画像処理による視覚能力レベルに応じたロービジョン再現環境に関する研究

A STUDY ON LOW-VISION ENVIRONMENT WITH VISUAL LEVEL
BY COMPUTER SIMULATED PICTURE

森 一彦*, 酒井英樹**, 戒田真由美***

Kazuhiko MORI, Hideki SAKAI and Mayumi KAIDA

We focused to develop the low-vision environmental simulation system in which subjects could experience moving through the environment in the condition of low vision. In this study, we have made the fundamental experiments on the validity of the environmental simulation system to evaluate the spatial legibility and the accessibility for low-vision person. We had examined three kinds of experiments as follows.

1. First experiment is measuring Reproducing Low-Vision (R-vision) with picture effect.
2. Second experiment is a validity study about the recognition of signage, steps and stairs.
3. Third experiment is a validity study about the way-finding in common space. Each experiment had been done with 40 subjects including 4 comparative groups of vision 0.6, 0.3, 0.1 measured by Landolt C.

Keywords : Computer simulated picture, Ability level of vision, Low vision environment, Spatial legibility, Way-finding

画像処理, 視覚能力レベル, ロービジョン再現環境, 空間のわかりやすさ, 経路探索

1. 研究の背景

1-1 社会的包摂と空間のわかりやすさ

近年、世界的に社会的包摂 (social inclusion) の政策³³⁾が求められる中で、欧州、特に英国を中心に障がい者、高齢者、子どもなど弱者に配慮したインクルーシブデザイン³⁴⁾が進められている。これは単に弱者の行為や動作を個別に支援するものではなく、家族や友人・隣人などのコミュニティと共に生活し、社会参加するための支援環境を整えることに主眼があり、都市環境全体の見直しを迫るものであるといえる。童話「モモ」¹⁾の中で示される効率優先の産業都市のように、新しくできあがった都市環境では従来の地域社会とは異なり、人間的なつながりが希薄で、弱者の社会的排除の問題が顕在化しており、例えば、オスカー・ニューマンは「まもりやすい住空間—都市設計による犯罪防止」²⁾のなかで、防犯の少ない安全な住環境の条件としてコミュニティの重要性を説くとともに、都市の階層構造がコミュニティ生成に影響していることを指摘している。

そのような状況の中、ケビン・リンチは都市構造における人間の心理面・認識面に着目し、「都市のイメージ」³⁾のなかで、都市のイメージャビリティを重要な要素として位置づけ、その構成要素のひとつとして「レジビリティ (わかりやすさ)」が重要であることを指摘した。このように、都市化にともなう人工的な環境の出現は、従

来の人間的な側面への配慮が乏しく、弱者を排除し、結果として犯罪や安全上の問題が発生する構造になったといえる⁴⁾。その解決は社会性や経済性などの問題が複雑に絡んで容易ではないが、都市や建築の物的な空間構成が少なからず影響していることも事実であり、その問題解決の手がかりとして「空間のわかりやすさ」が重要な要素のひとつである⁵⁾といえる。

1-2 ロービジョン者 (軽度・中度視覚障害) の公共空間・共用空間のわかりやすさ研究の必要性

都市の公共空間において、障害者や高齢者の利用を支援する環境整備が進められ、2006年にバリアフリー新法が制定されるなど、障害者や高齢者・子供も含むすべての人々が利用しやすく、自宅から目的の場所まで切れ目のないバリアフリーの整備が求められている。その中で、患者や高齢者などの生活の質 (QOL) 向上やリハビリに寄与する病院や老人ホームなどでのアートの試みや、レストランや談話コーナーの拡充、ヒーリングガーデンの付設など、共用空間の充実整備が注目されている⁶⁾。その共用空間では、疾患や障害のある利用者でも、安全が確保された上に、主体的に活動できることが重要で、そのためには空間の分かりやすさは必要な条件のひとつであるといえる。とりわけ視覚に関してみた場合、高齢者や入院患者にも視覚能力の低下を伴う場合が多く、全盲者対応のみでなく、

* 大阪市立大学大学院生活科学研究科 教授・博士 (工学)

** 大阪市立大学大学院生活科学研究科 准教授・博士 (理学)

*** 大阪市立大学大学院医学研究科 講師・博士 (医学)

Prof., Faculty of Human Life Science, Osaka City University

Assoc. Prof., Faculty of Human Life Science, Osaka City University

Assoc. Prof., Faculty of Medical Science, Osaka City University

軽中度のロービジョン者にとって分かりやすい共用空間が求められている。

1-3 空間の分かりやすさ評価のための「疑似体験による点検評価法」

空間の分かりやすさは単にサインなどの情報配置のみでは達成されず、情報・場所・経路・空間構成の総合的対応が不可欠である^{7)、8)}。従って実際の多様な公共空間に対して画一的基準のみでは対応が困難であり、個々の公共空間ごとに評価点検する方法・技術が求められている。一方で、視覚障害者がすべての現場点検に参加することは現実的かつ倫理的に困難であり、それに代わる疑似体験による点検評価法が求められている。特に空間の分かりやすさの点検評価には、実際の環境に赴いて、試行的に利用し、その際の問題点を整理する「実環境点検法」と、計画中の図面をもとに仮想的に空間を再現し、それを疑似的に体験し、点検する「疑似環境点検法」がある。

ここで、疑似環境点検法の有効性が明らかになれば、実環境実験が難しい視覚障害者の系統的な実験が可能となり、各種の公共空間や地域での空間の分かりやすさに関する点検・評価が普及すると考えられる。疑似体験による分かりやすさ評価には実環境の場合との相違、特に視覚能力低下の特性の検討が不可欠である。健常者に対する実環境と疑似環境の比較実験⁹⁾があるが、視覚能力低下の状況がどの程度再現されるかは、十分には明らかにされていない。

1-4 本研究に関わる既往研究

視覚能力低下と空間認識や行動能力との関係を検討した研究には視覚障害者の空間表象・空間把握と迷い^{15)、16)、17)}、全盲とロービジョンの移動様態¹⁸⁾、ロービジョン者の夜間歩行の実態や意識^{19)、20)}、などがなされている。その成果として、「視覚障害者の立ち止まりや手でさわって探す行為、壁にぶつかるなどの迷いは、曲がり角付近で多く発生する」、「移動では空間全体の地図よりも、曲がり角などの経路上の必要な部分での『手がかりとなる参照エレメント（以下、参照エレメント）』が重要である」、「屋外での移動で手がかりには誘導ブロック以外にも段差、塀、ガードレール、手すりなど環境内にある要素を参照エレメントとしている」、「夜間では安全をより優先し、周囲より輝度の高い視覚的な手がかりが重要である」、「より遠くの視覚的なものを活用できる晴眼者に比べ、視覚障害者は経路上にある参照エレメントを多く必要とする」、「全盲よりロービジョン者になるほど白杖や音、触覚的なものから視覚的なものが参照エレメントとなる」、「視覚障害者が多くの情報を参照する結果として、晴眼者よりゆっくりとした行動となり、移動時間が長くなる」など視力低下に伴う認知や行動の特性、移動の困難さ、環境要素（参照エレメント）の重要性が指摘された。今後、これらの得られた知見を現実の環境での点検や改善に生かすことが重要で、そのための方法が求められているといえる。

しかし、視力低下の再現環境に関する研究は極めて少なく、白内障疑似体験ゴーグルの見え方¹⁴⁾など装置開発研究に限定されている。建築空間内の移動や探索に着目したものとしては、本研究の関連研究¹²⁾のみである。ここでは、基礎的研究として高齢者の視力低下症状として「霧視」や「ぼやけ視」を再現し、経路探索における視認について検討している。今後、このロービジョン再現環境をより汎用性のあるものとするために、その特性や課題を明らかにする必要がある。

一方で、視力低下を考慮しない視覚的環境シミュレーションの研究

は継続的になされ、空間認知や探索行動の特性に関する各種の研究^{21)～31)}があり、再現環境の有用性が確認されている。しかし、①映像表現の簡略化、②視野の狭さ、③身体的移動の欠如、④一方的な映像提示など、実験環境の再現性に関する課題^{注4)}も明らかになっており、視覚的環境シミュレーションを活用する際にはその特性や有効性を予め想定することが不可欠であるといえる。

2. 研究の目的と構成

本研究は、我々が独自開発した疑似体験システム^{注1)}（図1）に視覚能力レベルに応じた画像処理法を組み込むことで、今まで極めて困難であった「視力低下レベルに応じたロービジョン再現環境」を開発することを目的とする。具体的には①眼科医の助言の下で白内障を想定した画像処理による再現手法を検討した上で、②その能力レベルに応じた再現視力を導出し（実験1）、その再現視力からみた③環境要素の識別率（実験2）と④経路探索能力の計測（実験3）を行い、ロービジョン再現環境の有効性、特に各指標の低下傾向について検討する。加えて、眼科診療では白内障の主症状である霧視について、①新聞の文字を読むために必要な視力は0.5程度とされ、一般的に矯正視力が0.5未満であればロービジョンとされており、さらに②矯正視力0.1未満では社会的には盲目状態に近く、移動については手探りや記憶から得られる情報が必要となるなど、視機能的に日常生活に支障が生じることが知られており³⁵⁾、これらの症状と本実験結果との整合性についても議論する。

図1 実験装置（WASS）

2-1 視覚能力レベルに応じた再現手法の検討

最初に眼科専門医（共同研究者）の助言^{注2)}を受けながら、視覚能力レベルに応じた視覚画像を試作する。各種の試作案について眼科医の診療事例に基づく評価を受けて、最も適した視覚能力レベルに対応する画像処理法を決定した。

実験対象の画像に視力低下を再現するためにAdobe社のPhotoshopのぼかし（ガウス半径）機能を用いて画像処理を行い、101段階（0~100pixel）のぼかし度の画像を作成した（図2）。ここで、ぼかし（ガウス半径）機能とは、各画素について、ガウス半径で指定した画素数（pixel）の2乗を分散とするガウス分布を重み付け関数として、周辺画素の階調値との加重平均を取ることで階調値の変化を平滑化する（つまりぼかし効果を与える）画像処理である³²⁾。この

ぼかし度	ランドルト環	新聞	駅構内	階段（上り）	階段（下り）
(pixel)					
0					
20					
40					
60					
80					
100					

図 2 実験対象のぼかし画像（101 段階から抽出）

表 1 質問項目

実験対象		質問項目
ランドルト環		ランドルト環の空いている方を答えて下さい。
新聞	人間	写真に何が写っているかを答えて下さい。
	大きな文字	文字を読んで下さい。
	小さな文字	文字を読んで下さい。
駅構内	看板（大文字）	看板の文字を読んで下さい。
	看板（小文字）	看板の文字を読んで下さい。
	男女	画像内の人物の男女を判別して下さい。
階段（上り）	段数	階段が何段あるか答えて下さい。
	手すり	画像に手すりがあります。どこにあるか分かれば答えて下さい。
階段（下り）	段数	階段が何段あるか答えて下さい。
	手すり	画像に手すりがあります。どこにあるか分かれば答えて下さい。

図 3 経路探索の実験環境

表 2 実験手順

手順	内容	評価項目							
		認知			行動		印象	最短経路発見	
		要素	方向定位	距離感	空間全体	探索時間	間違い	困難さ	
① WASS操作練習	被験者にWASSの操作を説明し、練習用の経路で自由に歩行させることにより、操作に十分に慣れさせた。								
② 設定経路誘導	設定経路のスタート地点で被験者に対して経路と各目的地点を記憶するように指示を行い、その後、被験者に実験者の指示に従い、WASS環境内で設定経路を歩行させることにより、経路と各目的地点を記憶させる。								
③ スケッチマップ描画	白紙にS棟の地図を描かせた。スケッチマップ描画の際に、東西・南北の2つの通路の距離をスケッチマップの中に数字で記入させた。特に、単位がない数字を記入した場合、実験者が口頭で単位を書くように指示した。	○ スケッチ マップの 要素数		○ スケッチ マップに 記載され た距離	○ スケッチ マップの 全体像				
④ 設定経路探索	被験者に学習したとおりに経路を歩行させた。実験者は被験者の後方から行動を調査・時間計測する。歩行中に経路を間違った場合、目的地点を間違った場合、実験者が間違いを説明し、正しい経路を教え、歩行を続行させた。探索歩行中、スタート地点と各目的地点において方向定位実験を行った。		○ 方向定位			○ 設定経路 探索と最 短経路探 索の合計 時間	○ 間違いの 回数		
⑤ 最短経路探索	設定経路探索課題の直後に、被験者に対して最短経路で第2目的地点に向かうように指示を行い、被験者に自身の考える最短経路で第2目的地点を探索させ、行動を調査・時間計測した。								○ 最短経路 の発見方 法（実験 中の観察 と実験後 のインタ ビュー）
⑥ インタビュー	実験中の行動に関してインタビューを行った。どのように考えて経路を進んだか、どのように各目的地点を記憶していたか、なぜ経路を間違ったのかなどについて詳細に質問した。またその際に、探索の難しさをどのように感じたかという印象評価も行った。							○ 印象評価	

処理法は、本来、カメラレンズの焦点のズレによる「ボケ」をソフトウェア上で再現するものであるが、本研究では、これを視力低下の再現画像として用いるものである。図2に示す通り、ガウス半径が大きいほど、広い範囲で階調値が平滑化され、ぼかし効果が強まることから、以下、ガウス半径をぼかし度の指標として記述する。ただし、あるぼかし度が、どの程度の視力低下に対応しているかは、必ずしも明らかではないため、まず実験1(2-2節)において、ぼかし度と視力低下との対応付けを行った。

2-2 再現視力の測定実験（実験1）の概要

最初に1m離れた位置からランドルト環^{注3)}を見せて、識別実験を行った。まず、はじめにランドルト環群（視力0.1~1.0）に101段階のぼかし（0pixel~100pixel）をかけた画像1010サンプルを準備した。ぼかし度の低い順から検査を行い、ランドルト環群の中で識別できた最小のランドルト環の視力を各ぼかし度の再現視力と定義した。被験者は矯正視力1.0以上の21~24歳の10名（男性4名、女性6名）である。

2-3 環境要素の識別実験（実験2）の概要

図2（右側）のように新聞（写真の人間・大きな文字・小さな文字）、駅構内（男女の識別・看板の大きな文字・看板の小さな文字）、階段上り（段数・手すり）、下り（段数・手すり）を提示し、実験1と同様に両眼視で1.0以上の視力の被験者10名で識別実験を行う。表1に示す質問項目によって、実験対象の画像が識別できるまでぼかし度の強いものから順にぼかし度の弱いものへと段階的に移行し、正答が得られた際のぼかし度を特定した。

2-4 経路探索実験（実験3）の概要

(1) 実験環境

実験環境として、図3の0大学のS棟の建物を疑似体験システムWASS上で再現した。その空間内に、スタート地点から三つの目的地点を経由してスタート地点に戻ってくるコースを設定した（以後、設定経路と称す）。この建物は2つの棟が廊下で連結された3階建ての建物で、1階はロの字型、2階はコの字型につながり、3階は2棟が並行して分かれる構成となっている。各廊下は中廊下形式のため視覚的に建物全体を見通すことは難しく、また各廊下は同種の研究室・実験実習室が配置されているため類似した環境状況であり、建物内部は単純な構成ながら迷路的な特徴を持っている。したがって経路探索では、経路上の分岐点の特徴や折れ曲がり順番などの手続的認知、経路長さの距離認知、「自分がどの棟のどの階にいるか」などの空間定位、空間内の要素や目印の要素認知、建物の形に関する空間構成認知を組み合わせる必要がある。

(2) 実験の概要

実験では、ロービジョン再現環境の再現性を多面的にとらえるために、利用者が最初に施設を案内され、その後独力で施設利用する空間学習の過程を想定して、「設定経路誘導」、「設定経路探索」、「最短経路探索」の3段階の実験を行う。その実験手順は表2の通りである。実験で得られたデータは、表2（右側）に示すように、経路探索の評価項目に対応させて分析した。特に今回の比較実験では、サイン情報に大きく依存する初めての利用を想定したものではなく、繰り返しによる空間学習での相違に着目している。そのため被験者の空間認知能力や記憶力などの影響を受けやすい側面があり、被験者選定では偏りが生じないように配慮した。具体的には、被験者として空

間的な能力に差が生じにくいようにS棟に入ったことがなく、建築学や住居学の専門知識の無い両眼視で1.0以上の視力の18歳から23歳の男女30名を選定した。これらの被験者たちを無作為に10人ずつの3つの被験者群、画像にぼかし処理を行った再現視力0.6のグループWV0.6、再現視力0.3のグループWV0.3、再現視力0.1のグループWV0.1に分けた。

3. 実験結果

3-1 再現視力の測定実験（実験1）の結果

図4はぼかし度（pixel）とランドルト環の視力との関係を表したものである。図4から、ぼかし度と視力は負の相関関係を示し、ぼかし度が強くなると視力が低下する反比例の傾向があることがわかる。図5（左側）は視力0.1、0.3、0.6、1.0についてぼかし度ごとの識別率（各ぼかし度において識別できる被験者 / 全被験者 × 100%）の変化を示したものである。図中、黒色部分は横軸が識別率、縦軸がぼかし度を示しており、被験者のばらつきが大きいほど、段状部分が縦に長くなる。ここで識別率のばらつきを比較するために、被験者の80%が識別できるぼかし度を閾値とし、各視力のぼかし閾値を再現視力と定義した。本実験結果では、再現視力0.1はぼかし度93pixel、同様に再現視力0.3が28pixel、0.6再現視力が12pixel、再現視力1.0が6pixelとなった。

図4 ぼかし度と再現視力

3-2 環境要素の識別実験（実験2）の結果

新聞（写真の人間・大きな文字・小さな文字）、駅構内（男女の識別・看板の大きな文字・看板の小さな文字）、階段上り（段数・手すり）、下り（段数・手すり）の計10対象について、ぼかし度ごとの識別率を図5（右側）に示した。対象ごとにぼかし閾値（80%が識別できるぼかし度）が異なり、ぼかし閾値が小さいものは新聞および駅構内の文字であり、特に小さな文字のぼかし閾値は小さく、少しのぼかしで識別しにくいことが分かる。逆にぼかし閾値の大きいものは、新聞の人間、階段（上り、下りとも）の段数、手すりであり、人や物の識別は比較的ぼかしが大きくても可能で、図左のランドルト環と対応させると、再現視力0.3程度であれば新聞の人間や階段の段数は識別できるといえる。ここで、ランドルト環の再現視力ごとに、各対象の識別率を整理すると以下ようになる。再現視力1.0では、新聞の小さな文字以外はすべて識別できる。新聞が1mの距離にあることで小さい文字が識別しにくくなったと考えられ、実生活

図5 再現視力からみた要素の識別率

表3 経路探索実験の結果

評価項目		評価点	グループWV0. 6										グループWV0. 3										グループWV0. 1												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	度数	平均点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	度数	平均点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
認知	要素 (スケッチマップ要素数)	5 (10~9)											0												0										0
		4 (8~7)											1												0									0	
		3 (6~5)											6												1									0	
		2 (4~3)											3												6									1	
		1 (2~1)											0												3									9	
	方向定位	5 (12)											4												0									0	
		4 (11~9)											1												0									0	
		3 (8~6)											3												0									1	
		2 (5~3)											1												8									6	
		1 (2~0)											1												2									3	
	距離感	5											1												0									0	
		4											1												1									2	
		3											2												2									4	
		2											4												2									1	
		1											2												5									3	
	空間全体 (スケッチマップ全体像)	5											3												0									0	
4												2												1									0		
3												1												4									0		
2												4												2									4		
1												0												3									6		
行動	探索時間	5 (～06:00)										0												0										0	
		4 (06:01～09:00)											1												0									0	
		3 (09:01～12:00)											4												3									0	
		2 (12:01～15:00)											5												3									2	
		1 (15:01～)											0												4									8	
	間違い	5 (間違い0回)											6												0									0	
		4 (間違い1回)											2												4									0	
		3 (間違い2回)											1												4									0	
		2 (間違い3回)											1												2									2	
		1 (間違い4回以上)											0												0									8	
印象	困難さ感	5										0												0									0		
		4										3												0									0		
		3										1												0									0		
		2										5												5									1		
		1										1												5									9		
最短経路発見	5										2												0									0			
	4										3												1									1			
	3										1												1									2			
	2										4												8									5			
	1										0												0									2			

…両側5%検定。左隣の数値と有意差あり。

では 30cm 程度の距離で読むことを想定すれば、再現視力 0.6 ～ 0.3 の間に新聞の識別閾値があると推定される。再現視力 0.6 では、新聞の文字大が 20%、駅構内看板文字大が 90% と識別率が低下し、それ以外のものは依然として識別できる。再現視力 0.3 になると、新聞の人間が 80%、階段（上り）手すりが 90%、階段（下り）段数・手すりが共に 90% に低下し、完全に識別できるのは階段（上り）段数のみとなる。階段（上り）段数が識別されやすい理由は、階段に光があたることによって生じた明暗や、踏み面や手すりの色の対比によって識別しやすくなっていると推測される。再現視力 0.1 では、すべての対象が識別できなくなる。しかし、再現視力 0.1 ではまったくにも見えないことはなく、ランドルト環の輪郭や階段の存在など、ものや空間の形を認識することはできている。

また対象によって、被験者の認識できるぼかし度のばらつきが大きいものと、小さいものがある。ぼかし度のばらつきが大きいものは、新聞写真の人物、駅構内の男女識別、階段がある。その理由としては、実験対象全体が識別不可能であっても、一部分が識別できるとそこから全体を推測し回答したことが考えられ、個人個人の推測にばらつきがあったからと思われる。

3-3 経路探索実験（実験 3）の結果

表 3 は実験結果で、被験者ごとに各評価指標のポイント整理したものである。評価指標は、既往研究⁹⁾と同様の手順（表 4）に従って、5 段階の評価点に統一し、評価指標ごとにグループ WV0.6 と WV0.3、WV0.3 と WV0.1 の間で有意差検定（両側 5%）を行った。具体的には、実験でえられた「スケッチマップ」「経路間違い・目的地点間違い」「方向定位」「探索時間」「印象評価」「最短経路発見」の各データをポイント化した。その結果、視力低下にともなって評価点に有意な差がなかったものを「非低下型 (Ct)」、WV0.6-WV0.3 間、WV0.3-WV0.1 間のどちらかにあったものを「閾値型 (Sf)」、有意差が二箇所見られたものを「連続低下型 (Dn)」とした。（図 6）

(1) 「非低下型 (Ct)」の評価項目

再現視力が低下しても低下しない非低下型 (Ct) は、認知にかかわる距離感と空間全体である。距離感は各グループ間の平均点を見ると、グループ WV0.6 が 2.5 点、WV0.3 が 1.9 点、WV0.1 が 2.5 点となっており、再現視力が低下しても同程度の認識が可能であるといえる。これは、距離感が詳細な要素などの情報よりも、既往研究⁹⁾より通路上の要素の大きさや空間的な比率をもとに距離を推測する傾向があり、視力が低下して文字や細かな要素が見えなくても距離をある程度推測可能なことを示している。ただし、距離感は被験者間にばらつきが大きいのが特徴で、これは被験者の推測力の差が影響していると思われる。

空間全体の認知は、検定では有意な差は認められないものの、平均点ではグループ WV0.6 が 3.4 点、WV0.3 が 2.3 点、WV0.1 が 1.4 点となり、視力低下が空間全体を幾分把握しにくくしていることがわかる。空間全体の評価は表 4 で示すとおりスケッチマップから評価したもので、その内容には「経路正確さ」、「各地点の正確さ」、「内外の区別」、「対称性」、「階層の対応性」の 5 つの細項目がある。データを詳細にみると、「各地点の正確さ」と「内外の区別」の項目で低下傾向が他の細項目と比べて大きく、スケッチマップの中で詳細な場所や要素の認知には幾分の影響がある。

(2) 「閾値型 (Sf)」の評価項目

表 4 評価項目と算出方法

評価項目		
認知	要素 (スケッチマップ要素数)	スケッチマップに描かれている要素の数。探索歩行後に描き足されたものを含めて、スケッチマップ上に描かれている要素を抽出した。このうち実験環境を形成する主な要素 10 種類を抽出し、このうち何種類が経路学習直後のスケッチマップ上に描かれているかを 10 点満点で評価した。
	方向定位	設定経路上のスタート地点と 3 つの目的地点の計 4 地点において、相互に他の 3 地点に対して方向定位実験を行った。4 地点 3 方向の合計 12 の方向定位データを得た。被験者に各地点の方向を調査用紙の上に矢印を書かせ、実際の方向との誤差を計算した。方向定位誤差 30 度を基準値として、30 度以内を 1 ポイント、30 度以上を 0 ポイントとして、全 12 の方向定位データを加算集計したものである。
	距離感	スケッチマップに記入された距離と実際の距離との誤差を評価する。スケッチマップの距離感の評価として、被験者にスケッチマップの中に記入させた「距離の誤差」を分析した。「距離の誤差」はスケッチマップの中に数字で記入させた東西・南北の 2 つの通路の距離の合計をスケッチマップ距離とし、下式に従って誤差を算出した。 距離誤差 = (スケッチマップ距離) - (実距離) / (実距離)
	空間全体 (スケッチマップ全体像)	経路学習直後の被験者のスケッチマップを、以下に示すように、「経路の正確さ」、「各地点の正確さ」、「内外の区別」、「対称性」、「階層の対応性」からスケッチマップの正確さを多面的に分析した。
行動	「経路の正確さ」	スケッチマップに描かれている経路が実際の設定経路と合致すれば経路が正確であるとし、スケッチマップの経路が途中で切れて繋がっていない場合、経路が正しくない場合を正確でないとする。
	「各地点の正確さ」	設定経路のスタート地点と 3 つの目的地点の位置が正確に描かれている場合を正確とし、各地点の位置が正しくない場合、または各地点のどれか一つも描かれていない場合を正確でないとする。
	「内外の区別」	設定経路の中で内部と外廊下を歩く箇所について、内外の区別をもって描かれている場合を正確とする。
	「対称性」	平面形が対称に描かれている場合を、対称性があるとする。
	「階層の対応性」	1 階から 3 階にわたる設定経路の向きが揃っている場合を正確とする。具体的には、被験者のスケッチで 1 階・2 階・3 階の各廊下が実態と同様に平行に描かれている場合を「向きが揃っている」とし、逆に 2 階または 3 階部分が 1 階に対し、90 度振れて（回転して）描かれる場合を「向きが揃っていない」とした。
	探索時間	設定経路探索（方向定位実験中の時間は除く）と最短経路探索でかかった時間の合計を探索時間として分析した。探索時間の中央値に近い 12 分を基準にし、3 分間隔で 5 段階に分類した（6 分未満は評価点 5 点、6 分以上 9 分未満は 4 点、9 分以上 12 分未満は 3 点、12 分以上 15 分未満は 2 点、15 分以上は 1 点とする）。
印象	間違い	経路間違い・目的地点間違い。実験中、設定経路とは違う経路を選択した場合は「経路間違い」、目的地点ではない場所を目的地点と間違えた、あるいは目的地点を目的地点だと分からずに通り過ぎた場合を「目的地点間違い」とし、それぞれの回数を分析した。
	困難さ感	探索歩行後のインタビューで、被験者に探索課題全体の印象について「非常に困難」、「困難」、「普通」、「簡単」、「非常に簡単」の 5 段階で回答させ、それぞれを評価点 1 ～ 5 点とした。またその理由もあわせて質問した。
最短経路発見		第 2 目的地点への最短経路探索中の行動および探索歩行後のインタビューから、以下のように 5 段階に分類した。 5：探索歩行中に最短経路を二通り思いつき、第 2 目的地点へ到達 4：探索歩行前に最短経路を一種類思いつき、第 2 目的地点へ到達 3：探索歩行中に最短経路を思いつき、第 2 目的地点へ到達 2：最短でない経路で第 2 目的地点へ到達 1：第 2 目的地点へ到達できない

有意な差がどちらか一方にあり、もう一方にないという結果は、経路探索において何らかの閾があることを示している。今回の実験では被験者数の制約から 0.6、0.3、0.1 の間にある再現視力実験を行っていないため詳細な閾値の特定は困難であるが、グループ WV0.6 と WV0.3 の間に有意差がある場合、再現視力 0.6 まで能力が保たれているという意味で、再現視力 0.6 を閾値とし、同様に WV0.3 と WV0.1 の間にある場合、再現視力 0.3 を閾値として定義する。

・再現視力 0.6 が閾値となる評価項目

再現視力 0.6 が閾値となる評価項目は 方向定位、困難さ感、最短経路発見である。方向定位は、既往研究⁹⁾から身体的移動を伴わない擬似的環境での経路探索では方向定位が困難なことが明らかになっており、全体的に低い値となっている。その中で、再現視力 0.3 以下では各目的地点の位置を特定しづらくなり、それが方向定位を困難にしたと推測される。

最短経路発見は、空間の全体像をイメージして最短の経路を探す課題からの評価であり、前述の方向定位と類似した傾向になった。再

再現視力	識別率(%)				経路探索 (ポイント)														
					認知					行動					印象				
	看板文字大	看板文字小	階段(上り)段数	階段(下り)段数	要素	方向定位	距離感	空間全体	探索時間	間違い	困難さ感								
					1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5			
0.6	90%	0%	100%	100%	2.8	3.6	2.5	3.4	2.6	3.3	2.6					3.3			
0.3	0%	0%	100%	90%	1.8	1.8	1.9	2.3	1.9	3.2	1.5					2.3			
0.1	0%	0%	0%	0%	1.1	1.8	2.5	1.4	1.2	1.2	1.1					2.2			
低下タイプ	Sf	Sf	Sf	Sf	Dn	Sf	Ct	Ct'	Dn	Sf'	Sf'					Sf			

◀ は有意差あり（両側5%検定）を示す

図6 再現視力から見た経路探索能力

現視力0.3以下ではグループWV0.6は5人が迷うことなく最短経路で到達したのに対し、WV0.3、WV0.1共に1人と、結果に大きな差がでるとともに、探索実験後のインタビューでWV0.3、WV0.1の被験者から「一度通った道でないと迷いそう」との発言も見られた。

困難さ感からも、方向定位、最短経路発見と同様の結果がうかがえる。その理由として、WV0.6の被験者は「だいたいの道は見えた」など発言があった一方、WV0.3では「どの場所も似たように見える」、WV0.1では「目印がないから道を覚えられない」、「色・明暗しか分からない」と意見があった。またWV0.3とWV0.1には共通して「今どこにいるのか分からない」との発言も見られた。このことから再現視力0.3以下では、空間内の要素の特定ができないため、方向定位や空間把握が困難になることが分かる。

・再現視力0.3が閾値となる評価項目

再現視力0.3が閾値となる評価項目は行動における間違い（回数）である。間違い回数は、WV0.6からWV0.3、WV0.1の順に、経路間違いと目的地間違いが共に多く、経路探索が難しくなっていく。特にWV0.3とWV0.1の間には有意な差異がある。これは、再現視力0.1では、空間内の要素だけでなく、経路の判別も難しくなることが影響している。

(3)「連続低下型・Dn」の評価項目

WV0.6とWV0.3、WV0.3とWV0.1の両方に有意差がある連続低下型の評価項目は、要素の認知と探索時間であった。要素の認知ではスケッチマップに描かれた要素数から評価しており、それらが再現視力が低下するとともに連続的に減る傾向がある。ここでスケッチマップの内容として、各群の被験者の半数以上が描画した要素についてみると、WV0.6では階段・廊下・2階の渡り廊下・扉・中庭、WV0.3では階段・廊下・2階の渡り廊下、WV0.1では階段・廊下であり、視力が低下するごとに細かな要素が少なくなっていく現象が現れている。

探索時間は、各群間に大きな差異がみられ、再現視力が低下するにつれて認識できる目標物が減り、空間全体像の把握や経路の記憶が困難になり実際に迷ったことを示している。WV0.6で12分未満は5人、WV0.3で12分未満は3人、WV0.1で12分未満は0人と連続的に探索時間が長くなり、探索が難しくなる傾向がある。

3-4. 再現視力からみた経路探索の特性

実験のまとめとして、識別実験結果（看板と段差）と対応させて経路探索実験結果を整理したものが図6である。全般的傾向としては、

再現視力の低下にともなって「探索時間が長くなる」、「間違いが多くなる」、「困難さ感が増す」など経路探索が難しくなることが観察される。さらに、詳細にみると評価項目ごとに異なり、非低下型、閾値型、連続低下型に分類され、このことから再現視力のレベルによって、経路探索の方法や行動など特性が異なることがわかる。

再現視力0.6では、小さな文字以外の要素や空間を識別可能なことから、晴眼視の経路探索と大きな違いはないと推測される。ただし、今回の実験では対象としていない、細かな文字情報を取得する必要がある場合、迷いなど困難な状況が発生する可能性がある。

再現視力0.3では文字・記号のサイン情報の取得は困難であるが、階段の段差のようなものの形や空間の輪郭は認識できるため、経路探索は実行可能であるが、類似した要素の区別はしにくいため、自分がどこにいるか分からず、方向定位がしにくくなり、結果として迷い感が増す傾向がある。

再現視力0.1では、環境から得られる情報が少なく、目印や経路そのものの判別がむずかしく、結果的に「まっすぐ行って右」のように進む手順を覚えて、進むという方法に頼るようになるなど、再現視力0.3に比べ経路記憶が困難になる。これらの結果は、眼科医の診療経験からの日常生活での症状とも類似した傾向を示している。

4. まとめ

本論文は、視覚能力レベルに応じたロービジョン再現環境の開発として、眼科医の助言を受けながら、画像処理による視力低下環境を作成し、ランドルト環、サイン、段差などの識別実験および経路探索実験を行うことで、再現される視力の測定と、対象の識別率の低下傾向と閾値、経路探索能力の低下特性について検討した。その結果、明らかになった点を以下に示す。

4-1 ロービジョン再現環境と再現視力

白内障を想定したロービジョン再現環境を、画像処理のぼかし機能を用いて再現し、再現視力実験の結果、ぼかし度とランドルト環視力との強い負相関（反比例関係）を確認できた。さらに、被験者の80%が識別できるぼかし度を閾値とし、各視力のぼかし閾値を再現視力と定義した。それにより、再現実験では白内障の程度を再現視力で表すことを可能とした。

4-2 環境要素の識別率の低下傾向

日常的によくみる新聞、駅構内の人や看板、段差に対して識別実験

を行い、すべての対象において、再現視力が低くなると識別率が低下する傾向が見られた。対象によって、識別できる閾値がことなり、新聞や駅構内の文字は再現視力 0.6 で識別が困難になるが、新聞の人や階段の段数・手すりは再現視力 0.3 まで識別識別が可能である。再現視力 0.1 では文字や段数、手すりの識別は困難であるが、空間の形は識別可能であった。本実験によって視力が低下するにしたがって文字、人や階段、空間の順に識別しにくくなることが確認できた。また、男女の区別、手すりの有無など推測を必要とする対象は、人によって判断がわかれやすく、識別率のばらつきが大きくなる傾向があることがわかった。

4-3 経路探索能力の低下特性

経路探索能力の評価指標として、要素の認知、方向定位、距離感、空間全体の認知、探索時間、間違い、困難さ感、最短経路発見をあげ、おのおのについて低下傾向を分析し、それらの総合として経路探索能力の低下特性を考察した。全般的傾向としては、再現視力の低下にともなって「探索時間が長くなる」、「間違いが多くなる」、「困難さ感が増す」など経路探索が難しくなることが再現された。

さらに詳細にみると、再現視力のレベルによって経路探索特性が異なってくる。再現視力 0.6 では、晴眼視の経路探索と大きな違いはないが、細かな文字情報を取得する必要がある場合、迷いなど困難な状況が発生する可能性がある。再現視力 0.3 では文字などのサイン情報以外の、階段の段差のようなものの形や空間の輪郭は認識できるため、経路探索は実行可能であるが、方向定位がしにくく、自分がどこにいるか分からなくなり、迷い感が高まると共に新しい経路を発見することが困難になる。再現視力 0.1 では、環境で得られる情報が少なく、目印や経路そのものの判別がむずかしくなり、結果的に「まっすぐ行って右」のように進む手順を覚えて、進む方法による経路探索になる。都市空間において健常視、全盲者、ロービジョン者など多様な利用者を包摂する空間のわかりやすさの実現には、均質な空間に記号的なサイン情報を配置するのではなく、各所にロービジョンでも活用できる階段・段差、交差部や折れ曲がりのような空間的な手がかりが有効であることが示唆された。

4-4 今回実験の限定条件と今後の課題

今回の結果は、実際の視力低下者による実験ではなく、独自開発した実験装置 (WASS) に白内障を想定した画像処理を加えたロービジョン再現環境におけるケーススタディであるが、眼科診療で知られている「新聞の文字を読む視力は 0.5 程度」「矯正視力 0.1 未満では盲目状態に近く、移動については手探りや記憶から得られる情報が必要」の日常生活症状は、本実験で新聞の閾値が再現視力 0.6 から 0.3 の間、段差の閾値が再現視力 0.3 と 0.1 の間にあることと類似し、また再現視力低下に伴う経路探索能力の低下特性は視覚障害の既往研究とも一致する結果となっており、一定の有効性を確認できたといえる。ただし、実験上の制約から再現視力 0.6、0.3、0.1 の経路探索に限定しており、経路探索能力の各評価指標の正確な閾値の特定まではできなかったなど課題を残している。今後の実際の視力低下者との検証や閾値の特定については、今後の課題としたい。

さらに、本研究では視覚能力レベル間での違いに着目し、同じ再現手法をもとに実験 1～実験 3 を行ったが、実験 1・実験 2 は静止画による識別実験、実験 3 はビデオ動画による移動実験であり、実験条件に違いがある。ロービジョン再現において静止状態と移動状態

では視認性に差異があるか、さらには、その差の程度など、実験条件の影響についても、今後の確認が必要であることを追記する。

注

- 1) 実験環境 WASS (Way-finding Active Simulation System)¹⁰⁾ はビデオ画像を連続的に再生し、それを眺めることで空間を疑似的に体験¹¹⁾ する装置である。被験者は分岐点で任意の方向の経路を自身で選択できるため、能動的な空間体験が可能である。また、視力検査を行う環境の基準値は輝度 300cd/m²、室内照度 50 lx 以上であるが、今回の識別実験の環境は、ディスプレイの制約上ディスプレイ輝度 200cd/m²、室内照度 50 lx とした。Panasonic 社の高精画プロジェクト TH-AE2000 を用いてスクリーンの背面から画像を投射する。その際のスクリーンのサイズは縦 1378mm、横 1840mm で、被験者はスクリーンから 1000mm 地点を中心にして置かれた椅子に着座し、設問に回答した。本研究で活用する WASS 環境は、視野が左右 45 度の 90 度に限定されるが、ビデオ映像により CG・模型に比較しより詳細な環境要素を再現することができる点、被験者自身で経路選択し能動的に探索できる点において、再現性に有利な点を備えている。また、ビデオ機器による記録・再現の容易さを備えており、今後広く活用が期待される。
- 2) 視覚障害を引き起こす誘因は眼球や視神経の疾患内容が多種にわたり、その症状も網膜色素変性、加齢黄斑変性、強度近視、糖尿病網膜症、緑内障、白内障、視神経萎縮、角膜炎、網膜剥離、脳血管障害など極めて多様である¹³⁾。このような状況において、視覚障害の一律な基準による環境評価は困難であるが、眼科医の症例経験から重要な視覚障害として白内障症状（霧視）を選出・再現し、それに基づく再現実験を行うこととした。特に今回の実験では、視覚障害の結果として生じる視覚能力の低下を測定し、視力低下の程度と行動変化との相関関係を検討することで、視力低下した人の視認や経路探索行動の一般特性を検討した。
- 3) ランドルト環の視力検査では 5m に検査対象（ランドルト環）を設置するが、画像投影装置の制限によって検査対象と被験者との距離を 1m とした。視力検査では対象の大きさと距離には比例関係があることから、今回の実験ではランドルト環を 1/5 に縮小して対応した。
- 4) CG による視覚的環境シミュレーションとしては、探索行動における注視²¹⁾²²⁾ や探索要因²³⁾ に関する研究、認知地図や空間認識・記憶に関する研究²⁴⁾²⁵⁾、街路景観や住空間・構造体空間の印象・イメージ評価に関する研究²⁶⁾²⁷⁾²⁸⁾ などがある。また、模型ビデオによる視覚的環境シミュレーションとしては、模型内の超小型カメラ撮影による移動を再現しその際の視覚的映像の有効性に関する研究²⁹⁾ や経路探索方略に関する研究³⁰⁾ などがある。さらに、CG と模型とを組み合わせた視覚的環境シミュレーションとして、CG 画像と模型画像を合成した視覚シミュレーションの開発に関する研究³¹⁾ がある。このように視覚的環境シミュレーションの研究の広がりが見られ今後の展開が期待されるものの、現時点では基礎的な研究にとどまっている。特に再現性に関して 1 映像表現の簡略化、2 視野の狭さ、3 身体的移動の欠如、4 一方的な映像提示などが実環境との相違の生じる要因としてあがっている。

参考文献

- 1) ミヒヤエル・エンゲ、大島 かおり（訳）：モモ、岩波書店、1976
- 2) オスカー・ニューマン、湯川 利和 湯川 聡子（訳）：まもりやすい住空間―都市設計による犯罪防止 鹿島出版、1976.
- 3) ケビン・リンチ、丹下 健三、富田 玲子（訳）：都市のイメージ、岩波書店、1968.
- 4) ジェーン・ジェコブス、黒川 紀章（訳）：アメリカ大都市の死と生 (SD 選書 118)、鹿島出版会、1977.
- 5) Romedi Passini: Wayfinding in architecture, John Wiley & Sons Inc, 1988.
- 6) 杉山大：シェアード・スペース-共用空間、アーバン・アドバンス、No. 50, pp. 53-60, 2010.
- 7) 舟橋國男：建物内通路における経路探索行動ならびに空間把握に関する実験的研究、日本建築学会計画系論文報告集、No. 429, pp. 61-72, 1991. 11.
- 8) 渡邊昭彦、森一彦：探索行動における探索方法と空間情報との整合性に関する分析、日本建築学会計画系論文報告集、No. 454, pp. 96-102, 1993. 12.
- 9) 森一彦、野原祐介、柴田良一、小池啓高：探索型ビデオ環境シミュレーションの再現性に関する考察、日本建築学会計画系論文集、No. 586, pp. 57-63, 2004. 12.
- 10) 柴田良一、八田真助、森一彦、今村頭：建築空間の経路選択を評価するた

- めの仮想空間シミュレーションシステムの開発, 日本建築学会技術報告集, No. 22, pp. 539-542, 2005. 12.
- 11) 今村顕, 森一彦, 宮野道雄: 環境適応における繰り返し経路探索と環境要素に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 599, pp. 65-72, 2006. 1.
- 12) 今村顕, 森一彦, 柴田良一: 高齢者にみられる視覚障害の再現と空間のわかりやすさ評価に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 621, pp. 49-56, 2007. 2.
- 13) 丸尾敏夫, 西信元嗣, 増田寛: 眼科学辞典, メディカル莫出版, 1991.
- 14) 池田光男, 久住亜津沙, 小浜朋子, 篠田博之: 白内障疑似体験ゴーグルによる色票の見えの変化, 日本色彩学会誌, vol. 27, No. 2, pp. 113-124, 2003. 6.
- 15) 横山勝樹, 野村みどり: 視覚障害者の空間表象に関する研究-経路後述におけるスキーマの抽出, 日本建築学会計画系論文集, No. 522, pp. 195-200, 1999. 8.
- 16) 知花弘吉, 亀谷義弘, 荒木兵一郎: 模擬経路における視覚障害者の歩行と立ち止まり, 日本建築学会計画系論文集, No. 606, pp. 57-62, 2006. 8.
- 17) 知花弘吉, 亀谷義浩, 荒木兵一郎: 探索歩行における迷いと空間把握-模擬経路における視覚障害者の歩行と立ち止まり-その2, 知花弘吉, 日本建築学会計画系論文集, No. 628, pp. 1237-1242, 2008. 6.
- 18) 松田雄二, 西出和彦: 全盲とロービジョンの大学生の移動様態に関する研究 - 大学キャンパスにおける事例研究 -, 日本建築学会計画系論文集, No. 614, pp. 105-112, 2007. 4.
- 19) 市原考, 原田敦史, 松本泰幸, 小平泰宏: 人にやさしい道路環境に関する研究 - ロービジョン者の夜間歩行に関する研究 -, 福祉のまちづくり工学研究所報告集, 2002.
- 20) 田中直人, 岩田三千子: 夜間歩行におけるロービジョン者の意識と街路空間の視環境調査, 日本建築学会計画系論文集, No. 613, pp. 89-94, 2007. 3.
- 21) 鈴木利友, 岡崎甚幸, 徳永貴士: 地下鉄駅舎における探索歩行時の注視に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 543, pp. 163-170, 2001. 5.
- 22) 鈴木利友, 岡崎甚幸地: 地下鉄駅舎とその仮想現実空間における探索歩行時の注視と歩行行動の比較, 日本建築学会計画系論文集, No. 555, pp. 199-205, 2002. 5.
- 23) 徐華, 松下聡, 西出和彦: 経路選択の要因の分析, 日本建築学会計画系論文集, No. 534, pp. 109-115, 2000. 8.
- 24) 徐華, 松下聡, 西出和彦: 認知地図の特性, 日本建築学会計画系論文集, No. 545, pp. 109-115, 2001. 7.
- 25) 蒲地輝尚, 浅見泰司, 岡部篤行: 経路記憶に関する実験的分析 - コンピュータ・シミュレーションによる歩行実験 -, 第23回日本都市計画学会学術研究論文集, pp. 7-12, 1988.
- 26) 鄭在熙, 奥俊信, 舟橋國男, 小浦久子, 木田道宏: パーチャルリアリティを用いた街路景観の移行変化と評価に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 503, pp. 163-169, 1998. 1.
- 27) 小野浩史, 森川泰成: 仮想住環境シミュレーションシステムの開発, 日本建築学会技術報告集, No. 14, pp. 171-176, 2001. 12.
- 28) 神津康之, 鈴木信宏: 覆い構造体空間のイメージとその空間構成要因のCG実験調査, 日本建築学会技術報告集, No. 14, pp. 255-258, 2001. 12.
- 29) 松本直司, 山本誠治, 山下恭弘, 瀬田恵之, 谷口汎邦: 模型空間知覚評価メディア(シミュレータ)の有効性, 日本建築学会計画系論報告文集, No. 432, pp. 89-97, 1992. 2.
- 30) 添田昌志, 大野隆造: 視環境シミュレーションによる経路探索の方略に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 512, pp. 73-78, 1998. 10.
- 31) 大野隆造, 青木宏文, 添田昌志: CG画像と模型画像の合成による視覚シミュレーション, 日本建築学会技術報告集, No. 12, pp. 135-138, 2001. 1.
- 32) 高木幹雄, 下田陽久監修: 新編画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, pp. 1743-1745, 2004.
- 33) 福原宏幸編: 社会的排除 / 包摂と社会政策, 法律文化社, 2007.
- 34) Peter Hall, Rob Imrie: Inclusive Design: Designing and Developing Accessible Environments, Taylor & Francis, 2001.
- 35) 高橋広編: ロービジョンケアの実際-視覚障害者のQOL向上のために, 医学書院, 2006.

(2010年10月9日原稿受理, 2011年4月5日採用決定)