1950; Kennedy, 1936)。しかし、こうしたアナログ方式の3次元映像を教育に利用する事例は限定的であった。

教育メディアはメディア自体の技術的な開発や製造を背景としている。3次元映像についても同様であり、デジタル化の進展によって映像制作や視聴の環境が向上した2000年代以降に教育メディアとして利用が拡大した。同時期にデジタル3次元映像の教育利用に関する研究報告が増加することになった。

4.2 教育メディアとしての利用形態

これまでに3次元映像を様々な方法で教育に導入する試みが行われてきている。こうした教育メディアとしての利用形態は授業用と展示用に大別することができる。前者は主として学校など教育機関での適用であり、利用の目的や対象者が定まっている。後者は博物館などで不特定多数の対象者が映像を観察する環境での運用である。

4.2.1 授業における3次元映像利用

授業で3次元映像を利用する場合には他の教育メディアと同様、授業を担当する教員が必要な映像コンテンツや機器を選択、準備し、授業中に提示装置を操作することが多い。教員に3次元映像に関する知識や技術が必要となるため、利用できる機会が限られる傾向がある。

利用機器の面では、CAVE などの大型の装置や専用教室に機器を設置することはあるが (e.g. Grimes, Warschauer, Hutchinson, & Kuester, 2005; 内田, 1999)、多くの場合は既存の教室内に 3 次元映像の提示装置を導入することになる。代表的な例は GeoWall と呼ばれる 3 次元映像をスクリーンに提示する比較的低価格なシステムで、2000 年代に米国で開発された (Dukes & Bruton, 2008; Johnson, Leigh, Morin, & Van Keken, 2006)。2 台のプロジェクターを用いて偏光方式の 3 次元映像を投映するシステムであり、市販されている 2 次元映像用の機器を組み合わせることによって立体視を実現している。また、携帯型デジタルプレイヤーをビューアとした低コストの映像視聴システムも提案されている (White, 2010)。このようにデジタル映像の利用へと転換した初期段階では授業や教育機関ごとに 3 次元映像を提示する機材を構成することが多かった。一方、2010 年代には 3 次元映像を直接表示できるディスプレイやプロジェクターが広く販売されるようになり、共通した機器の教育利用が可能になりつつある。

2000 年代以降には授業で 3 次元映像を利用した実践報告が増加しており、教育メディアとしてどのような効果をもつかについての研究が蓄積されつつある。導入事例はアメリカ、アジア、日本が中心で、教育機関は小学校から大学までと幅広い。

4.2.2 展示における 3 次元映像利用

教育用の施設の中において 3 次元映像を展示に利用していることが報告されている (Lo, Tsai, Chen, & Hung, 2004)。国内においても博物館、科学館や天文台などで大型スクリーンやドーム型スクリーンにデジタル形式の 3 次元映像を投映している事例が複数認められる (町田, 2013)。こうした教育用施設では大規模で独自に開発された機器を設置し、施設ごとに制作された 3 次元映像を常設展示していることが多い。ただし、施設展示での教育効果を検証した研究報告は限定されている。

4.3 3 次元映像の教育効果に関する先行研究

3 次元映像を教育利用することが技術的に発展途中であり、導入に困難が多かった段階ではこれを実現するシステムや方法に関する研究の意義が大きく、こうした研究が多くの割合を占めていた。しかし、3 次元映像の利用がより簡易になった現在ではメディアの効果的な利用方法を明らかにするため、教育効果の評価がより重要になっている (河合, 2007)。3 章で述べたように、3 次元映像の学習達成機能には認知的要因と意欲的要因があると考えられる。これまでの研究では主として認知的機能について検証されていた。4.4 節と 4.5 節ではこれらの機能に関する先行研究の結果を概観する。

4.4 3次元映像の認知的機能に関する先行研究

4.4.1 学習分野ごとの検討

羽倉 (1988) は、3次元映像を教育利用する効果として立体的対象や情報量の多い画像を短時間で容易に理解できること、映像に臨場感や迫真感が強いことを挙げている。こうした映像の特性が表れやすい分野を中心に3次元映像は利用されてきた。アナログ映像の形式であった20世紀後半までは医学や幾何学、天文学、化学の分野で3次元映像の教育利用が報告されている (Judge, 1950; 松尾, 1990)。このように利用分野に一定の傾向があることはデジタル映像が主となっている現在においても同様である。近年では次の分野で3次元映像の教育利用が報告されている。

医学の分野では最新の3次元映像機器を導入した事例が比較的多く報告されており、従来の2次元映像による方法と比べて映像導入の効果を検証した結果が示されている (Van Beurden, IJsselsteijn, & Juola, 2012)。医学生や看護学生に対する授業で人体の形態や臓器を3次元映像によって提示することによって、立体的なイメージを構築することができ、解剖学上の形状や位置の理解が向上することが認められている (Brown, Hamilton, & Denison, 2012; Hilbelink, 2009; Perry, Kuehn, & Langlois, 2007; 曾我他, 2014)。また、演習の授業では3次元映像によって手術の手続きに関する理解が深まること (Perry, Cunningham, Gamage, & Kuehn, 2011)、外科手術のトレーニングが促進されること (Oishi et al, 2013; Votanopoulos, Brunicardi, Thornby, & Bellows, 2008) が明らかにされている。医学の教育では導入コストがかかっても先進的な視聴覚機器を導入する傾向が認められる。この分野では人体の立体的構造や手術の微細な特徴の理解が重要であり、精細な3次元映像の利用に対して肯定的な結果が多い。一方、アナグリフ形式の3次元画像を用いた実験では2次元画像と顕著な差が認められないことも示されている (Al-Khalili & Coppoc 2014)。

天文学や地質学の授業においても視覚教材に3次元映像を導入した事例が複数報告されている (Kelly & Riggs, 2006; Mnaathr & Basha, 2013)。従来の映像と比較した研究では大学生や小学生に対する授業で3次元映像が地図や地球の理解に役立つとする結果がある (Rapp, Culpepper, Kirkby, & Morin, 2007; Kim, 2006)。一方、映像の種類によって3次元映像の教育効果が一様でなかった調査結果 (McDermott et al, 2012) や太陽、地球、月の相対的な位置関係の理解に顕著な効果が認められなかった結果も示されている (Cid & Lopez, 2010)。この分野での利用実績から3次元映像は地形の高低差や空間内の配置を理解するために役立つととらえられる。

この他にも多様な学習分野でデジタル 3 次元映像が利用されている。幾何学の分野では空間的な形を認知、操作するために 3 次元映像を用いた授業が報告されている (Kaufmann & Schmalstieg, 2003)。化学や生物学の分野では、中学生の分子生物学や高校生の構造化学の授業で 3 次元映像を利用することによって構造に関する生徒の理解が従来よりも向上したという結果が得られている (Cai, 2013)。機械工学の分野では 3 次元コンピュータグラフィックス (CG) を取り入れた授業が実践され、この映像の立体視がエンジン構造を理解することに効果があることが学生の評価から示された (佐藤, 2008)。物理学の分野では摂動磁場現象の理解に必要な学生の認知的な負荷が 3 次元映像の導入によって減少するとの報告がある (Lopez & Hamed, 2004)。こうした適用例に共通している点は学習対象の立体的構造や空間関係の認識のために 3 次元映像が用いられていることであり、多くの割合で映像の教育効果が認められている。

動作の理解を必要とする授業においても 3 次元映像の有効性を示した研究が報告されている。神楽の動作 (佐藤・海賀・渡部, 2011) あるいはヴァイオリンの運弓動作 (馬田・伊藤・小川・安藤, 2013) の習得において 3 次元映像ではより複雑な運動を理解しやすいことが認められた。また、伝統的な踊りをオンライン映像で提示した授業では、学習者へのインタビューから 2 次元映像と比較して 3 次元映像ではリアリティが増加することが確かめられている (Lee, Lee, & Goo, 2013)。遠隔操縦によるロボットの運動技能を学習する課題 (Drascic, 1991) やカンの奥行き方向の並べ替え課題 (Mourant & Parsi, 2002) においても 3 次元映像の効果が認められている。身体動作や操作に関する課題で 3 次元映像の優位性を示す結果が多い一方、コンピュータの組み立て作業では 3 次元映像の顕著な効果は認められなかった (Mukai et al., 2011)。

遠隔地間を映像で通信する技術を 3 次元映像にも適用して、双方向通信による遠隔授業を実現するシステムが開発されてきた (林他, 2002; 風間他, 2002)。現在では、多人数の学習者に対して 3 次元映像をリアルタイムで提示する講義が可能になっている (森田・藤木・寺嶋, 2008)。遠隔講義を模擬した実験では、3 次元映像には画質に課題があったが 2 次元映像による講義よりも立体感が強まり授業を身近に感じやすいことが認められている (松河・西森, 2014)。

4.4.2 2 次元映像との比較研究

教育メディアとして 3 次元映像を利用する独自の効果を検証するには 2 次元映像との対比が必要になる。McIntire, Havig, & Geiselman (2014) は 2 次元映像との比較によって 3 次元映像を提示する効果を検証した 184 の論文を論評している。この論評はこれまでの実

験内容を位置・距離判断、対象の認識・同定・分類、対象の空間的操作、ナビゲーション、空間理解・記憶、学習・訓練・プランニングの6分野に分けて、3次元映像の効果の有無を集計している（表4.1）。全分野の総計では、ほぼ60%の論文で3次元映像が2次元映像よりも有効であり、15%は部分的な優位性を示す混合した結果であり、25%で提示次元間に差がなかった。このため、全般的には3次元映像の優位性が認められたことになる。

表 4.1 McIntire et al. (2014) による 3次元映像と 2次元映像の比較論文の要約

	3次元映像優位 (%)	混合 (%)	効果なし (%)
位置、距離の判断	57	14	29
対象の認識、同定、対象	65	8	27
対象の空間的操作(現実、仮想)	67	15	18
ナビゲーション	42	0	58
空間的理解、記憶、再生	52	24	24
学習、訓練、プランニング	36	36	27

6つの分野のうち、教育と関係が深いと考えられる学習、訓練として分類された論文は11件あり、このうち3次元提示の優位性が明確に認められた論文は1/3程度で、部分的な優位性が示された結果を含めると約7割の論文で提示次元間に差があった。また、空間的理解と記憶の分野では21件の論文の結果が集計されており、このうち半数程度で3次元映像の効果があり、混合した結果を含めると約3/4の論文でその有効性が示されている。ただし、学習対象の記憶に関する研究では一様な結果になっていない。3次元映像には多面的な効果があり、その1つが再生成績の向上であることが指摘されているが (Hruskocy & Foster, 2013)、記憶に対して明確な効果がなかった結果も報告されている (Carrier, Rab, Rosen, Vasquez, & Cheever, 2012)。

この論評では3次元映像の認知的機能を対象とした研究結果を集約している。授業と関係が強い論文の中のうち半数程度では2次元映像と比較して3次元映像の優位性が明示されたため、教育メディアとしての認知的機能は確認されているが、この機能には一定の限界がある。McIntire et al. (2014) は映像の教育利用について学習の内容や課題が3次元提示の効果の有無に関連しており、学習対象が複雑である場合、対象が見慣れない場合、単眼視の手がかりが少ない場合、あるいは奥行きに係る学習内容の場合では3次元映像を用いる効果が認められやすいと論じている。

また、学習者の特性とメディアの教育効果が交互作用することも考えられる。細胞の学習で空間能力の高い学生のみが3次元映像による成績の上昇を示した結果が示されている(Huk, 2006)。今後、学習者の特性を考慮して3次元映像の教育メディアを用いる適性処遇交互作用(ATI)に関しても検討の余地がある。

4.5 3次元映像の意欲的機能に関する先行研究

3次元映像の意欲的機能を検証することを目的として実施された先行実験は少なく、認知的機能に関する実験で付加的に検討されることが多かった。それらの実験では3次元映像を教育メディアに用いることで、学習者の興味が高まりやすいことが示されている。Smith(2009)は映像の有用性や満足度などを評定した調査で3次元映像に参加者の注意を高める効果があることを見いだした。また、3次元画像としての表情写真は2次元画像に比べて観察者の覚醒度を向上させることが示されている(Kawai et al, 2014)。フライトシミュレーションのCGに3次元映像を利用した実験では、2次元映像に比べて臨場感が高く評価され、学習意欲が向上することが認められた(佐藤他, 2012)。しかし、映像の内容によっては3次元映像への注意が高まらないことも認められている(Ji, Tanca, & Janicke, 2013)。実験間で3次元映像の特性が異なっていることが参加者の興味に影響していると推測される。

3次元映像の教育利用に関する先行研究は知覚、理解、判断などでの学習成果に焦点づけられることが多く、2次元映像と比較して学習意欲の変化を厳密に吟味した実験は乏しい。また、意欲的機能を対象とした従来の実験では参加者の主観的判断に基づいて検証していた。3次元映像によって学習者の意欲が明確に向上するのであれば、授業での学習行動に対しても効果があることが予想される。この仮説に基づいて、参加者の行動を測度とする実験で意欲的機能を検討することが重要である。

4.6 3次元映像の教育利用研究の問題

上記の先行研究の検討に基づくと、3次元映像の教育利用研究に関して以下の問題や課題があることが明らかにされた。本論文ではこれらの問題を吟味することになる。

(1) 教育効果の検証データ不足

3次元映像の学習達成機能には認知的側面と学習意欲の側面があると考えられる。前者の認知的側面に関する研究報告数は多いが、研究されている学習分野に偏りがある。3次元映像のコストが減少している現在ではより多くの学習分野で適用することが容易になってい

る。そのため、3次元映像に適した分野や授業内容をより多角的に検証することが重要である。この点を5章で検討する。後者の学習意欲面については研究データが少ないため、より詳細な吟味が重要である。この点については6章で述べる。

(2) 教育効果の測定方法の多重化

教育効果の測度には客観的な指標と主観的な指標がある(堤・久保田・青山, 2007)。3次元映像の先行研究では主として学習者の成績やパフォーマンスなどの客観的測度が用いられていた。このため、映像や授業に対する学習者の評価といった主観的な測度も含めて、3次元映像の教育効果を多重的に検証することが重要である。5章と6章の実験では両方の測度を用いている。

(3) 授業での新たな利用方法

従来の研究では単一の3次元映像を一方向的に提示する方法が多かった。しかし、映像技術が発展している現在では、複数映像の同時利用やマルチメディア内の映像コンテンツ、双方向性のある提示など新しい可能性を検討できるようになった。教育用のデジタル3次元映像は制作されてきた年数がまだ少なく、2次元映像で用いられている映像技法が3次元映像では十分検討されていない。これらの問題について5章と6章で実証的に検証する。

(4) 映像の提示方法の標準化

3次元映像に関する研究では実験ごとに実施環境の差異が大きいため、それらの結果の比較が単純ではない。3次元映像を提示する統一した方式が定まっておらず、それぞれの利用機器のもつ特殊性が強い。また、3次元映像の導入には追加コストが増加しやすい。このため、3次元映像の教育利用に関する研究は個別的、単発的になりやすい。3次元映像の提示方法は教育効果に影響することが予想されるため、できるだけ標準化されることが望ましい。6章では汎用性のある利用方法について検討する。

(5) 映像の質の維持

3次元映像は教育用のコンテンツ数が少なく、放送やインターネット上で公開されている映像も限定されているため、研究ごとに対象となる映像の内容が異なっている。こうした状況では個々の映像の質が重要である。3次元映像の画質や見やすさは制作方法によって大きく異なるため、これまでの研究結果は3次元映像に共通する特性だけではなく、映像内容や制作レベルの差異を反映している可能性がある。5章と6章の実験では3次元映像の画

質を良好に維持する制作方法を取り入れた。

参考文献

- Al-Khalili, S. M., & Coppoc, G. L. (2014). 2D and 3D stereoscopic videos used as pre-anatomy lab tools improve students' examination performance in a veterinary gross anatomy course. *Journal of Veterinary Medical Education*, 41, 68-76.
- Brown, P. M., Hamilton, N. M., & Denison, A. R. (2012). A novel 3D stereoscopic anatomy tutorial. *The Clinical Teacher*, 9, 50-53.
- Cai, Y. (Ed.). (2013). *3D Immersive and Interactive Learning*. Singapore: Springer.
- Carrier, L. M., Rab, S. S., Rosen, L. D., Vasquez, L., & Cheever, N. A. (2012). Pathways for learning from 3D technology. *International Journal of Environmental and Science Education*, 7(1), 53-69.
- Cid, X. C., & Lopez, R. E. (2010). The impact of stereo display on student understanding of phases of the moon. *Astronomy Education Review*, 9, 010105-1–010105-7.
- Drascic, D. (1991). Skill acquisition and task performance in teleoperation using monoscopic and stereoscopic video remote viewing. *Proceeding of human factors society's 35th annual meeting in San Francisco*, 1367–1371.
- Dukes, P., & Bruton, D. (2008). A Geowall with physics and astronomy applications. *The Physics Teacher*, 46(3), 180-183.
- Grimes, D., Warschauer, M., Hutchinson, T., & Kuester, F. (2005). Computer graphics instruction in VizClass. *Journal on Educational Resources in Computing Journal on Educational Resources in Computing*, 5(4), 3. 1-12.
- 羽倉弘之 (1988). 三次元映像による教育分野への応用: 画像処理・画像応用 テレビジョン学会技術報告, 12(5), 1-4.
- 林 達郎・桃井直美・芝原弘泰・福直仁・北村彰啓・廣瀬通孝 (2002). ギガビットネットワークを活用した高臨場感遠隔共同体験学習システムの研究開発 電子情報通信学会技術研究報告 EID 電子ディスプレイ, 102(433), 37-40.
- Hilbelink, A. J. (2009). A measure of the effectiveness of incorporating 3D human anatomy into an online undergraduate laboratory. *British Journal of Educational Technology*, 40(4), 664-672.
- Holford, D. G., & Kempa, R. F. (1970). The effectiveness of stereoscopic viewing in the

- learning of spatial relationships in structural chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 7(3), 265-270.
- Hruskocyc, C., & Foster, S. (2013). Exploring stereoscopic 3D technology in teaching and learning. In J. Herrington et al. (Eds.), *Proceedings of World Conference on Educational Media and Technology*, 213-222.
- Huk, T. (2006). Who benefits from learning with 3D models? The case of spatial ability. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22(6), 392-404.
- Ji, Q., Tanca, J., & Janicke, S. (2013). Does 3D increase the enjoyment experience? A comparative experiment on the psychological effects of 3D. *3D Research*, 4(4), 1-9.
- Johnson, A., Leigh, J., Morin, P., & Van Keken, P. (2006). GeoWall: Stereoscopic visualization for geoscience research and education. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 26(6), 10-14.
- Judge, A. W. (1950). *Stereoscopic photography: Its application to science, industry and education*. London: Chapman & Hall.
- Kaufmann, H., & Schmalstieg, D. (2003). Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality. *Computers & Graphics*, 27, 339-345.
- 河合隆史 (2007). その他の分野における立体映像の利用 社団法人日本オプトメカトロニクス協会(編) 平成16年度立体映像に関する調査研究報告書
- Kawai, T., Atsuta, D., Tomiyama, Y., Kim, S., Morikawa, H., Mitsuya, R., & Häkkinen, J. (2014). Disparity modifications and the emotional effects of stereoscopic images. *SPIE*, Vol.9011, pp.901115-1-8.
- 風間瑞穂・柴田隆史・河合隆史・亀山渉・浦野義頼・村田計之 (2002). ブロードバンドネットワークにおける立体映像の教育利用 *人間工学*, 38(Supplement), 380-381.
- Kelly, M. M., & Riggs, N. R. (2006). Use of a virtual environment in the GeoWall to increase student confidence and performance during field mapping: An example from an introductory-level field class. *Journal of Geoscience Education*, 54, 158-164.
- Kennedy, C. (1936). The development and use of stereo photography for educational purposes. *Journal of the Society of Motion Picture Engineers*, 26(1), 3-17.
- Kim, P. (2006). Effects of 3D virtual reality of plate tectonics on fifth grade students' achievement and attitude toward science. *Interactive Learning Environments*, 14, 25-34.
- Lee, J., Lee, J., & Goo, B. (2013). Experiment on the e-learning of traditional dances

- through the utilization of stereoscopic. *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network*, 34, 63-70.
- Lo, W. Y., Tsai, Y. P., Chen, C. W., & Hung, Y. P. (2004). Stereoscopic kiosk for virtual museum. In *Proceedings of International Computer Symposium*.
- Lopez, R. E., & Hamed, K. (2004). Student interpretations of 2-D and 3-D renderings of the substorm current wedge. *Journal of Atmospheric and Solar-terrestrial Physics*, 66(15), 1509-1517.
- 町田 聡 (2013). 3D 技術が一番わかる 技術評論社
- 松河秀哉・西森年寿 (2014). 立体映像が授業評価や社会的存在感に与える影響の検討 日本教育工学会論文誌, 38 (Suppl.), 25-28.
- 松尾吉知(監) (1990). わかる空間図形改訂版 科学新興社
- McDermott, D., Hirmas, D., Slocum, T., Halfen, A., White, T., Egbert, S. & Gilbreath, A. (2012) Do stereoscopic displays improve learning in introductory physical geography classes?. *Proceedings of AutoCarto International Symposium on Automated Cartography*, 16-18.
- McIntire, J. P., Havig, P. R., & Geiselman, E. E. (2014). Stereoscopic 3D displays and human performance: A comprehensive review. *Displays*, 35(1), 18-26.
- Mnaath, S., & Basha, A. (2013). Descriptive study of 3D imagination to teach children in primary schools: Planets in outer space (Sun, Moon, Our Planet). *Computer Science and Information Technology*, 1(2), 111-114.
- 森田裕介・藤木 卓・寺嶋浩介 (2008). 遠隔講義を想定した立体映像教材の作成方法に関する検討 日本教育工学会論文誌, 32(Suppl.), 25-28.
- Mourant, R. R., & Parsi, L. (2002). Training in a virtual stereoscopic environment. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 46(26), pp.2206-2209.
- Mukai, A., Yamagishi, Y., Hirayama, M. J., Tsuruoka, T., & Yamamoto, T. (2011). Effects of stereoscopic 3D contents on the process of learning to build a handmade PC. *Knowledge Management & E-Learning*, 3(3), 491-506.
- Oishi, M., Fukuda, M., Yajima, N., Yoshida, K., Takahashi, M., Hiraishi, T., Takao, T., Perry, J., Kuehn, D., & Langlois, R. (2007). Teaching anatomy and physiology using computer-based stereoscopic images. *Journal of College Science Teaching*, 36, 18-23.
- Perry, J. L., Cunningham, L. D., Gamage, J. K., & Kuehn, D. P. (2011). Do 3D stereoscopic

- computer animations improve student learning of surgical procedures? *International Journal of Instructional Media*, 38(4), pp.369-378.
- Rapp, D. N., Culpepper, S. A., Kirkby, K., & Morin, P. (2007). Fostering students' comprehension of topographic maps. *Journal of Geoscience Education*, 55, 5-16.
- Saito, A., & Fujii, Y. (2013). Interactive presurgical simulation applying advanced 3D imaging and modeling techniques for skull base and deep tumors: Clinical article. *Journal of neurosurgery*, 119, 94-105.
- 佐藤克美・海賀孝明・渡部信一 (2011). 神楽継承用教材としての立体視 CG の評価 日本教育工学会論文誌, 35(Suppl.), 145-148.
- 佐藤智明 (2008). 立体視 3DCG アニメーションを利用したエンジンメカニズムの教育用コンテンツ 工学教育, 56(6), 102-107.
- 佐藤智明・水野敏広・武田攻良・小林修・三澤章博 (2012). 立体視 3DCG フライトシミュレーターの開発および教育効果の検討 工学教育, 60(6), 118-123.
- Smith, S. (2009). Integrating computer-generated stereoscopic models into an introductory design course. *Engineering Design Graphics Journal*, 68(3), 6-13.
- 曾我浩美・吉川治子・塩月友美・足立みゆき・森川茂廣 (2014). 形態機能学の学習への 3D 立体表示教材導入の取り組み 滋賀医科大学看護学ジャーナル, 12, 65-68.
- 堤宇一・久保田享・青山征彦 (2007). はじめての教育効果測定—教育研修の質を高めるために 日科技連出版社
- 内田典幸 (1999). CAVE システムの動向と課題: 没入型多面立体視映像装置 映像情報メディア学会技術報告, 23(70), 49-53.
- 馬田一郎・伊藤禎宣・小川純一・安藤広志 (2013). 音楽技能習得における 3D 映像の活用可能性について 電子情報通信学会技術研究報告 CQ コミュニケーションクオリティ, 112(476), 43-46.
- Van Beurden, M. H. P. H., IJsselsteijn, W. A., & Juola, J. F. (2012). Effectiveness of stereoscopic displays in medicine: a review. *3D Research*, 3(1), 1-13.
- Votanopoulos, K., Brunnicardi, F. C., Thornby, J., & Bellows, C. F. (2008). Impact of three-dimensional vision in laparoscopic training. *World Journal of Surgery*, 32, 110-118.
- White, I. (2010). A simple, low - cost stereographic video capture and viewing solution for teaching psychomotor skills using online delivery. *British Journal of Educational Technology*, 41(3), 420-431.

第5章 教育メディアとしての3次元映像の認知的機能

本章では3つの実験を通して、3次元映像の認知的機能を検証する。実験1では画像の提示方法による教育効果の差異を検証した。2次元画像と3次元画像の比較だけでなく、3次元画像の提示方式による相違についても吟味する。実験2では動画像としての3次元映像の教育利用について検討した。キャリア教育の授業で映像の録画後すぐにその映像を視聴可能な環境を構築し、学習者による評価に基づいて、こうした利用方法の可能性を検証した。実験3では対になる3次元映像を統合する方法を開発し、この方法に基づいて作成した2画面3次元映像の教育利用を検討した。学習者が同時に複数の3次元映像を認識できるならば、その応用範囲がより拡大すると考えられる。

5.1 実験1 スライドショー理解における3次元画像の利用

5.1.1 目的

本実験は画像と音声ナレーションを組み合わせたスライドショーの内容理解を求める実験を行い、3次元画像を教育に利用する有効性や課題について検討した。2章で述べたように、3次元映像の提示方法には様々な方式があり、装置のコストや特殊性、視聴可能な人数、色再現性などの点でそれぞれ一長一短がある。このため、デジタル3次元映像を提示する特定の方式が定まっていないのが現状である。この実験では、通常のモニターを見るときと類似した状態で解像度の高い3次元画像をフルカラーで視聴できることを目的として、液晶モニター2台を組み合わせた提示装置を製作し、この提示方式の教育メディアとしての特性を検討した。

実験刺激として偏光方式またはアナグリフ方式の3次元画像あるいは2次元画像によって構成された教材を作成した。提示方法以外は同一の設定として条件ごとにこれらの画像を連続提示し、3つの画像条件間で参加者の対象の奥行きや空間的配置に関する理解・記憶の課題成績と画像に対する印象評定値を比較した。3次元映像の認知的機能が顕著であるならば、参加者から3次元画像は2次元画像に比べてより立体的であると評価され、対象の理解度は3次元条件の方がより優れていることが予想される。画像の印象については多面的に調査し、立体感以外の印象についても提示次元間で異なるかどうかを検討する。また、3次元画像の間では色再現性の点からアナグリフ方式に比べて偏光方式の画像の方が良好に評価されると予測される。この実験を通じてデジタル3次元画像を教育メディアとして提示する適切な環境条件を確認する。

5.1.2 方法

(1) 3次元画像の提示装置

偏光方式の3次元画像を提示するため、2台の液晶モニターとハーフミラーから構成される提示装置を製作した(図5.1)。2つのディスプレイの表示をハーフミラーと偏光フィルターによって合成する装置はこれまでにCRTブラウン管(応用物理学会光学懇話会, 1975)や液晶モニター(Ferguson et al., 2005)において実現されている。ただし、特殊な装置であるため、この方式は一般には普及していない。本研究の装置はこれらと同様の原理であり、2つのディスプレイを用いているため明るく高精細であり、偏光方式のため画面のちらつきをなくして3次元映像を提示できるという特色がある。また、単純な機構のため装置の組み立てが容易であり、製作にかかるコストも比較的低い。一方、モニターの筐体は大型になり、利用時には2つのモニターを同時制御する必要がある。

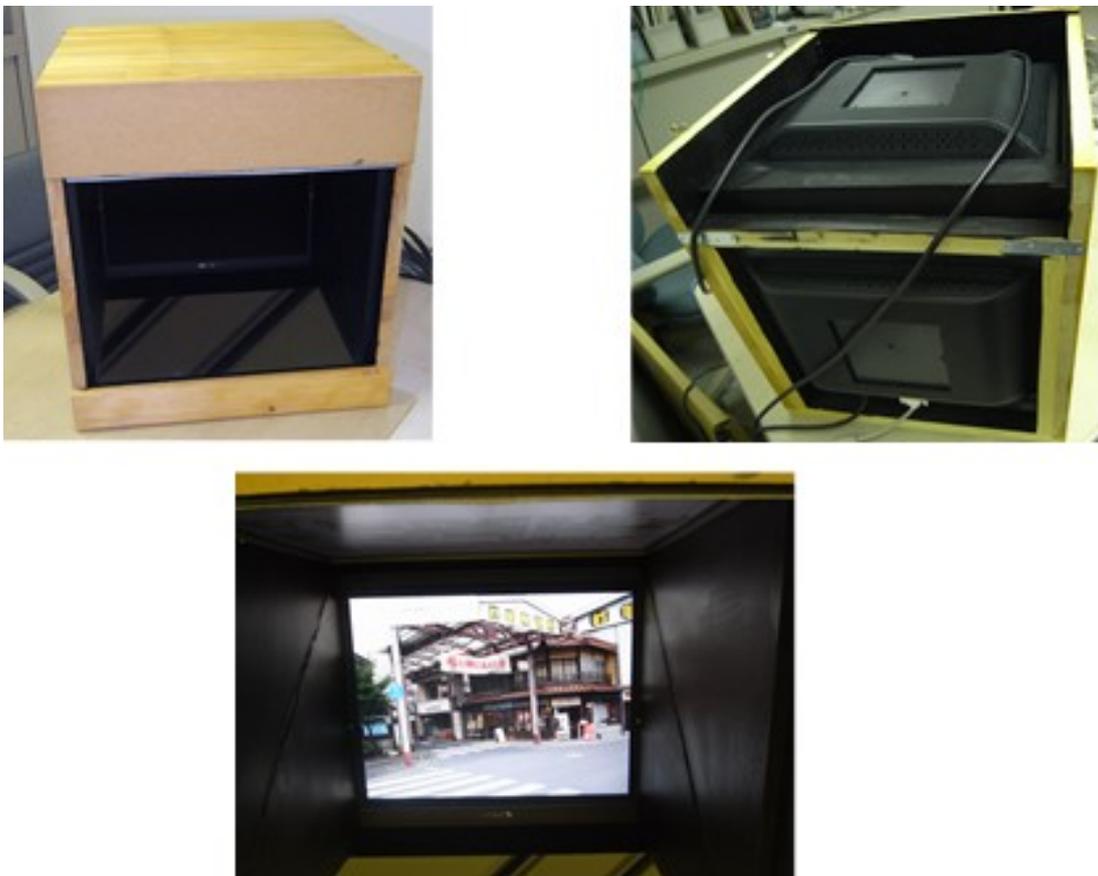


図 5.1 実験 1 の画像提示装置の外観と提示画面

この装置では木製の筐体内にモニター的一方は正面前向き、他方は上面下向きに配置され、両モニターと 45 度の角度を保持してガラス製のハーフミラーが設置された。このハーフミラーは透過光と反射光の比率が 50:50 になっており、2 つのモニターからの光は同等の明度で前方に投射される。観察者が正面からこの装置に視線を向けると、2 つのモニター表示がハーフミラー上に重なって見えることになる (図 5.2)。筐体内部は内部反射を抑えるために黒く塗装されていた。

使用したモニターは TN 方式の 17 型ディスプレイである (SONY 社製 SDM-S75F)。モニター自体に偏光フィルターが組み込まれているため、画面からの光は一定方向に直線偏光している。このため、ハーフミラーを通過した 2 つのモニターからの光は偏光角度が異なり、偏光方式の立体メガネを通すと観察者の左右の目には片方のモニター画面のみが見えることになる。この装置では一方のモニターのみを用いることによって、アナグリフ方式の 3 次元画像あるいは 2 次元画像を提示できる。また、2 つのモニターに独立した画像を出力可能なグラフィックカード (NVIDIA 社製 Quadro NVS 280) を Windows XP のコンピュータ上で使用した。

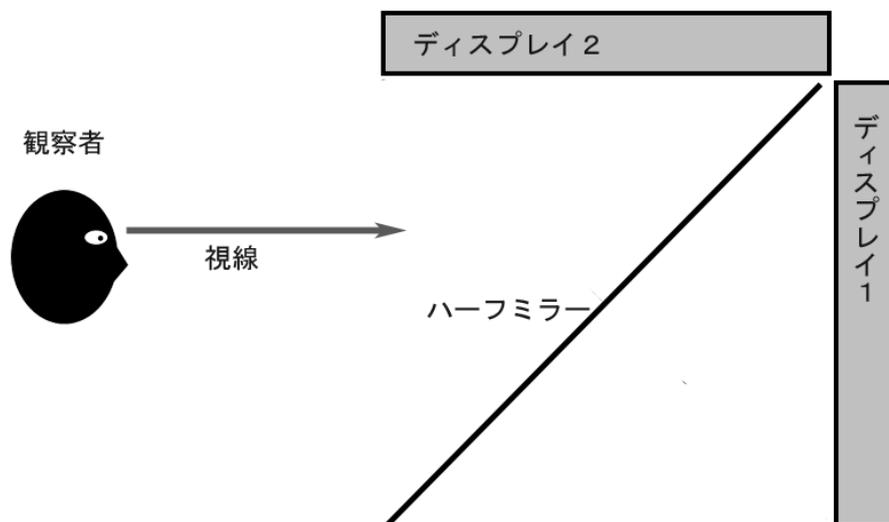


図 5.2 実験 1 の偏光方式による提示装置の構成

(2) 参加者

参加者は短期大学生で、ランダムに 3 つの条件グループのいずれかに割り当てられた。参加者数は 3 次元画像の偏光条件 18 名、アナグリフ条件 16 名および 2 次元条件 16 名であった。すべての参加者は本研究の提示装置をこの実験で初めて観察した。

(3) 刺激

実験で用いる画像を作成するため、建物や置物などの風景を撮影した。3次元画像を記録できるように、水平方向にレンズを離して配置した2台のデジタルカメラ（ともにSony社製DSC-P100）を用いて撮影した。2つのカメラは動作が同期するように改造されており、カメラ間を有線ケーブルで接続していた。レンズ間の距離は人間の眼幅と近似するようほぼ6cmとした。

撮影された左右の写真の違いを3次元画像編集ソフトウェア（ステレオフォトメーカー）によって加工し、立体視されたときに自然な立体感をもつよう写真ごとに調整を行った。この手続きを通して、左右それぞれ500万画素程度の18対の画像を作成した。この画像から偏光方式用のサイド・バイ・サイド形式と赤ーシアンカラーアナグリフ形式の3次元刺激を作成した。また、左側の画像から2次元条件用の刺激が作られた。偏光条件では2つのモニターにそれぞれの最大解像度（1280×1024ピクセル）で画像が表示される。予備実験を行い、偏光方式の3次元画像が概ね良好に立体視されうることを確かめた。アナグリフ条件と2次元条件の画像は正面のモニターにのみ全画面提示された。

次に、画像ごとにその説明を行う音声ナレーション（画像ごとに5秒～15秒程度）を録音し、画像と音声を連動して提示する設定を行った。3次元画像の提示ソフトウェア（ステレオスライドショー）において音声に合わせて画像を連続的に切り替え、約3分間のスライドショーで撮影風景を紹介するようにした。

(4) 質問項目

画像刺激および提示装置に対する評定項目は3つの内容に分かれていた。画像についての印象評定では予備調査を参考にして質問項目を選択し（14項目）、7段階のSD法を用いた。評定の程度は左側から「非常に」「かなり」「やや」「どちらでもない」「やや」「かなり」「非常に」と表記されていた。スライドショー（6項目）および視聴中に参照できる紙の資料（3項目）に関する評定では7件法のリッカートスケールを用いた。

また、スライドショーの内容について正誤を問う3択の質問（10項目）があった。参加者が画像を正しく認知していたかどうかを確認するため、この質問では提示された対象の外形的な特徴が主として問われた。

(5) 手続き

実験は参加者2人一組で行われ、各組の参加者は横並びに座った。モニターと参加者顔面との距離は約1mであった。参加者の課題はスライドショーの画像とナレーションを十

分理解することである。実験中、参加者の手元には撮影対象に関する A4 用紙の印刷資料が用意された。3次元条件の参加者は偏光方式あるいはアナグリフ方式の立体メガネを装着した。偏光、アナグリフ、2次元の条件間では画像の提示方式のみが異なり、他の手続きは共通していた。スライドショーの観察直後に参加者はその内容に関する質問および印象評定に回答した。

5.1.3 結果と考察

(1) スライドショーと画像の印象評価

画像刺激および提示装置に対する各尺度の評定を 1~7 に点数化し、条件内の評定平均値を質問項目ごとに算出した。3条件間の得点を比較するため、質問項目ごと 1 要因の分散分析を行った。

画像に関する印象評価の結果が図 5.3 に示されている。分散分析では、「暗い—明るい」「わかりにくい—わかりやすい」「美しくない—美しい」「迫力がない—迫力がある」「あたたかい—つめたい」「平面的—立体的」「親しみにくい—親しみやすい」「印象的でない—印象的な」「嫌い—好き」の 9 項目で提示条件間の有意差が示された (それぞれ $F(2,47)=10.81, 11.87, 29.17, 16.03, 4.18, 26.17, 11.44, 9.77, 7.20$ 、「あたたかい—つめたい」のみ $p<.05$, 他の項目は $p<.01$)。この 9 項目について多重比較検定を行った結果、偏光条件と 2次元条件間の比較では「立体的」と「迫力」の 2 項目で偏光条件の評価値の方が有意に大きいことが明らかになった。このため、偏光方式による 3次元画像は 2次元画像よりも立体感が強く認識されたことが確認された。この結果は実験前の予想と一致し、本実験で製作した 3次元画像の提示装置では両眼立体視が有効に機能したことを示している。立体感の強さから画像の迫力の印象が高められたと推測される。そこで、この実験と同様の提示装置で 3次元映像を教育に利用することにより、学習者の奥行き認識が良好になると示唆される。他の質問項目では偏光条件と 2次元条件間に印象の有意差がなかったことから、対象の美しさや明るさなどの印象判断には画像の提示次元は影響を与えにくいことが示された。このため、映像を 3次元提示することによって学習対象自体の印象を大きく変化させることなく、対象が立体的に観察されると考えられる。

一方、アナグリフ方式の 3次元画像に対する印象は良好でなかった。分散分析で有意になった質問項目での多重比較の結果、「明るさ」「わかりやすさ」「美しさ」「親しみやすさ」「好み」の各項目でアナグリフ条件の評価値が偏光条件、2次元条件に比べて有意に低いことが示された。

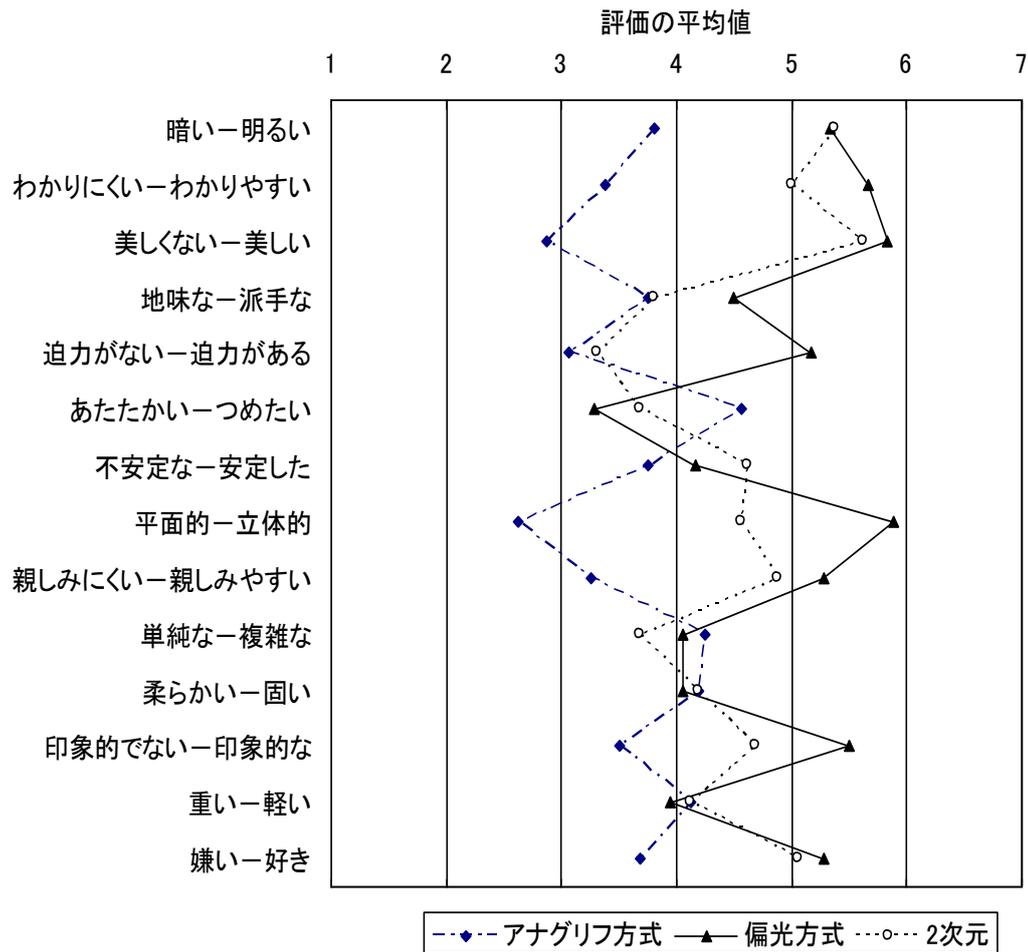


図 5.3 実験 1 の画像に対する印象評定の結果

スライドショーに関する印象評定の結果では、偏光条件の評定値が他の 2 条件よりも全般に高い傾向が認められた (図 5.4)。分散分析の結果、「興味の強さ」「見やすさ」「おもしろさ」「参考になる程度」「疲労度」の 5 項目で 3 条件間の有意差が認められた (それぞれ $F(2,47)=22.76, 9.53, 8.28, 19.10$ 、以上 $p<.01$ および $F(2,47)=4.08, p<.05$)。これらの項目について多重分析を行った結果、「興味の強さ」「見やすさ」「参考になる程度」の 3 項目でアナグリフ条件の評定値が他の 2 条件よりも低いことが示された。「見やすさ」の項目で偏光条件と 2 次元条件の間に有意差がなかったことから、偏光方式 3 次元画像はクロストークが少なく、通常のモニターと同様の状態で観察されていたと考えられる。また、「おもしろさ」の項目では偏光条件の値が他の 2 条件よりも評価が高く、「疲労度」の項目ではアナグリフ条件と 2 次元条件の間にのみ差が認められた。「疲労度」と「必要集中力」の評定で

偏光条件と2次元条件間に有意な差がなかったため、一定時間内の3次元画像の観察は学習者の認知的負担を過度に増やすことなく、教材に対する興味を高める可能性が示唆された。

アナグリフ条件での画質や立体感の評価は低かった。この条件では視聴意欲も低く、視聴時の疲労度も高くなりやすいことが認められた。アナグリフ画像の場合にはクロストークが生じやすく、色の再現性においても課題がある。この実験では画像を連続提示しており、こうした環境ではアナグリフ方式の3次元画像は学習者の認知的負担を増加させるおそれがある。したがって3次元画像を教材に用いるには、画像の提示方式を含めて画質を良好に維持する必要性が示された。

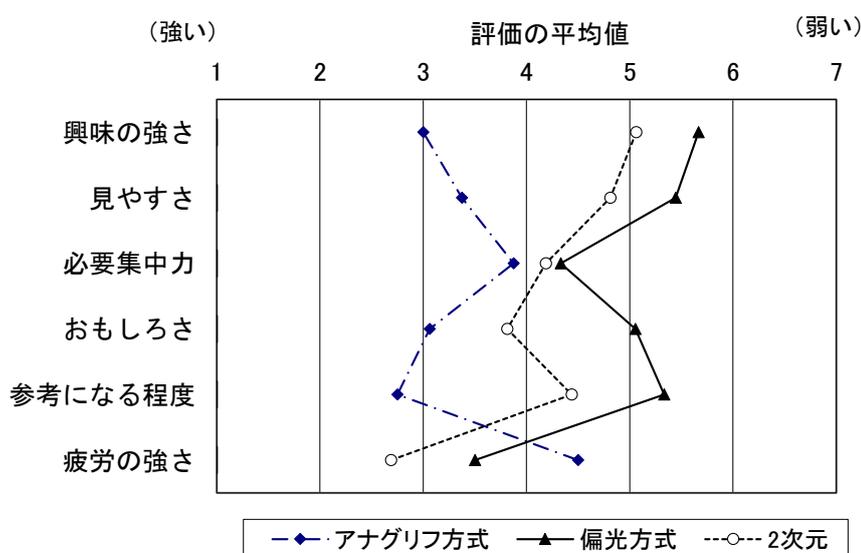


図 5.4 実験 1 のスライドショーに対する印象評定の結果

紙資料に対する印象評定の結果 (図 5.5) における分散分析では「見やすさ」と「参考になった」の2項目で3条件間に有意傾向が認められた ($F(2,47)=7.93$ および 9.82 ともに $p<.01$)。多重比較の結果からアナグリフ条件の得点が他の2条件よりも低いことが示された。アナグリフ方式の立体メガネには色彩があるため、紙資料を認識しづらくなったと考えられる。一方、偏光条件と2次元条件間には評価に差が認められなかった。偏光方式の立体メガネでは装着によって周囲の明度が低下しやすいものの、参加者は立体メガネがない場合と同様にモニター以外の資料を理解することが可能であった。従来3次元映像の教材は単独で提示されることが多かったが、今後テキストなど他の資料と組み合わせた有効利用の方法を検討する意義があると示唆される。

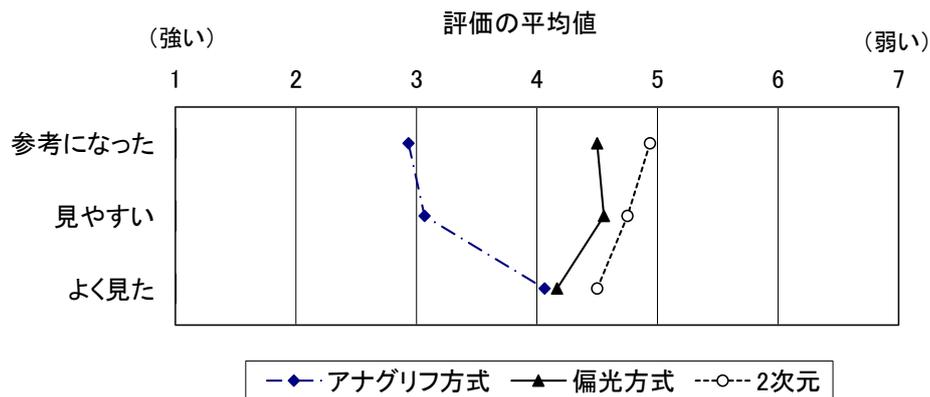


図 5.5 実験 1 の紙資料に対する印象評定の結果

(2) 内容理解の正答率

スライドショーの画像理解を問う質問の正答率は 2 次元条件 94%、偏光条件 87%、アナグリフ条件 76%となった。1 要因分散分析の結果、3 条件の成績の得点に有意差が認められ ($F(2,47)=9.48$ $p<.01$)、多重比較の結果から 2 次元条件の成績が 3 次元条件よりも良いことが示された。この正答率の結果は予想と一致しなかった。スライドショーに関する印象評定で偏光方式の画像が見えにくいと指摘されなかったことから、この結果は画質以外の要因のためと考えられる。映画を 3 次元映像として視聴することは感情面に影響するが、内容の記憶については効果が示されなかった結果が得られている (Carrier et al., 2012)。4.4 節で述べたように記憶に対する 3 次元映像の優位性は限定的であるため、今回の結果が生じたと推測できる。Valsecchi & Gegenfurtner (2012) は自然な場面を記憶する実験で画像の提示次元を独立変数とする実験を行った。その結果、画像の再認成績は 2 次元条件よりも 3 次元条件が優れていたが、その優位性は限定的であり、画像の提示時間が長く、再認すべきターゲットが認識しやすい場面レイアウトになっている条件のみで認められた。この実験でも画像の提示方法を変更することによって今回と異なる結果が生じることも予想される。

また、今回の 3 次元条件では提示装置やその立体視効果に参加者の興味が向きやすいため、画像自体に対する注意が低くなった可能性がある。マルチメディア教材を授業で利用することによって学習者の興味が増加する一方、学習内容を深く理解する処理容量が少なくなるため理解度が低下した結果が示されている (Mayer, Griffith, Jurkowitz, & Rothman, 2008)。本実験の提示装置は 2 つのモニターを組み合わせた特殊な形状であったため、参加者の注意や興味が装置に向かって画像から逸れたのかもしれない。

5.2 実験 2 面接練習における自己の 3 次元映像の利用

5.2.1 目的

学生のキャリア教育には多様な役割がある。その一つは学生の就職試験に向けた指導である。就職試験には面接試験が多く含まれることから、キャリアに関する授業計画には面接練習が組み入れられることが多い（文部科学省, 2004）。面接試験では受験者は自己の考えを適切に表現できるコミュニケーション能力が求められている。コミュニケーション・スキルに関する授業では、学習者が演習に参加し自己の行動を実践的に振り返ることが重要である（藤原・伊藤, 2012）。その振り返りの方法として、第三者からの観察記録だけでなく、学習者の行動の映像記録が利用される。医療面接のトレーニングにおいて、学生の応答をビデオ映像として記録し後にその映像を確認する方法が優れていることが報告されている（井上他, 2003）。そのため、就職の面接練習においても学生が映像を通して自己の応答の特徴を理解することは有効であると考えられる。

本実験では面接練習の授業で学習者が自己の応答を確認するためのビデオ映像を導入し、その印象評定から映像視聴の効果を検証した。その際、2次元映像と比較して3次元映像を用いる意義を吟味した。3次元映像を利用することによって臨場感や質感が高まることから、学習者は自己の特徴や応答時の雰囲気をもより明確に理解しやすくなると推測される。映像を通じたコミュニケーション行動を調査した先行研究では、2次元映像に比べて3次元映像が有効であるという結果が得られている。すなわち、3次元映像では遠隔コミュニケーション相手の手話動作をもより正確に理解しやすくなった（加藤他, 2007）。3次元映像によるコミュニケーションは2次元映像の場合よりも直接対面に類似しており、身体的な動作がより誘発され感情的な側面が強まりやすかった（馬田他, 2008）。したがって、3次元映像の認知的機能によって面接練習時に学習者の自己理解とりわけ表情や動作の理解が向上すると予想される。

この実験では大学生のキャリアに関する授業で面接試験の模擬練習を行い、受講者が面接の質問に回答する様子を3次元映像として記録した。参加者は練習後に自己の面接映像を視聴した。提示映像の条件として3次元と2次元の2グループを設定した。視聴後に映像の印象、参加者の自己理解度および視聴意識を調査し、条件間でそれらの得点を比較することによって、3次元映像の認知的機能を明らかにする。

この実験では3次元映像の記録から再生にかかる時間を最小化する方法を取り入れた。コミュニケーションの演習授業で映像を視聴する場合には、実践直後に振り返りのできる環境を構築することが望ましい（高悠・高梨, 2013）。そこで、参加者が面接の様子を練習

後すぐに視聴することができるよう、撮影から提示までの処理を簡略化した。すなわち、撮影時には両眼視差のある 2 つの映像を単一の映像として記録できるステレオアダプターを用いるとともに、撮影中はズームやパンなどのカメラ操作を行わなかった。このため、画角の固定された 3 次元映像が単一のファイルとして保存された。次に、提示装置には 3 次元映像用のモニターを用い、ソフトウェアの表示設定を今回の映像にあらかじめ合わせておいた。このシステム構成によって編集の過程を簡略化しつつ 3 次元映像を適切に提示することが可能になった。2 章で述べたようにこうした利用方法は映像のデジタル化技術により初めて実現したものであり、3 次元映像の編集や提示の処理が以前に比べて効率化しているためである。ただし、先行研究では 3 次元映像の録画直後の即時利用について報告例は少ない。

5.2.2 方法

(1) 参加者

参加者は短期大学 2 年生 32 名である (2 次元条件 16 名、3 次元条件 16 名)。参加者は映像の提示条件の一方に無作為に割りあてられた。

(2) 装置

映像刺激の記録には動画撮影が可能なデジタル一眼レフカメラ (Canon 社製 EOS Kiss X3) と焦点距離 35mm レンズを用いた。3 次元映像を作成するため、鏡を組み合わせて両眼視差のある映像を記録するステレオアダプター (Pentax 社製) をレンズ前面に装着した。このステレオアダプターを用いることで撮影される映像は縦に分割され、同期した左右の映像がハーフタイプのサイド・バイ・サイド形式で単一ファイルとして記録される。映像はカメラ内のメモリーカードに保存された。撮影装置は参加者から 2m ほど離れた正面の位置に三脚で水平に固定された (図 5.6 左側)。

刺激の提示には 3 次元映像用の 22 インチモニター (Zalman 社製 ZM-M220W) とコンピュター式を用いた (図 5.6 右側)。画面の最大解像度は 1680×1050 ピクセルである。モニターは参加者から約 1m 離れた正面の位置に、中央の高さが目の高さと同程度になるように設置し、3 次元映像の視聴時のクロストークを少なくした。このモニターには縦方向 1 ラインごとに方向の異なる偏光フィルターが貼られており、円偏光方式の立体メガネを通して観察すると左右の映像が分離され立体視が成立する。この提示方法では左右の 3 次元映像の表示解像度の合計は 2 次元映像と同一になる。



図 5.6 実験 2 の実施状況（左側：撮影時、右側：視聴時）

映像の提示ソフトウェアには Windows Vista 上で動作する Stereoscopic Player (3d.tv. at 社製) を用いた。このソフトウェアは記録されたサイド・バイ・サイド形式の 3 次元映像を提示装置のモニターに合わせてライン・バイ・ライン形式に変換して表示する機能をもつ。実験の開始前に、提示する 3 次元映像が適度な立体感をもつようにソフトウェア上で左右映像の視差の設定を終えていた。

(3) 映像刺激

模擬面接中の参加者の上半身を個別に撮影し、mov 形式の動画ファイルとして保存した。撮影された 3 次元映像はサイド・バイ・サイド形式であり、その解像度はフルハイビジョン (1920×1080 ピクセル, 20fps) であった。2 次元条件では左右の映像の一方、3 次元条件では両方の映像を提示した。どちらの条件でも映像は縦長で、モニター全面に表示された。

(4) 質問項目

映像の教育効果を測定するため、映像および面接練習に対する参加者の印象を質問用紙によって調査した。質問項目は、映像に対する印象 (7 項目)、映像視聴の意識 (5 項目) と自己の回答の印象 (12 項目) から構成されていた。質問項目の尺度はすべて 4 件法のリッカートスケールであった。

(5) 手続き

実験は参加者ごとに行われた。最初に参加者は就職試験を想定した場面で、模擬面接担当者からの質問に回答した。1人あたりの面接時間は約1分30秒であり、面接の開始から終了までの参加者の行動をビデオ映像として記録した。模擬面接での質問内容は授業の前にあらかじめ示されており、参加者は回答の準備をすることができた。映像の利用について参加者には実験前に説明されていた。

模擬面接が行われた教室とその映像が視聴された教室は隣接していた。実験者は各参加者の模擬面接が終わるごとに映像を保存したメモリーカードを映像提示用のコンピュータまで移動し、保存された映像を再生した。そこで、参加者は模擬面接の直後に自身の映像を視聴することになる。3次元映像条件の参加者は偏光式の立体メガネを使用した。映像視聴の後すぐに参加者は印象評定の質問用紙に回答した。

5.2.3 結果と考察

映像に関する評定結果が図 5.7 に示されている。全体として各項目の平均値は評定中間値の 2.5 よりも大きく、良好な評価結果となっている。質問項目ごとに 2次元条件と 3次元条件の評定値を t 検定により比較した。「立体感」の項目では条件間で有意差があり ($t(30)=2.31$)、3次元条件の評定値の方が大きかった。「見やすさ」については条件間の差がなく、3次元映像の視聴で見やすさは低下しなかった。そこで、今回の3次元映像は良好に立体視されたことが確認された。このため、映像の撮影から提示までの処理過程を一貫して構成しておくことによって、3次元映像を記録後すぐに有効利用できる可能性が示されたことになる。

「表情の理解」と「雰囲気理解」の2項目においても条件間の評価値に有意差があり、3次元条件の方が高得点であった ($t(30)=2.26, p<.05$; $t(30)=1.94, p<.1$)。3次元映像の視聴で立体感が強まるだけでなく、表情や雰囲気を理解しやすくなると評価された。映像に関する他の質問項目では条件間の差が認められず、この実験の3次元映像は主としてリアリティの強さに特徴があり、この条件の参加者は行動の詳細な特徴を理解しやすかったと考えられる。映像を3次元提示することによって自己理解がより深まったと示唆された。

映像の視聴意識に関する評定結果が図 5.8 に示されている。「映像視聴の有益度」と「映像の活用意欲」の項目では両条件とも評価得点が大きかった。このため、受講者の意識の点から面接練習において自己の映像視聴が有効であると認められた。条件間の比較では「視聴への集中」の項目で有意差があり ($t(30)=2.10, p<.05$)、3次元条件でより高い評価が得られた。そこで、3次元条件の参加者は映像の視聴により没頭していたと考えられる。なお、

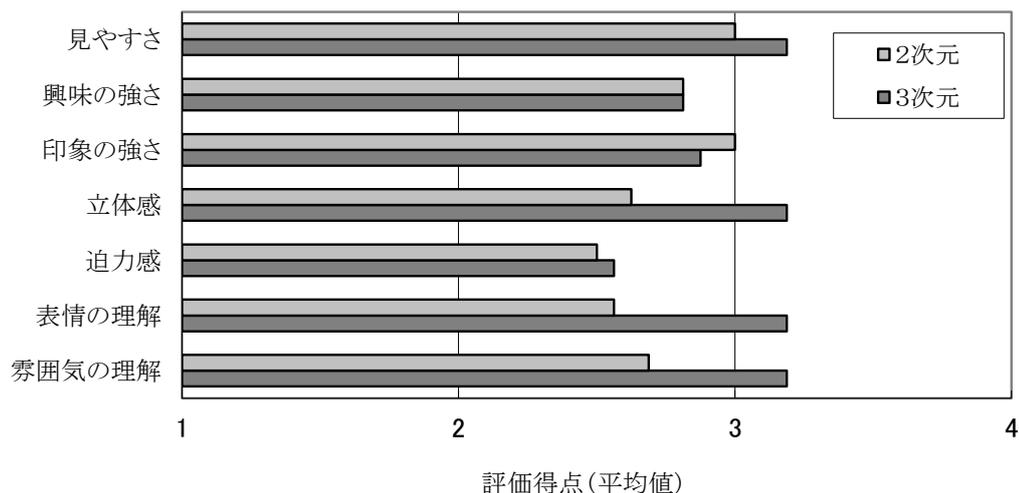


図 5.7 実験 2 の条件別映像の印象評価結果

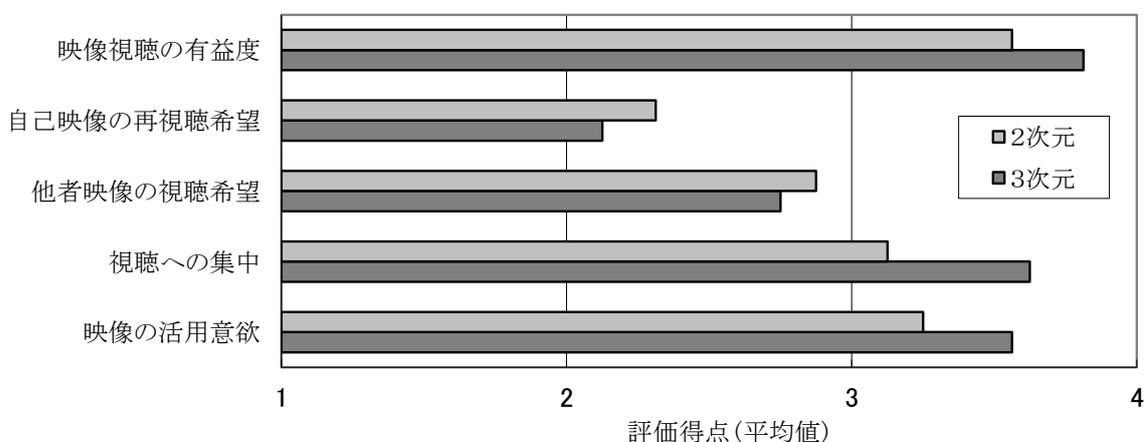


図 5.8 実験 2 の映像の視聴意識結果

「自己映像の再視聴」の項目の得点はやや低かった。この図にある結果とは別に、自己の回答に関する項目の得点はどちらの提示条件においても 2 点前後であり、全般に低かった。参加者は自己の面接行動が不十分であったと理解していたために、再視聴を希望する割合が少なくなったと推定される。

この実験ではキャリア教育に 3 次元映像を適用し、この分野の授業で映像の認知的機能が有効であることを示した。また、3 次元映像の撮影と提示の環境を事前に適合しておくことにより、映像の記録直後であっても良好に立体視できることが明らかになった。3 次元映像をリアルタイムで視聴することが可能になれば、授業での活用範囲が拡大すると考えられる。

5.3 実験3 スプリット・スクリーン技法を用いた3次元映像の教育利用

5.3.1 目的

この実験では2つの3次元映像を同時に視聴する教材を作成した。2次元映像では1つの画面を分割して、複数のビデオ映像を同時に提示する方法がこれまで用いられている。例えば、映画で2人の俳優の表情や行動を個別に表現することやテレビの報道番組で立場の異なる2人の人物像を同時に表示することがある。また、テレビ会議システムでは対話者自身と相手の表情を独立した画面で提示することがある。映画やテレビ番組の制作領域では、こうした表現技法をスプリット・スクリーンと呼んでいる(Mondada, 2009)。映像画面を2分割することによって、単一の映像画面よりも多くの情報を伝えることができ、2つの映像間で比較、対照、強調、比喻などの意味を表現することが可能になる(脇山, 2007)。スプリット・スクリーン技法は授業用の映像コンテンツにおいても一部利用されている(宮田, 2005)。

3次元映像の研究ではスプリット・スクリーン技法を適用した報告はほとんどなされていない。ネットワークを通じて3次元映像を遠隔教育に利用した研究で2つの画面を学習者に提示した実践例はあるが(風間他, 2002)、2画面の3次元映像を提示する適切さについては明確には検証されていない。スプリット・スクリーン技法を用いるには複数映像の合成や編集が必要となり、3次元映像の場合その加工がより複雑になることや3次元映像の編集技術を十分に応用していないことがその理由と考えられる。しかし、今後はスプリット・スクリーン技法が3次元映像においても適用される可能性がある。そこで、本実験では2画面から構成される教育用の3次元映像を作成し、映像視聴の印象や理解度を調査した。この印象評価に基づいて3次元映像におけるスプリット・スクリーン技法の利用可能性を検証する。

2画面3次元映像刺激を作成するにあたって以下の2点に留意した。第一に、2つの映像の内容関連性である。両映像の内容が関連あるいは類似していないと、参加者は異なる2つの意味を同時処理する必要があるため、映像理解が困難になることが予想される。これまでスプリット・スクリーン技法を用いた作品や番組では映像間に意味的あるいは時間的な関連があることが一般的であった。そのため、本実験では2つの映像を統合的に理解できるよう、それらが関連、同期している場面を設定した。

第二に、2つの映像の奥行き特性である。3次元映像では奥行き方向の感覚が強まるため、2つの映像間で奥行き位置の差が著しいと知覚が困難になる可能性がある。3次元映像の場面転換時に前後の映像で視差の変化量が大きいと、視聴者から映像が見づらくなると評価

されている（花里 他, 2003）。このため、この実験では 2 つの映像間で撮影時のレンズや対象までの撮影距離を同一に設定することで、3 次元映像としての奥行き量や視差量をほぼ等しくした。この奥行き条件の設定は従来の 2 次元スプリット・スクリーン映像の制作ではあまり考慮されていなかったと考えられる。

上記の条件を満たす教材として、2 人の学習者がロールプレイングによってコミュニケーション・スキルを学習する場面を撮影対象とした。ロールプレイングは現実の疑似場면을教室に設定して、学習者自身が特定の役割を演じる方法である（台, 2003）。ロールプレイングはコミュニケーションや職業的対応を体験的に学習する方法として用いられることが多い。例えば、看護教育では学生が看護師役と患者役に分かれて役割演技を行う方法が用いられ、演習を通して患者理解の深化、看護師としての対応の幅の拡大、共感能力の向上といった効果が得られる（川野, 1997）。

ロールプレイングでは想定した場面で学生が臨機応変に行動し、その後の振り返りによって学びを深める。そのため、役割演技中の行動をビデオ撮影し、後で自己の映像を視聴する方法が用いられることがある。相談場面でのコミュニケーション技法を習得する授業でこうした映像の利用法が報告されている（宮本・山田, 2001）。映像を視聴することによって学習者は自身の行動をより具体的、客観的に理解することができるため、映像による振り返りは教育効果が高い方法であると考えられる（Beckman & Frankel, 1994）。大学生を対象としたロールプレイ演習にビデオ映像を用いることにより、判断力などの認知的領域とともにコミュニケーション時の人間性といった情意領域が育成されることが示されている（市村他, 1998）。また、対人支援についての演習授業にロールプレイ時の映像が導入され、学習者から映像利用について肯定的な評価がなされている（木村, 2008）。しかし、3 次元映像をロールプレイングの振り返りに利用した報告がこれまでなされていないため、この実験ではこの学習分野での教育効果を吟味する。

ロールプレイングで向き合う 2 人の参加者を 1 台のカメラで撮影すると、両者の表情や動作を横向きに小さく記録することになるかどちらかの表情のみを記録することになってしまう。一方、2 台のカメラを用いてそれぞれの参加者を撮影する場合、両者の表情をともに正面から記録することができる。この 2 つの映像をスプリット・スクリーン技法によって結合すると、正面から撮影した 2 人の映像を同時に視聴することが可能になる。これまでロールプレイングに関する研究ではこの技法が用いた報告がなく、この実験で新たに試みる。映像の対象は 2 人一組で行われた学生のロールプレイである。3 次元映像の撮影用レンズを取りつけたビデオカメラを 2 台用いて、参加者 2 人の表情をほぼ正面から記録した。両者の映像を縦方向に 2 分割した 1 つの映像へと統合することにより、2 画面 3 次元映像

を作成した。参加者はロールプレイを行った後、自分たちの活動を振り返るために映像を視聴した。2次元映像を視聴する条件も設定し、参加者間で3次元映像と2次元映像の印象を比較することによって、2画面3次元映像の教育的効果を吟味した。3次元映像の認知的特性が有効であれば、立体感や対象理解に関する印象評価に条件間の差が生じることが予想される。

5.3.2 方法

(1) 参加者

参加者は看護専門学校生 24 名であった。参加者は映像の提示条件（2次元、3次元）の一方に無作為に半数ずつ割りあてられた。どの参加者も自身のコミュニケーション映像を視聴する演習授業に初めて参加した。

(2) 装置

映像の撮影装置には、レンズ部にそれぞれステレオアダプター（Pentax 社製）を装着した 2 台のデジタルビデオカメラ（Sony 社製 CX-550V）を用いた。このステレオアダプターを取りつけることにより、各ビデオカメラで約 7cm の視差がある 3 次元映像を撮影することが可能になる。2 台のビデオカメラは図 5.9 に示されるように、それぞれ参加者のほぼ正面に約 2.5 メートル離れて三脚上に設置された。カメラの高さは参加者の視線とほぼ一致していた。2 台のビデオカメラの録画設定、レンズ画角は同一であり、専用のコントローラー（米国製 LANC Shepherd）を接続して両カメラを同期して動作させた。

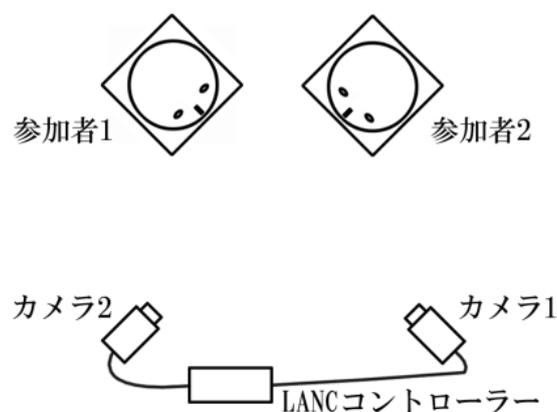


図 5.9 実験 3 の実施状況

映像の提示装置には 15.6 インチディスプレイに 3 次元映像を表示可能なノートパソコン (Acer 社製 Aspire 5738DG) を用いた。このディスプレイには偏光フィルターが貼られていて、円偏光方式のメガネを用いて立体視が成立する。表示解像度は 1366 × 768 ピクセルである。提示用ソフトウェアには Stereoscopic Player (3dtv.at 社製) を用いた。

(3) 映像刺激

撮影時の各映像はフルハイビジョンの解像度であり (1920 × 1080 ピクセル, 60i)、参加者の上半身を撮影した。ステレオアダプターを用いたため、左右映像の横方向解像度が元のほぼ半分になるサイド・バイ・サイド形式の 3 次元映像が記録された。各々の映像を編集ソフトウェア (ステレオムービーメーカー) によって適切な視差量となるよう調整し、左右の映像を別個のファイルとして保存した。

次に、左右の映像ごとにペアになった 2 人の映像を時間的に同期させて横並びに接合し、図 5.10 に示されるスプリット・スクリーン映像を作成した。結合された映像の解像度はフルハイビジョンと同等になる。映像中の人物の左右位置はロールプレイ時の座席と同一であり、隣接する映像間には黒色の線を設けた。この編集作業により 2 人の参加者の行動が同期している 2 画面映像が作成された。3 次元条件では左右の映像ファイルを組み合わせると立体視されるように提示し、2 次元条件では左側の映像ファイルのみ提示した。

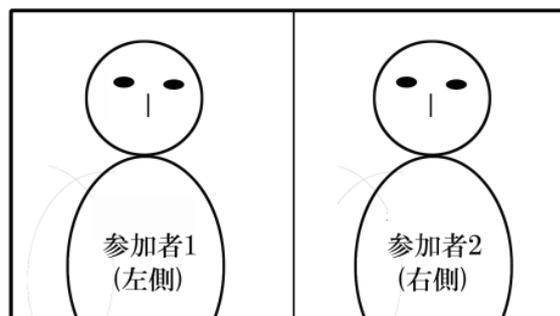


図 5.10 実験 3 の 2 画面映像の構成

(4) 評定項目

2 画面 3 次元映像の視聴が参加者にどのような印象を与え、その教育効果がどの程度であるかを調査するために評定尺度を構成した。評定内容は映像の印象 (10 項目)、映像視聴の教育効果 (3 項目)、映像視聴時の行動 (4 項目) および自己とペア相手の活動 (2 項目) であった。各質問項目は形容詞で表現され、その程度が 5 段階で回答された (1=とても弱い、

2=やや弱い、3=どちらともいえない、4=やや強い、5=とても強い)。これらの評定項目は1枚の用紙に印刷され、2次元条件と3次元条件で同一の用紙が用いられた。

(5) 手続き

コミュニケーションを学習するためのロールプレイが2人一組ずつ行われ、実験者がその行動を撮影した。参加者にはあらかじめ映像の撮影と視聴について説明がされていた。このロールプレイは看護師と患者の相談場面であり、看護師役の参加者は患者役の参加者の発言に共感し傾聴することが求められる。参加者は実験前にロールプレイの状況を確認し、練習を行っていた。対面する2人の椅子は内側に90度向けられていた(図5.9)。各ロールプレイは約2分間行われた。

ロールプレイ実施の一週間後に、参加者は自身が参加した映像を視聴した。3次元条件の参加者は立体メガネを装着し、映像を良好に認知できるかどうかを事前に確認した。視聴中は参加者本人とペアとなった相手の両方に注意を向けるよう教示がなされた。参加者は映像を視聴した直後に印象評定の質問に回答した。

5.3.3 結果と考察

参加者の回答を段階点として数値化し、条件別に評価得点を算出した。条件間の評定平均値を質問項目ごとに t 検定によって比較した。

映像に対する評価結果が図5.11に示されている。映像の「見やすさ」の得点は2次元条件、3次元条件ともに高く、条件間の差は認められなかった。自己や相手の「理解しやすさ」についても良好に評価された。視聴時の「疲れやすさ」は両条件ともに顕著でなかった。これらの結果から、同時提示された2つの映像の同期が正確であり、参加者は2画面映像を容易に認識することができたと考えられる。

一方、「立体感」の項目では条件間の得点に有意差があり($t(22)=3.75, p<.01$)、3次元条件では画像の立体感がより強くなった。また、「興味のある」と「リアルな」の2項目において3次元条件の評価値が高い傾向が示された(それぞれ $t(22)=2.04, 1.82$, ともに $p<.1$)。これらの差異は3次元映像の基本的な特性を反映していると考えられ、スプリット・スクリーン技法を用いた映像が良好に立体視されたことが確かめられた。この結果は3次元映像の認知的機能に基づく予想と一致した。

映像の教育効果に関する評価結果が表5.1に示されている。3つの質問項目とも4点前後の得点であり、参加者から今回の映像が多く教育効果を有していると評価された。各項目とも条件間の有意差が認められなかったが、2次元条件の得点が高く天井効果のため

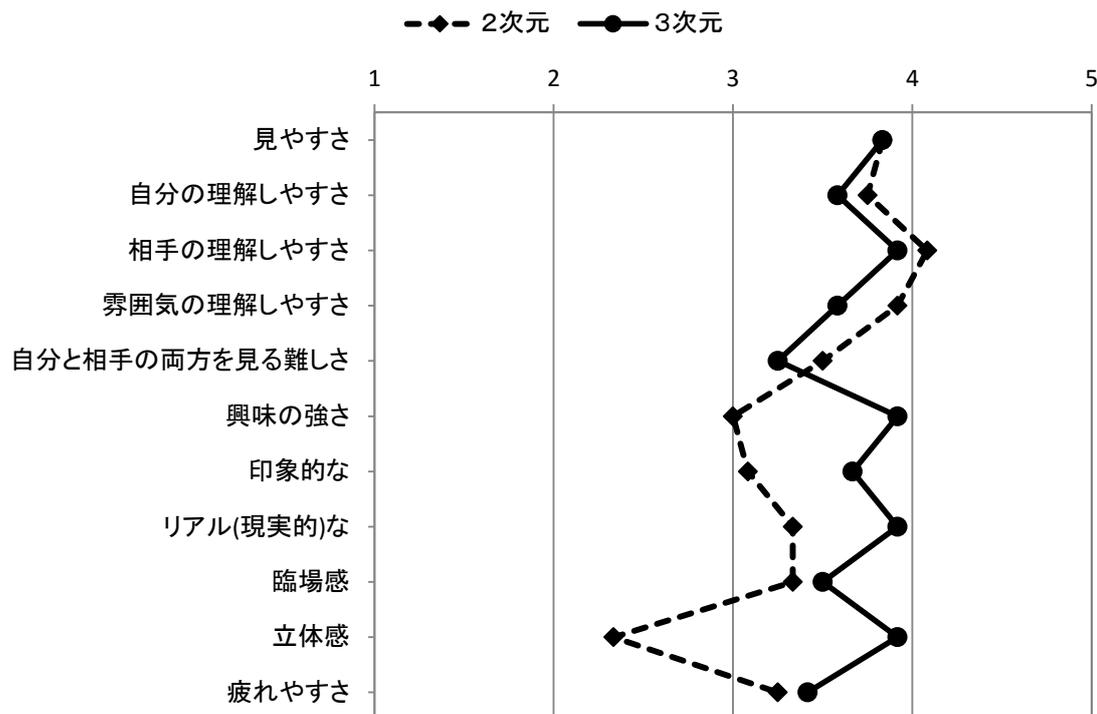


図 5.11 実験 3 の映像に関する評価平均値

表 5.1 実験 3 の映像視聴の教育効果に関する評価平均値

	2次元条件	3次元条件
コミュニケーション学習への効果	4.0	4.3
コミュニケーション時の想起しやすさ	4.1	4.4
他ペアの映像視聴希望	3.8	3.9

であると理解される。この結果は、ロールプレイの振り返りに学習者自身の映像と相手の映像を同時に視聴するスプリット・スクリーン技法が有効であったことを示唆している。

映像視聴時の態度に関する結果が図 5.12 に示されている。「表情」や「動作」に対する注意度の評価値が高く、両条件の参加者は主に非言語的コミュニケーションに注意を向けて映像を視聴したことが確かめられた。 t 検定の結果、「視聴の集中度」の項目では3次元条件の方がより大きな値である傾向が認められた ($t(22)=1.96, p<.1$)。この結果は実験 2 と同様である。これらの結果から、2画面3次元映像を教育メディアとして利用することは効果的であると考えられる。

また、ロールプレイのコミュニケーション活動に対する評価の平均値は全体で 3.9 であ

り、自己評価は相手への評価よりも低かった。参加者は学習途中の段階であり、自己の行動をやや否定的にとらえやすかったと理解される。

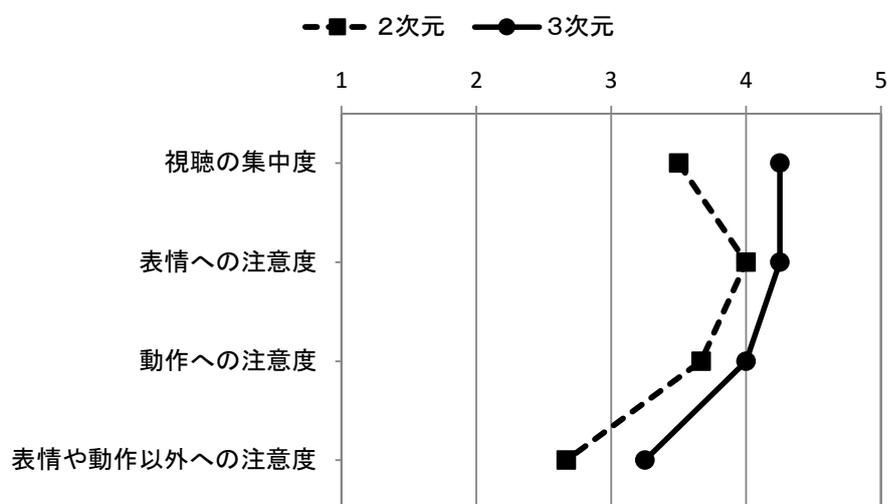


図 5.12 実験 3 の視聴態度に関する評価平均値

今回の実験では、同時に提示された 2 つの映像の知覚的特性および意味内容は類似しており、両者の映像は同期していた。また、映像が自己の体験の記録であったため、映像に対する親近感が高く、2 つの映像の同時理解は比較的容易であったと考えられる。そのため、今回の実験とは異なっている条件での 2 画面 3 次元映像の理解容易性については今後の検討課題である。

5.4 総合論議

この章の実験を通じて以下のことが検証された。いずれの実験でも立体感や臨場感の評価で 3 次元映像は 2 次元映像よりも優位であることを確かめた。また、実験 2 で 3 次元映像は学習対象の詳細な特徴理解を容易にするという評価を得た。このため、主観的測度から 3 次元映像は教育メディアとして優れた認知的機能を果たすことが示された。一方、実験 1 の客観的測度では提示次元間の明確な差は見いだされず、その検証は今後の課題である。また、3 次元映像を自己のコミュニケーション行動の振り返りといった従来には実践されてこなかった授業においても応用できるという結果が得られた。今後、新たな学習分野で 3 次元映像の活用が拡大することが期待される。

3次元映像をデジタル化することによって、授業で映像を記録した直後に視聴できることが可能になった。学習結果をすぐに確認できることはKR（結果の知識）の観点からも重要である。また、画面を分割した3次元映像を授業で用いることが可能であると示された。そのため、3次元映像を画面の一部とするマルチメディア教材を実現できると推測できる。この点については次章で検証する。この章の実験を通じて3次元映像が2次元映像と同様の技法で教育メディアとして活用できる可能性が広がったと考えられる。

3次元映像の教育利用ではその形式や画質が重要であり、画質が不良であればその特性が損なわれてしまう。画質を維持するためには、高精細でクロストークの少ない3次元映像を提示することが重要であり、偏光方式の映像利用は現在そのための有力な方法の1つであることが確かめられた。一方、この章の実験で映像の作成や提示に使用した機器やソフトウェアは3次元映像に特化されていた。このため、3次元映像を一般の授業で利用するにはなお課題が残されているといえよう。汎用的な教育環境で3次元映像を利用する問題については次章において検討する。

参考文献

- Beckman, H. B., & Frankel, R. M. (1994). The use of videotape in internal medicine training. *Journal of general internal medicine*, 9(9), 517-521.
- Carrier, L. M., Rab, S. S., Rosen, L. D., Vasquez, L., & Cheever, N. A. (2012). Pathways for learning from 3D technology. *International Journal of Environmental and Science Education*, 7(1), 53-69.
- 台 利夫 (2003). 新訂ロールプレイング 日本文化科学社
- Ferguson, J. L., Robinson, S. D., McLaughlin, C. W., Brown, B., Abileah, A., Baker, T. E., & Green, P. J. (2005). An innovative beamsplitter-based stereoscopic/3D display design. In *Electronic Imaging 2005* (pp. 488-494). International Society for Optics and Photonics.
- 藤原由美・伊藤敦 (2012). 就職模擬面接プログラムの設計と効果 自由が丘産能短期大学 紀要, 45, 29-43.
- 花里敦夫・山之上裕一・野尻裕司・岡野文男 (2003). 2眼立体画像における視差の不連続な時間変化による見づらさの評価 映像情報メディア学会技術報告, 27(23), 37-40.
- 市村 光・須藤洋太郎・安部隆・大塚秀春・下島孝裕・池田克己 (1998). ロールプレイ演習とそのビデオ映像化が及ぼす教育効果 第2報: 到達目標に対する学生の評価とテュー

- タの評価 日本歯科医学教育学会雑誌, 13, 168-178.
- 井上新平・藤田博一・高橋美枝・掛田恭子・山内祥豪・片岡賢一・福澤佳恵 (2003). 医学部 5 年生に対するビデオを用いた医療面接実習の試み 医学教育, 34(1), 21-28.
- 加藤伸子・内藤一郎・白澤麻弓・若月大輔・村上裕史・皆川洋喜・西岡知之・河野純大・三好茂樹 (2007). 遠隔コミュニケーションのための 3 次元手話映像提示システムの検討 筑波技術大学テクノレポート, 14, 13-16.
- 川野雅資 (1997) 患者-看護婦関係とロールプレイング 日本看護協会出版会
- 風間瑞穂・柴田隆史・河合隆史・亀山 渉・浦野義頼・村田計之 (2002). ブロードバンドネットワークにおける立体映像の教育利用 人間工学, 38(Supplement), 380-381.
- 木村あい (2008). ロールプレイ実施による介護技術の授業展開ービデオのフィードバック効果を利用した学習効果 神戸女子大学文学部紀要, 41, 113-123.
- Mayer, R. E., Griffith, E., Jurkowitz, I. T., & Rothman, D. (2008). Increased interestingness of extraneous details in a multimedia science presentation leads to decreased learning. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14(4), 329-339.
- 宮田 仁 (2005). 2 画面シンクロ再生機能をもつ授業観察 Web 教材の開発と試行: 授業観察教材におけるオンデマンド 2 画面シンクロ再生の検討 日本教育工学会論文誌, 28, 33-36.
- 宮本友弘・山田恒夫 (2001). カウンセリング事例の映像表現における課題: 教師教育用ビデオ教材の開発と評価から 教育メディア研究, 8(1), 23-33.
- 文部科学省 (2004). キャリア教育の推進に関する総合的調査研究協力者会議報告書 http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/023/toushin/04012801/002/010.pdf (2015.10.20. アクセス)
- Mondada, L. (2009). Video recording practices and the reflexive constitution of the interactional order: Some systematic uses of the split-screen technique. *Human Studies*, 32(1), 67-99.
- 応用物理学会光学懇話会(編) (1975). 生理光学: 眼の光学と視覚 朝倉書店
- ステレオムービーメーカー <http://stereo.jpn.org/jpn/stvmkr/index.html> (2015.10.20. アクセス)
- ステレオスライドショー <http://stereo.jpn.org/jpn/stslideshow/index.html> (2015.10.20. アクセス)
- ステレオフォトメーカー <http://stereo.jpn.org/jpn/stphmkr/index.html> (2015.10.20. アクセス)

- 高 悠史・高梨克也 (2013). コミュニケーション実践の直後のリフレクションを可能にするビデオ閲覧環境の開発 電子情報通信学会技術研究報告 ヒューマンコミュニケーション基礎, 112 (455), 17-22.
- 馬田一郎・鈴木紀子・安藤広志・井ノ上直巳 (2008). 遠隔インタラクションにおける 3D 映像の効果について 日本認知科学会第 25 回大会発表論文集
- Valsecchi, M., & Gegenfurtner, K. R. (2012). On the contribution of binocular disparity to the long-term memory for natural scenes. PLoS ONE, 7(11): e49947. doi: 10.1371/journal.pone.0049947.
- 脇山真治 (2007). TVCM におけるスプリット・スクリーン表現の問題点と課題--国内の放映作品の分析をとおして 芸術工学研究, 7, 1-16.

第6章 教育メディアとしての3次元映像の意欲的機能

3章で論じたように3次元映像の教育メディアとしての役割には意欲的機能があり、視覚教材として利用することによって学習者の興味や注意を高めやすいと考えられる。ただし、先行研究は主に3次元映像の認知的機能を対象としており、興味や学習意欲に対する効果を詳細に検証している研究は少ない。本章では実験4から実験7を通じて意欲的機能の有効性を多面的に吟味する。また、汎用ソフトウェアで3次元映像を教育利用する方法についても検討する。

6.1 意欲的機能の検証方法

映像に対する個人の興味や注意の程度は複数の指標で測定することができる。従来の研究では以下の測定方法が用いられてきた。3次元映像の意欲的機能が顕著であるならばこれらの指標で2次元映像との間に差異が生じることが予想される。

1) 印象評定

映像への興味や関心は観察者が意識しやすいため、その程度は印象判断に直接反映されると考えられる。印象評定の方法は映像メディア研究で用いられることが多い。そこで、質問紙法によって観察時の印象を測定すると、2次元映像と比べて3次元映像に対する興味の程度が強いと回答されることが予想される。実験4では提示次元間で同一画像に対する印象判断を比較した。

2) 観察時間

映像に対する興味が強いと、観察者はその映像をより長い時間見続けやすいと考えられる。画像の観察継続時間は観察者の興味の強さを反映することが示されている(Connolly & Harris, 1971)。このため、学習者が3次元映像を観察する時間は2次元映像よりも長くなることが予想される。実験5では教材内の画像を自発的に観察し続ける時間を測定し、提示次元間で比較した。

3) 観察回数

観察者にとって興味が強い映像は観察行動を誘発し、その観察回数は増えやすいと考えられる。そのため、2次元画像と比較して3次元画像を自発的に観察する回数は多くなることが予想される。実験6と実験7では教材内の画像の観察回数を提示次元間で測定し、参加者の探索行動を吟味した。

この章の実験では観察時間と観察回数を測定することによって学習者の行動を指標としている。そこで3次元映像の意欲的機能が主観的測度だけでなく、客観的測度においても

認められるかどうかを検証する。また、これらの実験では主に建築物の画像を刺激とした。建物の画像を刺激に用いた実験で画像への興味が画像を注視する時間や探索行動と関連することが認められており (Oostendorp & Berlyne, 1978)、上記の予想を検証するために適切な対象であると考えられる。

6.2 実験 4 画像の印象判断に対する 3 次元提示の効果

6.2.1 目的

実験 4 では画像に対する参加者の興味や印象を質問紙法で測定する実験を行い、主観的測度から 3 次元画像の意欲的機能の特徴を明らかにすることを目的としている。

この実験では参加者にとって新奇性の異なる 2 種類の画像を用いた。授業で利用される映像は学習者にとって既知の場合 (例えば、経験の振り返り) と未知の場合 (例えば、新たな対象の理解) があると考えられる。ここでは新奇性を映像の対象を直接見た経験の量や頻度として定義し、経験や頻度が多い映像を低新奇、少ない映像を高新奇とする。対象の熟知性が高いとその写真への興味は少なくなりやすいことが示されている (Leckart, 1966)。そのため、新奇性の低い映像は高い映像に比べて学習者の興味が弱くなる可能性がある。この実験では 2 次元条件と 3 次元条件の両方で新奇性の異なる 2 種類の画像への印象を測定することにより、提示次元の要因と新奇性の要因を独立した効果として扱い、3 次元映像の意欲的機能が画像の新奇性に依るかどうかを検討した。

6.2.2 方法

(1) 参加者

参加者は短期大学生 64 名であり、4 つの画像提示条件のいずれかに 16 名ずつ無作為に割りあてられた。

(2) 装置

撮影装置は 3 次元映像の記録が可能なデジタルカメラ (富士フィルム社製 FinePix REAL 3D W1) である。このカメラにある 2 つのレンズの間隔は 77mm であり、カメラから 2~10m 程度離れた対象の撮影に適合している。撮影時には左右画像の視差が大きくなりすぎないように対象との距離を一定程度保っていた。記録画素数は左右それぞれ 1000 万画素である。

提示装置には3次元映像を表示できる24インチモニター（Zalman社製 ZM-M240）とWindowsパソコン一式を用いた。モニターの解像度はフルハイビジョンで（1920×1080ピクセル）、円偏光方式のメガネにより立体視が成立する。提示ソフトウェアにはステレオフォトメーカーを用いた。

（3）刺激

参加者にとって新奇性の異なる2グループの写真を3次元画像としてそれぞれ35枚用意した。参加者が在学する短期大学の学内の写真（低新奇）と倉吉市内の伝統的建築の写真（高新奇）である（図6.1）。どちらの種類でも主に建物の内外の様々な風景が撮影された。撮影されたmpo形式の写真はステレオフォトメーカーによって左右画像の位置と色が適切になるようそれぞれ自動調整された。調整後の画像が適切に立体視されることを予備調査によって確認した。3次元条件の刺激は実験で用いるモニターに合わせて縦インターレース方式で保存された。2次元条件の刺激には3次元画像の左側を用いた。

低新奇と高新奇の写真を2次元画像、3次元画像として編集することによって、次元×新奇性の4条件の画像（2次元・低新奇、2次元・高新奇、3次元・低新奇、3次元・高新奇）を作成した。



図 6.1 実験 4 の画像刺激の例 短期大学の建物と伝統的建築の写真（2次元画像）

（4）評価項目

画像の印象を評価する尺度は15項目から構成されていた。画像の印象を評価した先行研究を参考にして、画像の全般的な印象を評価できるよう多面的に質問項目を設定した。また、画像への興味を評価するため「おもしろい—おもしろくない」の項目を組み入れた。各項目とも7件法のSD法の尺度となっている。

(5) 手続き

実験は参加者ごとに個別に行われた。画像の提示順序は低新奇条件、高新奇条件ごとに一定であり、参加者は各自のペースで画像刺激を連続して観察した。各画像はモニターの最大解像度で全画面表示された。3次元条件の参加者は偏光式立体メガネを装着した。全刺激の観察後、参加者は画像の印象に関する評価項目に回答した。

6.2.3 結果と考察

質問項目ごとに画像の印象評定を集計した。図 6.2 には各項目の評価平均値を条件別に示している。すべての条件で「わかりやすさ」の項目の評価得点が高かった結果から、各画像は認識されやすかったと考えられる。3次元画像についても画質が良好で、立体視が適切になされたことが確認された。

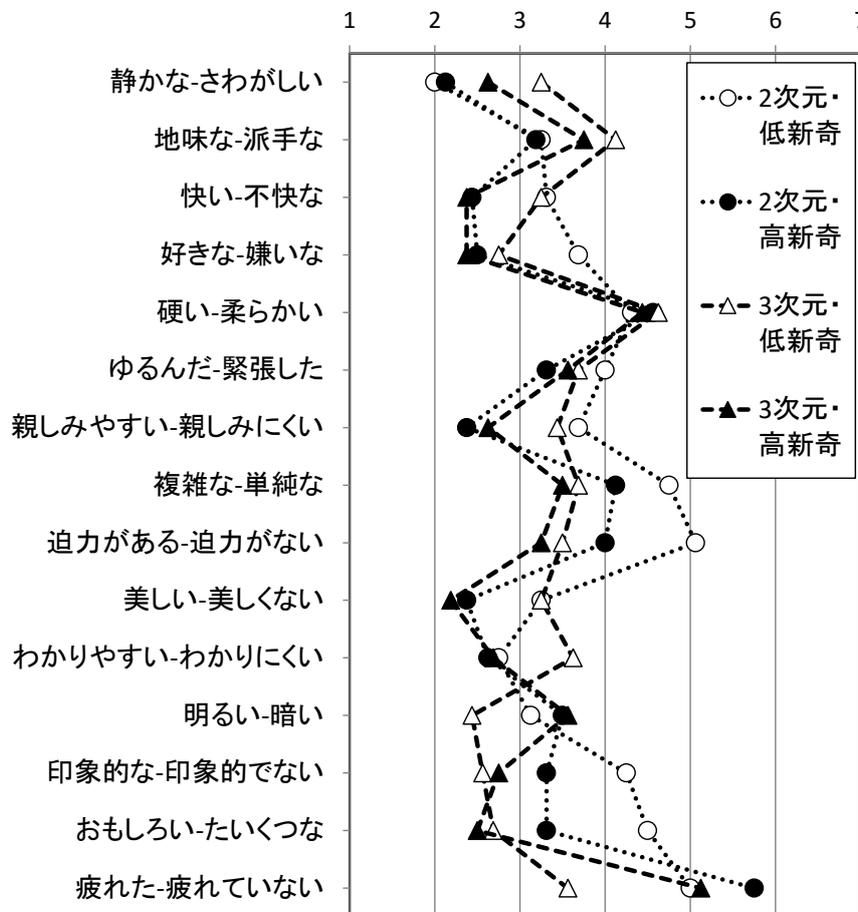


図 6.2 実験 4 の画像の印象評定平均値

質問項目ごとに条件別評定値に対して提示次元と新奇性の 2 要因分散分析を行った。その結果、提示次元の有意な主効果が「おもしろいーたいくつな」の項目で認められ ($F(1,63)=15.47, p<.01$)、「おもしろさ」の評価は 2 次元条件よりも 3 次元条件で高かった。この実験では提示次元の条件間で同一の画像刺激を用いたため、この効果は提示次元のみに起因すると考えられる。そのため、画像の提示を 3 次元とすることによって参加者の興味が高まりやすいことが示唆された。「おもしろさ」の評価では新奇性の主効果も有意であった ($F(1,63)=4.25, p<.05$)。この項目の得点は高新奇条件の方がより大きく、新奇な対象は興味を高めやすいことが認められた。一方、提示次元と新奇性の間の交互作用は有意にはならず、両要因の効果は独立していた。このため、画像の 3 次元提示によって学習者にとって新しい対象だけでなく、見慣れた対象についても興味が高まりやすいと考えられる。主観的測度を用いた今回の結果は実験前の予想と一致し、3 次元画像は学習対象全般に観察意欲を高める機能をもつことを示している。

提示次元の主効果は「静かさ」「派手さ」「複雑さ」「迫力」「印象的」の各項目でも有意であった (それぞれ、 $F(1,63)=10.73, 11.76, 8.97, 10.36, 13.30$, すべて $p<.01$)。これらの項目の結果から、3 次元画像は 2 次元画像よりも動的で、派手で、迫力があり、強い印象を与えやすいことが認められた。この評定結果は 3 次元映像の基本的な心理的効果である臨場感と印象の強さを反映していると考えられる。また、奥行き方向の情報が豊富であるため 3 次元画像はより複雑であると評価されたと推測される。一方、「好み」や「美しさ」の項目では画像の提示次元の効果はなかった。3 次元提示は画像への興味や臨場感の印象を高める一方で、それとは異なる側面である画像への好意度や美的判断には影響しないと考えられる。

刺激の新奇性の主効果は「快さ」「好み」「親しみやすさ」「美しさ」「明るさ」の各項目で有意だった (それぞれ、 $F(1,63)=7.98, 8.59, 12.19, 12.14, 6.96$, すべて $p<.01$)。この結果から高新奇刺激である伝統的建築群の写真の方がより美しく評価され、好まれやすいことが示された。新奇性の要因は画像を審美的な観点で評定する項目で効果が認められた。この分散分析ではすべての質問項目で有意な交互作用はなかった。したがって、画像の提示次元と新奇性は印象判断に異なる影響を与えたと理解される。

各質問項目の関連性を確かめるため、因子分析 (最尤法・プロマックス回転) を行った。その結果が表 6.1 に示されている。この因子分析から 3 因子を抽出した。3 因子の累積寄与度は 52.5%であった。第 1 因子に負荷量が高い項目には「快いー不快な」「美しいー美しくない」「好きなー嫌いな」などがあつた。したがって、この因子は画像の美的評価や好みを反映していると解釈される。そのため、この因子を「評価性」と命名した。第 2 因子では

「印象的な-印象的でない」「おもしろい-たいくつな」「迫力がある-迫力がない」などの項目で負荷量が高かった。これらの項目は画像の迫力や印象の強さを示していると解釈されることから、「迫力性」と命名した。第3因子は「ゆるんだ-緊張した」と「硬い-柔らかい」の2項目で負荷量が高かったため「緊張性」とした。これらの3因子は従来SD法の因子分析において安定的に認められていた評価性、活動性、力量性の因子と相似していると考えられる（神宮, 1996）。

第1因子には上述の分散分析において画像の新奇性の主効果が示された質問項目が多数含まれており、画像のカテゴリの影響が反映されていると考えられる。一方、第2因子は提示次元の主効果が認められた項目を多く含んでおり、3次元画像と2次元画像の印象の差異を示していると認められる。第1因子と第2因子間の相関は非常に低かった。したがって、因子分析の結果においても画像提示の次元と画像対象の新奇性が印象判断に与えた影響は独立していたことになる。また、この分析で「おもしろさ」の質問項目は第2因子内にあったことから、画像に対する興味は3次元映像の他の心理的特性と関連していると理解される。

表 6.1 実験4の画像評定値の因子分析結果（プロマックス回転後の因子パターン）

項目 番号	項目内容	因子		
		I	II	III
3	快い-不快な	.840	.082	.261
10	美しい-美しくない	.730	.119	-.073
15	疲れた-疲れていない	-.640	.087	-.285
4	好きな-嫌いな	.636	.461	.368
7	親しみやすい-親しみにくい	.574	.006	.391
11	わかりやすい-わかりにくい	.534	-.040	.031
13	印象的な-印象的でない	.326	.842	.240
14	おもしろい-たいくつな	.291	.791	.258
9	迫力がある-迫力がない	.210	.684	-.052
1	静かな-さわがしい	.471	-.626	-.130
2	地味な-派手な	.290	-.604	.022
8	複雑な-単純な	-.099	.503	-.014
12	明るい-暗い	-.079	.304	.064
6	ゆるんだ-緊張した	.207	.061	.995
5	硬い-柔らかい	-.133	-.154	-.499

因子間相関	I	II	III
I	—		
II	0.09	—	
III	0.23	0.16	—

6.3 実験 5 画像の観察時間に対する 3 次元提示の効果

6.3.1 目的

実験 5 では 3 次元提示と 2 次元提示の間で参加者が画像を観察し続ける時間に差があるかどうかを検討した。探索行動に関する研究では、画像の注視時間 (looking time) が注意の程度を測定する目的で用いられており (Berlyne, 1960)、視覚刺激を見続ける時間と興味の強さには正の相関が認められている (Russell, 1975)。すなわち、児童の興味を高めやすい不調和な画像は調和のとれた画像よりも観察され続ける時間が長かった (Connolly & Harris, 1971)。日常生活ではテレビのコマーシャル映像の視聴時間と映像への興味の間に有意な相関があることが示されている (Olney, Holbrook, & Batra, 1991)。このため、3 次元提示が参加者の興味を高めるならば、参加者は自発的に 2 次元画像よりも 3 次元画像をより長い時間観察すると予想される。

画像を注視する時間は認識に必要な処理の量や速さによっても変化すると考えられる (Leckart & Bakan, 1969)。3 次元画像を認識するには両眼の知覚像の統合処理が必要になるため、2 次元画像よりも長い時間がかかる可能性がある。このため、この実験では画像を観察し続ける総時間を 2 つに区分し、参加者が画像を認識するまでの時間とその後自発的に観察を続ける時間 (以後、後者を観察持続時間とする) を分離して測定した。前者の画像認識時間を測定するため、各画像にカテゴリー判断課題を設定し回答に要した時間を測定した。一方、後者はその判断後から自由観察が終わるまでの時間とした。観察持続時間は画像に対する興味の強さを反映するため、画像の提示次元によって差が生じると推測される。

3 次元映像に対する興味や注意は映像の観察機会が少ない提示次元の新奇性から生じている可能性がある (3.4.1 節)。この新奇性によって 3 次元映像への注意が向上しているならば、映像の観察経験が増加すると新奇性が低くなるため注意が少なくなる可能性がある。3 次元画像を実験前に提示して新奇性を統制した実験では、アナグリフ 3 次元画像と 2 次元画像間で学習における差が明確に示されなかった (Price, Lee, & Malatesta, 2014)。この実験では次元としての新奇性の影響を検討するため、3 次元画像を複数回提示することによって新奇性の程度を操作し、提示回数に伴う観察持続時間の変化を測定した。新奇性が低い画像は高い画像に比べて参加者が自発的に見続ける時間が短くなることが示されている (Berlyne, 1958)。このため、3 次元画像の観察回数が増えて立体視に対する新奇性が低下すると、2 次元画像との観察持続時間の差が少なくなりうると予想される。

6.3.2 方法

(1) 参加者

参加者は短期大学生 20 名であり、全員がすべての実験条件の画像を観察した。参加者は高新奇刺激の撮影対象である伝統的建築群を訪問した経験があるが、画像刺激をこの実験で初めて観察した。なお、実験前に参加者の両眼視機能が良好であることを確認した。

(2) 装置

提示装置にフルハイビジョンの解像度で 3 次元画像を観察可能なモニター (Zalman 社製 ZM-M240) と Windows パソコン一式を用いた。実験課題を遂行する入力装置にキーボードを用いた。画像の提示時間を制御し、カテゴリ判断時間と観察持続時間および印象評定値を測定するため、心理学実験用のソフトウェア SuperLab (Cedrus 社製) において実験を実施した。

(3) 刺激

実験 4 で用いた刺激から低新奇画像として短期大学の写真、高新奇画像として伝統的建築土蔵群の写真をそれぞれ 16 枚選択した。各新奇性の写真を 2 つに分類し、それらを半数ずつ組み合わせることで 16 枚の写真から成る 2 つのグループを設定した。それぞれについて 2 次元画像と 3 次元画像を作成して、画像の次元ごとに低新奇画像と高新奇画像が 8 枚ずつ含まれる 2 つの刺激セットを用意した。参加者には一方の刺激セットを 2 次元、他方を 3 次元で提示し、刺激セットと提示次元の組み合わせは参加者間でバランスをとった。各提示次元内では画像の提示順序はランダムであり、両新奇性の刺激は混合して提示された。3 次元画像は全画面表示した際立体視できるよう、モニターの解像度に合わせてライン・バイ・ライン形式で保存された。

刺激のカテゴリ判断を行う段階では、写真の中央にカテゴリ名「鳥取短大」と「倉吉土蔵」の文字と写真が短期大学のときに反応すべきキー「A」と伝統的建築の場合のキー「D」の文字が画像上に提示された (図 6.3)。

(4) 手続き

参加者には画像のカテゴリ判断課題と好ましさの評定課題を実施するよう教示された。各試行の刺激は図 6.4 にある順序で提示された。各試行の準備画面で参加者が任意のキーを押すと画面が切り替わり、図 6.3 にある写真と反応すべきカテゴリ語が重なって全画面に



図 6.3 実験 5 のカテゴリ判断時の画像刺激例

提示された。参加者は画像のカテゴリが短期大学か伝統的建築のいずれかを判断し「A」または「D」のキーをできるだけ早く正確に押すよう求められた。画像の提示からカテゴリ判断に要した時間が測定された。

参加者のカテゴリ反応によって単語は画面から消え、写真のみの画面になった。この画面で参加者が任意のキーを押すと、次の評定画面に切り替わった。画面が写真だけになってから参加者が任意のキーを押すまでの時間（観察持続時間）が計測された。この手続きにより、一試行でカテゴリ判断にかかった時間と判断後に観察を続けた時間を測定した。参加者にはカテゴリ判断後に写真を観察する時間には制約がないと教示された。また、観察持続時間が測定されることは実験前には説明されなかった。

各試行の最後に画像の好ましさを評価する画面が提示された。好ましさは 5 段階で評価され、参加者は対応する数字「1」から「5」までのキーで反応した。各試行の終了後、次

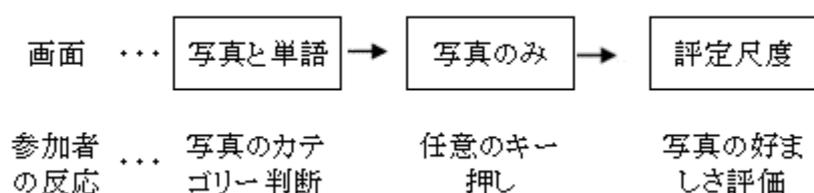


図 6.4 実験 5 の実験手続き

の試行の準備画面が提示された。

練習試行の後、本試行が 2 次元条件と 3 次元条件それぞれ 16 試行実施された。2 次元条件と 3 次元条件の実施順序は参加者間でバランスをとった。3 次元条件では参加者は偏光式の立体メガネを装着した。

6.3.3 結果と考察

条件ごとに画像のカテゴリ判断時間と観察継続時間を集計した。カテゴリ判断課題の平均時間は 1558.1 msec であった。この判断時間について刺激の提示次元と新奇性の 2 要因の分散分析を行った結果、新奇性の主効果の傾向が認められ ($F(1,57)=3.57, p<.1$)、新奇性が高い刺激よりも低い刺激の判断が速くなりやすいことが示された。学内風景の写真は参加者にとって親近性が高いため、見慣れない建物の写真よりも判断しやすかったと考えられる。一方、提示次元の主効果と交互作用は有意にならなかった。そこで、画像を認識する時間は次元間に差がなかったことになる。3 次元画像は 2 次元画像よりも奥行きを理解しやすいが、左右画像を処理することで負荷が増大しやすいため、3 次元画像の認識にかかる時間は増減両方の可能性がある。この実験では参加者は写真の対象を実際に見た経験があり、画像のカテゴリが 2 つに限られていたため、参加者は判断しやすかった可能性がある。このため、提示次元による差が生じにくかったと考えられる。

画像の観察持続時間が図 6.5 に示されている。この時間を刺激の提示次元と新奇性の 2 要因で分散分析を行った結果、提示次元の主効果のみ有意になり ($F(1,57)=10.62, p<.01$)、新奇性の主効果と交互作用は有意ではなかった。この結果から、2 次元画像と比較して 3 次元画像を観察し続ける時間が長く、この効果は画像の新奇性によらないことが示された。観察持続時間はカテゴリ判断後から測定されており、参加者は画像対象を認識した後に 3 次元画像を自発的により長く注視したことが認められた。この効果は実験前の予想と一致しており、3 次元画像に対する興味の高さを反映していると考えられる。

一方、画像の新奇性の要因が観察持続時間に効果がなかった結果は実験 4 の「おもしろさ」の印象評価の結果と相違した。高新奇刺激が単一カテゴリで構成されており、この新奇性の影響が限定的であったため、画像全体に対する印象評価で示された効果が参加者の個々の行動においては十分認められなかったと推測される。

また、写真の好ましさの評定平均値は全体で 3.6 となり、やや好ましいとの判断が多かったことが示された。2 要因分散分析の結果、新奇性の要因のみ有意傾向が認められ ($F(1,57)=21.01, p<.01$)、高新奇条件の画像がより好ましく評価された。この条件間の差は実験 4 と同様の結果である。

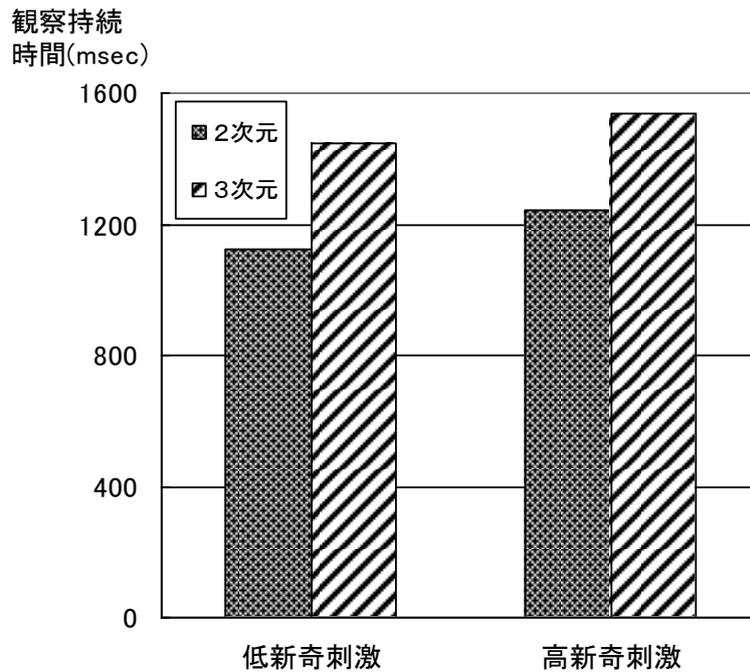


図 6.5 実験 5 の条件別の観察持続時間

実験の経過に伴う観察時間の推移を 4 試行ごとに分析した結果、実験の後半では画像の提示次元の効果が減少していることが確認された (図 6.6)。この実験では参加者は連続して提示される画像を単純に観察していて、観察経験の増加とともに立体視の印象や 3 次元画像への興味が徐々に弱くなったため観察持続時間への影響が減少したと考えられる。一方、画像のカテゴリが 2 種類だけであったため、観察数の増加とともに類似した特徴をもつ場面や画像への慣れが生じて 3 次元画像に特有の臨場感が観察経験とともに低下し、提示次元の効果を圧縮した可能性もある。カテゴリ数を増やした条件でさらなる実験を実施し、この仮説を検証することは今後の課題である。

実験 4 と実験 5 の結果は一貫しており、3 次元画像は観察者の興味や注意を強めやすいことが認められた。2 次元画像と比較して参加者の 3 次元画像に対する関心は強く、3 次元画像をより長い時間観察した。また、画像の提示次元の要因と新奇性の要因との交互作用が認められなかったことから、3 次元提示は対象の観察経験の有無にかかわらず学習者の興味を全般的に高めやすいと示唆される。この結果は 3 次元映像の意欲的機能の仮説と一致している。

実験 5 では 3 次元画像が複数回提示され次元としての新奇性が低下すると、画像への興味が減少しやすい傾向が示された。したがって、3 次元映像の意欲的機能の一部は提示次元

の新奇性から生じていると推測される (3.4.1 節)。このため、学習者の意欲を継続して高めるためには、実験 5 のように映像を単純に連続提示するのではなく、提示方法に工夫が必要になると考えられる。

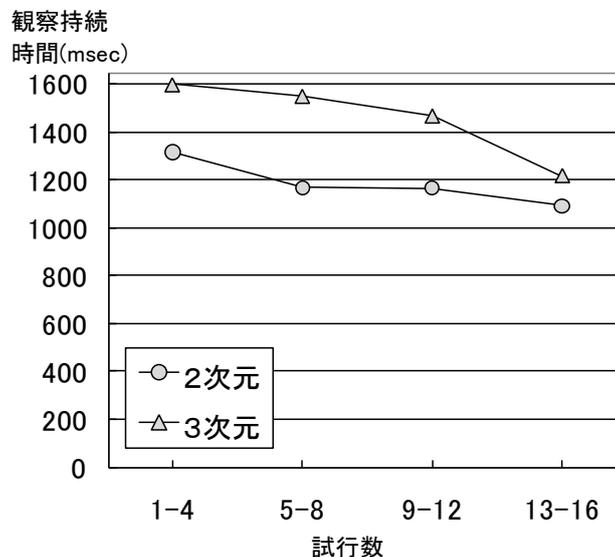


図 6.6 実験 5 の試行数のブロックごとの観察持続時間

6.4 実験 6 画像の観察回数に対する 3 次元提示の効果

6.4.1 目的

視覚的教育メディアを効果的に利用することによって学習者の対象への興味が高まり意欲が向上すると、自主的な学習がなされやすく、学習者の積極的な探索行動が増加すると期待される。この実験では画像の提示順序を定めずに、学習者が PowerPoint のスライド内にある画像を自由に観察できるようにした。この観察行動を記録し、3次元条件と2次元条件間で教材を探索した行動を比較することにより、提示次元の効果を検証する。3次元画像が学習意欲を高めるならば、2次元画像条件に比べて探索行動が活発になり多くの画像が観察されることが予想される。

この実験では 3 次元画像とそれ以外の画像や文字情報を組み合わせたマルチメディア教材を作成した。そこで、画面の一部に 3 次元画像を表示する教材構成が学習者にとって理解しやすいかどうかを吟味する。また、マルチメディア教材では学習者とのインタラクティブな機能が重要である (岡本, 1993)。双方向性を利用することによって、学習者が主体的

に活動をすすめる、自己学習能力が高まることが期待される（赤堀, 2002）。このため、この実験では学習者の選択に応じて特定の画像が提示される対話性のある教材を提示した。3次元映像を教育メディアに利用した先行研究では映像を単独に提示することが多く、インタラクティブな特性をもつシステムの報告は限られている（Henn et al., 2002）。実験6と実験7では3次元映像をマルチメディア教材として利用する方法について検証する。

6.4.2 実験方法

大学生が日本の伝統的建物とその保存について自習する教材として PowerPoint 用のスライドを作成した。学習の対象は倉吉市内の伝統的建造物群保存地区にある建築、施設および文化である。この地区には江戸時代からの伝統的建築を利用した店舗や工房が散在している。そこで、画面上に地区のマップを表示し、その上に学習対象のアイコンを配置した。マップ上のアイコンをクリックするとその対象の画像と説明が表示される。学習者はマップ間を自由に移動し、希望の画像を観察することができる。これは PowerPoint のハイパーリンク機能で実現した。こうしたスライド構成は学習者がこの地区を画面上で散策しながら理解を深めることを意図している。なお、この教材は画像の提示次元の効果を検証する実験刺激であるため、スライド上のアイコン数を一定程度にとどめるとともに学習対象ごとの拡大写真は1つに限定した。

この教材ではマップ上のアイコンを選択することで初めて各対象の拡大した画像と説明が表示される。参加者が学習対象の知識を得たいときには画像の拡大操作が必要になる。このため、画像の拡大回数を参加者の探索行動の指標とした。教材や対象への興味が強い参加者は画像を拡大して観察する傾向が高まると考えられる。実験では拡大画像が2次元提示される条件と3次元提示される条件を設け、両条件間で拡大画像数を比較する。3次元画像が対象への興味や観察意欲を高めるならば、3次元条件の参加者はマップをより多く探索し拡大画像数が増加すると予想される。

この教材では拡大表示される画像のみが3次元で表示される可能性があり、他の写真やマップ、アイコンなどはどちらの条件でもすべて2次元表示になっている。実験の提示装置には3次元画像を裸眼で観察できるディスプレイ装置を用いた。そのため、参加者は拡大画像の提示条件に関わりなく立体メガネの装着が不要で、教材を円滑に操作、観察することができる。

(1) 参加者

建築・デザインを主専攻とする短期大学生が参加した。参加者は画像の提示条件の2グ

ループに無作為に割り当てられた。参加者数は 2 次元条件 20 名、3 次元条件 20 名であった。参加者は画像対象の地区を直接観察した経験がある。

(2) 教材

学習教材は 5 枚の PowerPoint スライドから構成されており（図 6.7）、全画面のスライドショーとして提示された。1 枚目は全体的な説明で学習内容の概要とスライドの操作方法を示している。2 枚目は学習する地区の全体マップで東西方向に 2 つに区分されており、一方をクリックするとそのマップに移動する。3、4 枚目が東西それぞれの詳細マップとなっていて学習の中心となるスライドである。このスライドのマップ上には学習対象の写真アイコンが合計 20 個配置されている。各アイコンは拡大表示される写真・説明とリンクしており、アイコンをクリックするとその対象の拡大画像と簡単な説明文が別ウィンドウに表示される（図 6.8）。この拡大画像が条件別に 2 次元または 3 次元として表示される。スライド 2、3、4 枚目の間は相互に移動が可能である。スライド 5 枚目はスライドショーの終了を示す。

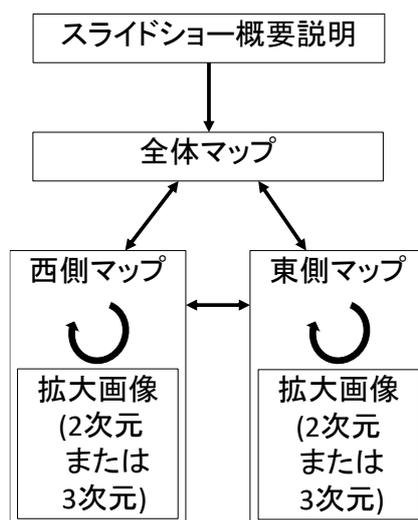


図 6.7 実験 6 のスライド教材の構成

教材内の画像は実験 4 で用いた画像と新たに撮影した画像を組み合わせで使用した。今回の撮影では実験 4 と同一の機材を用い、画像の編集も同様の手順で行った。拡大表示される 3 次元画像は mpo ファイル形式で保存された。2 次元画像は 3 次元画像の左側を用いて jpg 形式で保存された。



図 6.8 実験 6 の画像刺激の例

(3) 装置

提示装置に 3 次元映像を裸眼で観察することができるノート型コンピュータ（東芝社製 dynabook T852）を用いた。この 15.6 型ディスプレイにはレンチキュラー方式と類似したアクティブレンズが組み込まれている。画面の表示解像度はフルハイビジョン（1920×1080 ピクセル）である。ソフトウェアには Windows7 と PowerPoint2010（ともに Microsoft 社製）を用いた。拡大画像はすべて 3D Vision フォト・ビューワ（NVIDIA 社製）によって提示した。その表示解像度は 800×600 ピクセルで、提示の際には画面の約 1/4 を占めることになる。

(4) 測定方法

実験中の参加者のマウス操作はマクロ記録ソフトウェアにより記録された。このソフトウェアによってマウスの操作が正確に測定されることは実験前に確かめられていた。また、スライドと画像に関する印象を評定するため 4 項目で構成される 5 段階のリッカートスケ

ールを用意した。

(5) 手続き

実験は個別に行われた。実験内容の教示後、参加者は最初のスライドから観察を始めた。スライドや画像の観察順序や観察時間に制約はなく、参加者はすべての拡大画像を観察することができた一方、一部の画像を見ただけでスライドショーを終えることもできた。参加者にはスライドショーの観察行動が記録されることは事前には知らされなかった。スライドショーの観察後、参加者はその印象を評定用紙上に回答した。

6.4.3 結果と考察

画像を拡大して観察した回数の条件別平均値が図 6.9 に示されている。3次元条件では全アイコンのうち約7割が選択されており、2次元条件では約5割であった。 t 検定によって両条件間の観察回数を比較した結果有意差が認められ、2次元条件よりも3次元条件の観察回数がより多かった ($t(38)=2.07, p<.05$)。3次元条件では画像が自発的により多く観察されやすく、探察行動が活発になりやすかったことが示された。この結果は実験前の予想と一致しており、3次元映像の意欲的機能を反映していると考えられる。

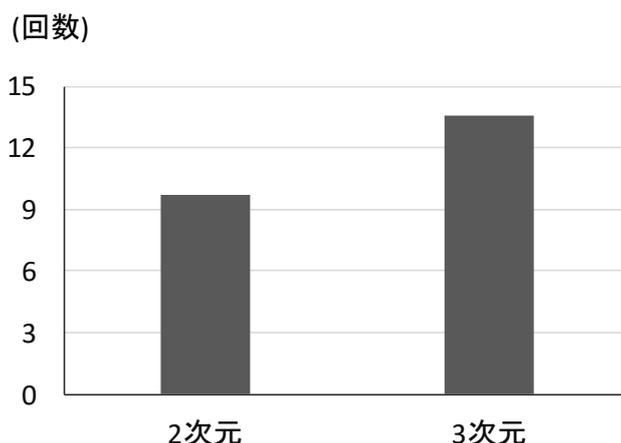


図 6.9 実験 6 の拡大画像の平均観察回数

スライドに対する印象評価の結果が図 6.10 に示されている。スライドの「わかりやすさ」と写真の「見やすさ」についての評価は2次元条件、3次元条件とも良好で、条件間の有意な得点差は認められなかった。そのため、提示次元に関わらずスライドや写真が理解されやすかったことが認められた。3次元条件では拡大画像のみ3次元表示で他のスライド領域は

2次元表示であり、両次元の刺激がディスプレイ内に混在していたが、特に理解を妨げないことが確かめられた。スライドに対する「興味」および「印象の強さ」の質問項目については、 t 検定の結果より3次元条件の評価値が2次元条件に比べて大きいことが明らかになった ($t(38)=3.03, p<.01$; $t(38)=2.34, p<.05$)。この評定結果はこれまでの実験結果と一致しており、3次元画像が観察者の主観的な興味を高めやすいことを示している。

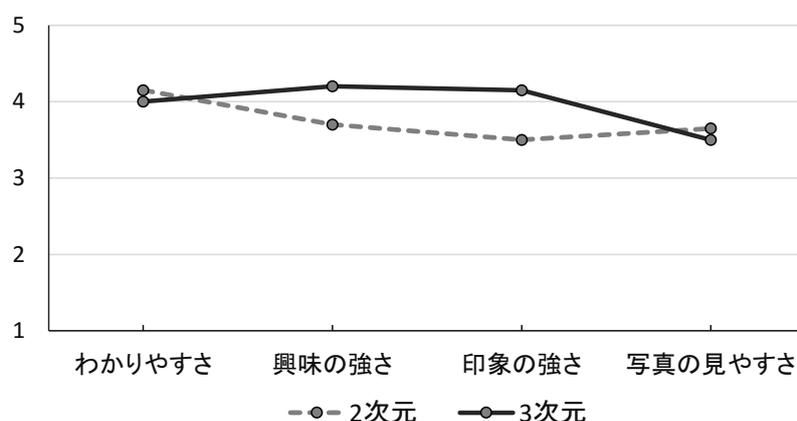


図 6.10 実験 6 のスライドに対する印象評定値の結果

この実験で示された探索行動の量とスライドショーへの印象評価の結果から、3次元画像を教材に用いることによって、学習者の内的な関心が高まるだけでなく学習行動が積極的になることが示唆された。

6.5 実験 7 汎用ソフトウェアでの 3次元映像の教育利用

6.5.1 目的

この実験では一般的な教育環境で3次元映像を提示する試みを行った。3次元映像の教育利用に関する先行研究では、映像の提示に専用のソフトウェアを必要としていることが多かった。一方、ネットワーク上で特定の方式の3次元映像を配信しウェブ・ブラウザ内で表示を行うことは可能であり、動画共有サービスや医学の授業で汎用性のあるシステムが開発されている (Kaspar, Parsad, & Silverstein, 2013)。

3次元映像を広く教育利用するにはこうした汎用ソフトウェアでの利用が望ましい。本論文のこれまでの実験では3次元映像に特化されたソフトウェアを用いていたが、この実験では専用のソフトウェアに依らず PowerPoint 単独で3次元画像を提示する方法を考案し

た。すなわち、3次元画像の形式を提示用の偏光モニターに合わせてライン・バイ・ラインとし、その縦方向の解像度をモニターと同一の設定とした。この3次元画像を等倍表示すると、左右画像の配置がモニターの偏光フィルターの配列と一致するため、ソフトウェア上で3次元画像の形式を変換することなく両眼立体視が可能になる。この方法は実験5の応用であるが、先行研究では十分利用されてこなかった。PowerPoint上で3次元画像の教育利用を試みた事例は報告されているが、画像の提示には専用のプラグイン・ソフトウェアが必要であった (Vendeland & Regenbrecht, 2013)。そこで、この実験で学習行動に対する3次元画像の促進効果が認められれば、3次元画像をより広範に教育利用する可能性が高まると考えられる。

PowerPointは多くの授業で利用されており、こうした授業方法は従来よりも有効であると学習者と授業担当者双方から評価されている (James, Burke, & Hutchins, 2006)。今回の実験では学習者の観察行動と印象評価に基づいて、3次元画像を含むPowerPointスライドの有効性を検証した。また、実験では参加者2人が一組になってスライドを観察するよう設定した。視聴覚教材は個別学習だけでなく、一斉学習やグループ学習の授業においても活用されている。そこで、複数の学習者が3次元画像を観察する状況を想定してその意欲的機能の有効性を確かめる。

6.5.2 方法

実験6で用いた教材を加工して伝統的建築とその保存に関する新たなPowerPoint用スライドを作成した。スライドに表示したマップや対象の写真は実験6と同一であり、参加者がマップ上のアイコンをクリックするとその対象の詳細を表示する説明方式も同じである。ただし、スライドのレイアウトを変更し、マップの隣に特定の対象の画像と説明が2次元あるいは3次元で常に提示されるようにした。スライド画面上に画像の提示次元を変更するためのボタンを配置して、提示次元をいつでも変更可能とした。さらに、参加者が画像をクリックすると、その時の提示次元で画像が全画面表示されるようにした。3次元画像の形式はディスプレイ装置に適合させたライン・バイ・ラインに変更し、この実験では画像の観察に立体メガネが必要になる。実験参加者によるスライドに対する評価から、画像の見やすさやスライドの操作性を検証した。

この実験スライドではマップと同時表示される特定の対象の画像サイズはやや小さく、画像をより明瞭に観察するには拡大表示する必要がある。そこで、画像や対象に対する興味が強い参加者は、画像を全画面に表示しようとするであろう。この実験では画像の拡大観察回数を参加者の探索行動の指標とし、次元間でその回数を比較した。画像に対する興味の差

異から、実験 6 と同様に拡大回数は 3 次元画像の方が 2 次元画像に比べて多くなることが予想される。

(1) 参加者

参加者は短期大学生 24 名であり、全員これまでに 3 次元映像に関する実験の参加経験がなかった。参加者は無作為に 2 人ずつの組になってスライドを観察・操作し、計 12 組に対して実験が行われた。

(2) 教材

学習教材は PowerPoint のスライド 43 枚で構成されている (図 6.11)。最初のスライドは学習対象の全体概要とスライドの操作方法を説明している。次のスライドは倉吉市の伝統的建築保存地区の全体のマップで、中央で東西に分かれておりどちらかをクリックすると一方の詳細地図が表示される。

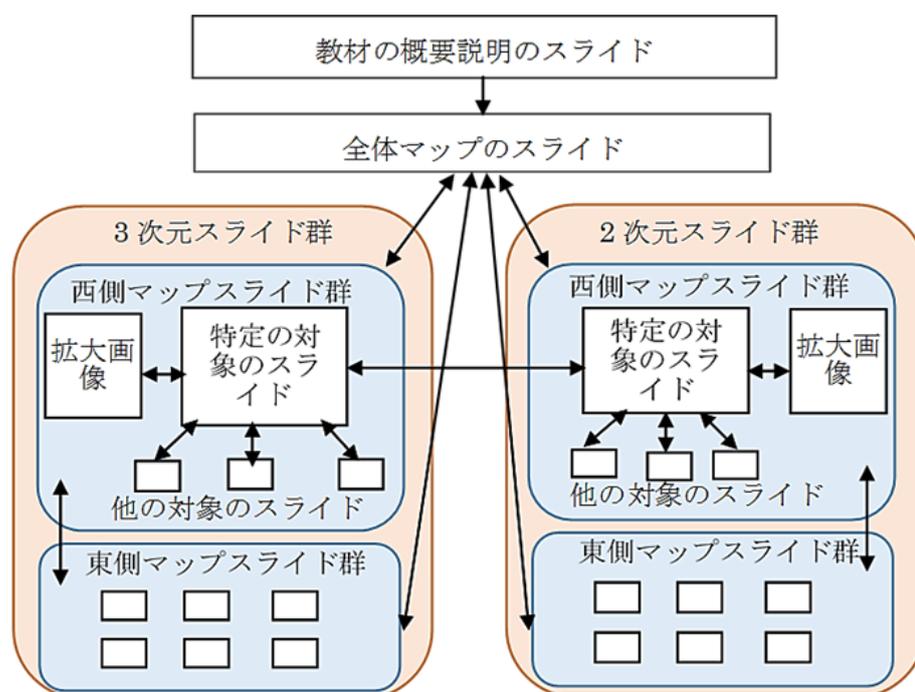


図 6.11 実験 7 のスライド教材の構成

それ以降の 40 枚のスライドが学習対象の主スライドであり、マップスライドと拡大画像スライドで構成されている。各学習対象についてマップスライドと拡大画像スライドを提

示次元ごとに作成した。スライド間の移動には PowerPoint のハイパーリンク機能を用い、参加者は地図上を探索しながら画像を観察できるようにした。

マップスライドの左半分には対象地区の東西どちらかの詳細地図が示され、その上に学習すべき対象の写真アイコンが配置されている (図 6.12)。これらの対象は実験 6 から選ばれ、その数は両方のマップを合わせて 10 個である。本実験のスライドでは実験 6 よりもマップの提示領域が狭くなったため、表示するアイコン数を減らした。マップスライドの右半分には、左半分の地図上で選択された対象の画像と説明記述が表示される。参加者が地図上のアイコンをクリックすると、右半分の画像と記述が切り替わる。この画像は 2 次元あるいは 3 次元で提示され、参加者が該当ボタンをクリックすることでその提示次元をリアルタイムに変更することができる。この画像の解像度は 800 × 600 ピクセルである。



図 6.12 実験 7 の画像刺激の例

参加者がマップスライド右半分にある画像をクリックするとその画像が全画面に拡大表示された (1920 × 1080 ピクセル)。全画面提示される画像の次元はマップスライドでの提示次元と一致している。

スライド内の画像は実験 6 で用意された写真を再編集したものである。マップスライドおよび拡大スライドの 3 次元画像はすべてモニターの解像度に合わせて水平方向のライン・バイ・ライン方式に変換された。このため、PowerPoint のスライドで 3 次元画像を等倍表示すると画像とモニターの縦成分の解像度設定が一致し、偏光フィルター方式の立体メガネによって左右の画像が分離される。2 次元画像には左右の 3 次元画像の一方を用いた。

(3) 装置

提示装置として 27 インチの偏光方式の 3 次元映像ディスプレイ (LG Electronics 社製 FLATRON D2743P-BN) を用いた。ソフトウェアとして Windows7 と PowerPoint2010 (ともに Microsoft 社製) を利用した。

(4) 測定方法

実験中の観察者のマウス操作はマクロ記録ソフトウェアにより記録された。参加者には測定が行われたことを実験後に説明した。

画質とスライドショーの操作性について印象を測定するため 7 項目からなる 7 段階のリッカートスケールを作成した。

(5) 手続き

実験は 2 人一組で行われ、参加者は会話を行いながら教材の観察をすすめた。実験 6 と同様、スライド観察の順序や時間に制約はなく、参加者はすべてのスライド、拡大写真を自由に観察することができた。観察の終了後、参加者はスライドショーの印象を評定用紙に回答した。

6.5.3 結果と考察

参加者の探索行動の指標である拡大観察された画像数の結果が図 6.13 に示されている。両条件の拡大回数を t 検定で比較した結果、有意差が得られた ($t(11)=5.59, p<.01$)。実験 6 と同様に 3 次元画像の観察回数は 2 次元画像に比べて多かった。この実験の教材では実験 6 とは違い 3 次元画像を拡大しなくてもマップスライド上で立体視することができたため、単に 3 次元画像を観察したいという理由で提示次元間の差が生じたのではないと考えられる。すなわち、この結果は拡大表示される 3 次元画像を注視する意欲や対象に対する興味が向上したためと推測される。したがって、この効果は 3 次元映像の意欲的機能の仮説をより積極的に支持するととらえられる。

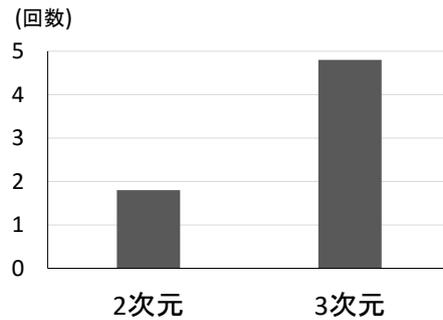


図 6.13 実験 7 の拡大画像の平均観察回数の結果

拡大画像の平均観察時間の結果が図 6.14 に示されている。この観察時間は画像の最大表示ウィンドウが開かれていた継続時間である。両条件とも観察時間は数秒程度であり、参加者は拡大画像を詳細に観察していたことがわかる。条件間の差は有意傾向であり、3次元画像の観察時間がやや長いことが認められた ($t(11)=1.59, p<.1$)。参加者の画像に対する興味の程度は観察回数により強く反映されており、観察時間には顕著に効果を示さなかったと考えられる。

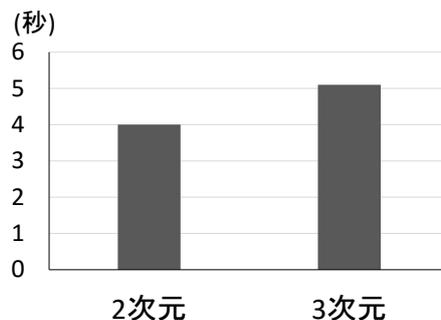


図 6.14 実験 7 の拡大画像の平均観察時間の結果

実験 6 と実験 7 の拡大観察割合は図 6.15 のようにまとめられる。実験 7 の 3次元画像の拡大観察割合は実験 6 と比較すると 20 ポイントほど少なかった。この原因はマップウィンドウ上の 3次元画像と説明文の提示の有無にあると考えられる。実験 6 では 3次元画像を観察するには拡大画像を表示することが必要であったため、3次元画像の観察希望によって拡大表示が一定の割合増加したと考えられる。一方、実験 7 の結果と合わせて考察すると、画像の 3次元提示によって画像を観察する意欲と対象を理解する意欲がともに促進されたと示唆される。

画像とスライドショーに対する印象評価の結果が図 6.16 に示されている。画像の「見やすさ」と「スライド操作性」に関する評価はともに中間値の 4 点よりも大きく良好な結果であった。そのため、この実験教材のように 3 次元画像と 2 次元画像および文章を組み合わせたスライド構成であっても、学習者は容易に理解することができ、その操作も円滑であることが示唆された。この実験では汎用性のある Office ソフトによって画像を提示していた

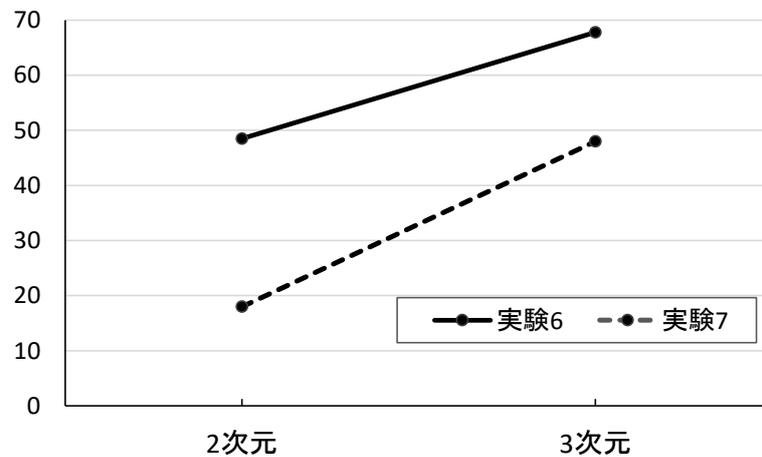


図 6.15 実験 6 と実験 7 での拡大画像の観察割合の結果

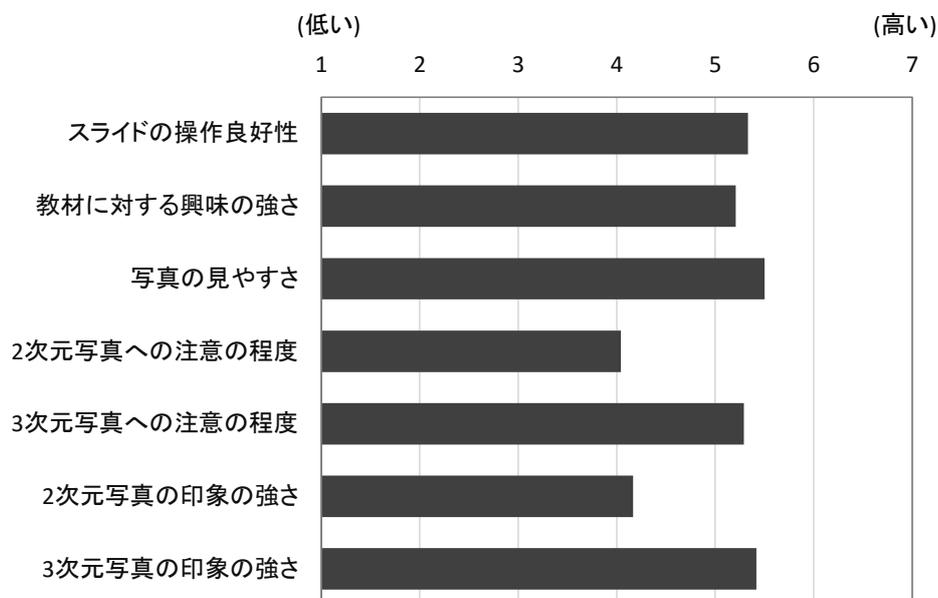


図 6.16 実験 7 の画像とスライドショーに対する印象評価の結果

ため、今回と同様の偏光方式ディスプレイと提示装置に合わせた 3 次元映像を準備することによって、専用のソフトウェアを用いなくても 3 次元映像を授業に利用できる可能性が示された。

提示条件間の印象評定値を t 検定によって比較した結果、「写真への注意」の項目で有意差が得られ、注意の程度は 2 次元画像に比べて 3 次元画像の方が大きかった ($t(23)=3.98$, $p<.01$)。「印象の強さ」に関する項目においても条件間に有意差があり、3 次元画像の印象がより強かった ($t(23)=3.6$, $p<.01$)。このため、今回のスライド教材において 3 次元画像の注意優位性と臨場感の強さが示された。この実験では 2 名の参加者が同時にスライドを観察しており、複数の学習者が観察する条件で 3 次元映像の意欲的機能が有効であることを確かめた。

6.6 総合論議

この章の実験結果から、3 次元映像は観察意欲や学習教材に対する興味を高めやすいことが明らかにされた。この効果は実験 4 で検証されたように映像対象の観察経験によらないと考えられる。こうした興味の高さは映像を注意して見続ける時間や画像を探索的に観察する回数といった学習行動に反映されることが実験 5 から実験 7 を通じて示された。

実験 4 の印象評定の結果から、注意喚起や意欲向上の効果は 3 次元映像の印象の強さから生じていると考えられる。すなわち、両眼立体視という映像観察に固有な要因のためであるととらえられる。一方、3 次元画像の観察回数に伴う行動変化を検証した実験 5 の結果から、この効果の一部は 3 次元映像を視聴する機会が少ない新奇性のためであると推測される。

参考文献

- 赤堀侃司 (2002). 教育工学への招待—教育の問題解決の方法論 ジャストシステム
- Berlyne, D. E. (1958). The influence of complexity and novelty in visual figures on orienting responses. *Journal of experimental psychology*, 55, 289-296.
- Berlyne, D. E. (1960). *Conflict, arousal, and curiosity*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Connolly, M. R., & Harris, L. (1971). Effects of stimulus incongruity on children's curiosity as measured by looking time and expression change. *Psychonomic Science*, 25(4), 232-234.

- Henn, J. S., Lemole Jr, G. M., Ferreira, M. A., Gonzalez, L. F., Schornak, M., Preul, M. C., & Spetzler, R. F. (2002). Interactive stereoscopic virtual reality: a new tool for neurosurgical education. Technical note, *Journal of Neurosurgery*, 96(1), 144-149.
- James, K.E., Burke, L.A., & Hutchins, H.M. (2006). Powerful or Pointless? Faculty versus Student Perceptions of PowerPoint Use in Business Education. *Business Communication Quarterly*, 69(4), 374-396.
- 神宮英夫 (1996). 印象測定 of 心理学—感性を考える— 川島書店
- Kaspar, M., Parsad, N. M., & Silverstein, J. C. (2013). An optimized web-based approach for collaborative stereoscopic medical visualization. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 20(3), 535-543.
- Leckart, B. T. (1966). Looking time: The effects of stimulus complexity and familiarity. *Perception & Psychophysics*, 1, 142-144.
- Leckart, B. T., & Bakan, P. (1969). Reliability of looking time. *Perception & Psychophysics*, 5, 313-314.
- 岡本俊雄 (1993). マルチメディアと CAI システム 清水康敬 (編著) 教育情報メディアの活用 (pp.57-86) 第一法規
- Olney, T. J., Holbrook, M. B., & Batra, R. (1991). Consumer responses to advertising: The effects of ad content, emotions, and attitude toward the ad on viewing time. *Journal of Consumer Research*, 440-453.
- Oostendorp, A., & Berlyne, D. E. (1978). Dimensions in the perception of architecture: II. Measures of exploratory behavior. *Scandinavian Journal of Psychology*, 19(1), 83-89.
- Price, C. A., Lee, H. S., & Malatesta, K. (2014). Stereoscopy in Static Scientific Imagery in an Informal Education Setting: Does It Matter? *Journal of Science Education and Technology*, 23(6), 721-734.
- Russell, A. (1975). Interrelations among response frequency, looking time and rated interest with visual stimuli. *Australian Journal of Psychology*, 27(3), 251-256.
- Vendeland, J. & Regenbrecht, H. (2013). Is there any use in stereoscopic slide presentations? In *Proceedings of the 14th Annual ACM SIGCHI_NZ conference on Computer-Human Interaction*.

第7章 総合論議

7.1 3次元映像の教育効果

本論文では3次元映像を教育メディアとしてとらえ、映像の特性を心理学、教育工学の理論と関連づけて検討を行い、その教育効果が学習対象の理解に関する認知的機能と学習者の動機づけに関する意欲的機能の2要因からなるモデルを提唱した(3.5節)。この枠組みに基づいて3次元映像を教育に利用する意義を授業での導入事例や実験から実証的に検証した。この際に3次元映像独自の教育効果を明確にするには2次元映像との差異が重要であり、その比較検討を重ねてきた。

7.2 3次元映像の認知的機能

認知的機能を検証するために用いられる方法には、学習内容の理解度や学習成績といった客観的測度と学習者の判断や自己評価による主観的測度がある。客観的測度に基づく先行研究では3次元映像の優位性を示している結果がある一方、必ずしも2次元映像と明確な差とはなっていない結果もある。本論文の実験1では学習内容の再認に提示次元間の差が認められなかった。この原因として3次元映像の画質と学習内容(コンテンツ)が関わっていると考えられる。画質の問題として、映像の解像度や色彩の再現性の低下、左右映像間のクロストークなどによって3次元映像の認知的機能が少なくなることが考えられる。現在の映像技術レベルではフルハイビジョンの解像度でクロストークの少ないフルカラーの3次元映像を作成することが可能であり、この画質に近い水準の映像を提示することが望ましい。この条件を十分満たしていない実験1のアナグリフ条件や他の先行研究では画質の問題から3次元映像の効果を示せなかったと理解することができる。また、学習内容の問題として単眼視による奥行き理解の手がかりが十分備わった映像を用いた実験では、提示次元による差異が明確になりにくかったと考えられる。客観的測度において映像の提示次元の有意な効果が生じるためには、3次元映像の立体視によって2次元映像にない奥行き知覚をもたらすことが重要な要件であろう。このため、先行研究で3次元映像の効果が認められた学習領域が複雑な形状や空間関係の理解を必要とする医学や地学などに限られやすかったと考えられる。一方、3次元映像には立体物の認識だけではなく人間の表情や動作の把握にも効果があることが認められており、新たな学習分野での活用をさらに検討する必要がある。

学習者の評価に基づく主観的測度では、実験2と実験3で示されたように3次元映像と2次元映像の間に認知的機能の差があった。すなわち、3次元映像の視聴によって立体的

印象や臨場感が高まった。この結果は学習者が普段見ている 2 次元映像との差異を意識して 3 次元映像の効果を肯定的に評価したためと考えられる。客観的な測度では特定の学習内容で提示次元の効果が生じているのに対して、主観的測度では学習内容や分野に関わらず 3 次元映像の優位性が示されやすい。このため、主観的測度で評価される学習者の達成感や授業満足度に 3 次元映像は寄与しうると考えられる。客観的測度と主観的測度での結果の相違については今後の研究課題である。

7.3 3次元映像の意欲的機能

3次元映像の意欲的機能について、先行研究では学習者の主観的評価に基づいて検証されていた。本研究では実験 4 において印象評定の結果から 3次元映像が対象への興味を強めることを示した。一方、実験 5 と実験 6 および実験 7 では画像の観察持続時間や観察回数といった客観的指標を用いて、3次元映像が学習の動機づけや自発的学習行動を高めることを明らかにした。また、実験 4 と実験 5 では対象の新奇性に関わりなく 3次元映像によって学習意欲が向上することが認められた。従来の研究では 3次元映像の意欲的機能についてはあまり厳密に検討されてこなかったが、本論文の結果からこの機能の妥当性がより明確に示された。6章の実験を通じて 2次元映像との差が安定的に示されたことから、3次元映像の意欲的機能は映像の利用方法にあまり依存しないと考えられる。この点は学習内容によって効果が変動しうる認知的機能と対照的である。

3次元映像の意欲的機能の成立要因には様々な可能性がある。映像を視聴する機会が一般に少ないという新奇性の高さも一因ではあるが、両眼立体視に起因する不調和や印象の強さといった特性がこの機能を維持していると考えられる。そのため、学習者の意欲を高めるためにも 3次元映像の画質を向上することや学習コンテンツに 3次元映像の特性を反映することが重要であると考えられる。

7.4 3次元映像の教育利用の課題

3次元映像を教育利用するにはハードウェアとソフトウェアの課題が考えられる。ともに標準化された利用環境が定まっていないことが 3次元映像の広範な利用を妨げている要因となっている。本研究を通じて、多くの教育機関で利用しやすい統一した環境を整備する課題は以下のように解決されうることが示された。

ハードウェアの課題解決として、授業で多様な学習者が 3次元映像を観察することを想定すると、立体メガネは単純な機構で安価であることが望ましい。この条件を満たすのはメガネに電子シャッターを必要とするアクティブな形式ではなく、偏光方式などのパッシブ

な形式である。本論文の実験では偏光方式のディスプレイを用い、これらの実験で 3 次元映像が学習に有効と考えられる結果を示してきた。したがって、偏光方式による提示方法は教育利用に適合していると考えられる。実験 1 では実験者が提示装置を組み立てたが、その後の実験では市販のディスプレイを提示装置に用いている。これは 3 次元映像の社会的普及を背景としている。ただし、本論文では比較的少人数の参加者が映像を観察する環境で検証を行っている。今後、大型ディスプレイやプロジェクターを用いた一斉授業での利用についての検討が必要である。

近年普及が期待されている HMD は個別利用の形態になるが、広い視野での 3 次元映像の視聴が可能である（深井, 1998）。スマートホンと簡易ビューアーを組み合わせることで 3 次元映像を提示する方法も開発されている。観察者の顔の向きや動きに連動して映像を変化することもできるため、3 次元映像のもつ臨場感がより顕著になる可能性がある。

ソフトウェアの課題解決として、3 次元映像の提示には特殊なアプリケーションソフトを必要としないことが教育利用には望ましい。実験 7 で検証したように映像の形式を提示装置に合わせることで PowerPoint の機能のみで 3 次元映像を提示することが可能になる。こうした汎用性のあるソフトウェアでの教育利用の方法を開発することがさらに重要である。

また、3 次元映像の学習コンテンツに関する課題がある。立体視の基礎となる左右映像間の視差量を適度に維持することは、教材を実用化する上で必須である。そのためには撮影時の機器の調整や提示環境に合わせた編集など 2 次元映像にはない技術が必要となる（河合・盛川・太田, 2010）。3 次元映像専用のハードウェアを用いる場合でもこうした専門知識が不可欠である。本研究では撮影対象ごとに実験者が立体感を調節した上で予備実験によって映像の画質を検討する手続きをとった。学習コンテンツを利用する前にその映像の 3 次元特性を確認しておく必要がある。さらに、3 次元映像としての表現技法や演出効果によって、視聴の印象は変化する（七丈・羽倉, 2011）。3 次元映像にふさわしい学習コンテンツを制作することが重要である。

7.5 今後予想される 3 次元映像の教育利用の効果

3 次元映像は現状では教育メディアとして十分普及していない。この原因は複数あると考えられる。第一に 3 次元映像自体が一般社会への広がりを見せていないことである。デジタル化された 3 次元映像の一時的な過熱感が過ぎた後、家庭や学校での視聴の可能性は高まっていない。第二に 3 次元映像の学習コンテンツが不足していることである。公開されている 3 次元映像の種類が限られており、独自コンテンツの作成にも技術的な困難がある。

第三に 3 次元映像を利用するにはコストが必要であって、これに見合うだけの利用価値が教育関係者に十分認識されていないことである。3 次元映像の教育利用に関する研究が少なく、その学習達成機能が多くの教育者に共有されていない。

こうした状況は 3 次元映像の教育利用に正負の両面の意味をもつ。ネガティブな面は 3 次元映像が限られた教育機関でのみ利用されているため、その教育効果を発揮する機会が少ないことである。一方、ポジティブな面は 3 次元映像に対して学習者の新奇性が高い状態が続いていることである。実験 5 で検討したように、観察機会が少ないため学習者の興味が高まる一因となっている。また、人間工学の観点から学習者の視覚的な負担や疲労を高めないよう適切な視聴環境の整備が必要になるが、現時点では専門知識を有する限定された教員が 3 次元映像を利用していることが多いため、授業で安全性に関する問題は生じにくくなっている。

3 次元映像は認知的機能と意欲的機能という 2 つの教育効果をもつと考えられるが、その機能は映像の普及や研究の段階によって異なっていることが考えられる。

第一段階は 3 次元映像の技術を発展するための研究が中心で、3 次元映像を試行的に教育に利用していた時期である。アナログ映像が利用されていた年代とデジタル映像技術を採用し始めた 2000 年代までが相当する。この段階では技術的に画質の向上が大きな課題であった（尾上・池内・羽倉, 2006）。そのため、教育メディア研究では 3 次元映像の認知的機能を高めることが研究の主要なテーマであった。実験 1 で示されたように認知的機能は画質と密接に関連しているためである。また、研究ごとに撮影や提示の機器は異なっていることが多かった。

第二段階は 3 次元映像のデジタル技術がある程度確立してきて、利用の普及がすすんだ時期である。2010 年前後から現在までが相当する。3 次元映像の質が安定的に良好になり、その認知的機能を果たすことが技術的に十分可能になった。また、3 次元映像の視聴環境を整えやすくなり、授業で利用することが比較的容易になった。映像機器が市販されたことによって、研究間で共通した環境を構成できるようになった。この段階では 3 次元映像の教育実践を積み重ねて、効果的な利用方法を実験的に検証していくことが課題である。実験 2、実験 3 および実験 7 で吟味したように、2 次元映像で利用されている提示方法を取り入れることやマルチメディアの一部として用いることはこの段階で実用的に研究できるようになった。また、実験 2 と実験 3 で試みたように 3 次元映像を利用する学習分野を新たに開拓することも課題であるといえよう。

次の第三段階では 3 次元映像の教育利用が定着していく時期になると予想される。そのためには、3 次元映像の学習コンテンツの質と量を高めることや映像を視聴するソフトウェ

アやハードウェアの共通した環境を確立することが重要である。

今後、視覚的教育メディアはより高精細の映像や広視野の画面、インタラクティブな提示などの点でさらなる発展が見込まれるが、3次元映像がもつ特性はこれらの技術から得られる要素とは異なっている。両眼立体視による認知的特性は他の映像とは質的に異なっており、観察意欲も高めやすい。このため、今後も3次元映像が教育メディアの中で引き続き独自の役割を果たすと考えられる。

参考文献

深井克明 (1998). 立体ヘッドマウントディスプレイ (HMD) 映像情報メディア学会誌, 52(7), 912-913.

河合隆史・盛川浩志・太田啓路・阿部信明 (2010). 3D 立体映像表現の基礎—基本原理から制作技術まで— オーム社

尾上守夫・池内克史・羽倉弘之 (編) (2006). 3次元映像ハンドブック 朝倉書店

七丈直弘・羽倉弘之 (編著) (2011). S3D 制作の基礎と応用～実写からアニメまで～ 経済産業省委託事業・平成22年度「コンテンツ産業人材発掘・育成事業」報告書別冊

謝 辞

本論文をまとめるのにあたり、多くの方からご指導と励ましをいただいたことに感謝を申し上げます。

神戸大学大学院海事科学研究科、嶋田博行教授には研究遂行のご指導と論文執筆の激励を賜りました。ここに心より感謝の意を表します。また、同大学院研究室の皆様には貴重なご助言をいただきました。厚く御礼申し上げます。

本論文に関わる研究業績

1. 論文

河村壮一郎 (2009). 方式の異なる 3 次元画像提示と 2 次元画像提示によるスライドショーの印象や内容理解の相違 日本教育工学会論文誌, 33(Suppl.), 169-172.

河村壮一郎 (2012). 3 次元画像と 2 次元画像間の印象と観察持続時間の比較 日本教育工学会論文誌, 36(Suppl.), 133-136.

2. 国際学会発表

Kawamura, S., & Shimada, H. (2014). Practical use of 3D images in the interactive slideshow to study traditional buildings, 22nd international conference on computers in education (ICCE) Proceedings, 1025-1027.

3. 国内学会発表

河村壮一郎 (2009). 面接練習における自己の立体映像の利用 日本教育工学会第 25 回大会論文集, 441-442.

河村壮一郎 (2010). 3 次元映像を利用した自己のロールプレイの振り返り 日本心理学会第 74 回大会論文集, 1196.

河村壮一郎 (2010). スライドショー観察時の立体画像の注視時間の長さ 日本教育工学会第 26 回大会論文集, 951-952.

河村壮一郎 (2011). 3 次元映像におけるスプリット・スクリーンの印象 日本感性工学会第 13 回大会予稿集(CD-ROM).

河村壮一郎・嶋田博行 (2014). 画像の提示次元が教材の探索行動に与える影響—スライドショー画像の観察行動からの検討— 日本教育心理学会第 56 回総会論文集, 181.