

# 視覚障がい者の空間認知教育のための情報技術を用いた建築模型の製作 A method of making building scale model using Information Technology for spatial perception education of visually handicapped

○大西 康伸\*<sup>1</sup>, 福岡 怜大\*<sup>2</sup>  
Yasunobu Onishi\*<sup>1</sup> and Ryota Fukuoka\*<sup>2</sup>

\*1 熊本大学大学院先端科学研究部 准教授 博士 (学術)

Associate Professor, Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University, Ph.D.

\*2 熊本大学大学院自然科学教育部 博士前期課程

Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University

キーワード：視覚障がい者；空間認知；触察；ビジュアルプログラミング；BIM

Keywords: Visually handicapped; spatial perception; palpation; visual programing; building information modeling.

## 1. 研究の背景と目的

現在の視覚障がい者の空間認知教育では、触覚による立体物観察（以下、触察）と歩行経験から得たイメージの擦り合わせによって、建築内部の経路把握を促している。しかし、触察教材として主に用いられる触地図は平面の経路把握に特化しており、立体情報を含んだ建築空間の認知教育は行われていない現状にある。

建築設計案を伝える際に用いられる建築模型を視覚障がい者の空間認知教材として用いた場合、視覚から情報を得ることを前提に製作されていることから、以下のような問題がある。1. 触察から得る情報が多い場合混乱を招く恐れがある、2. 逆に触察では必要な情報が得られない場合がある、3. 触察に耐えうる十分な強度がない。

そこで本研究では、視覚障がい者の空間認知教育に用いる新たな触察模型の仕様や製作方法を提案し、製作した模型の評価を行う。

## 2. 触察模型の仕様の検討

K 盲学校協力のもと、2016 年 7～11 月の期間内に盲学校教諭（6 名、内視覚障がい者 3 名）に 5 回のヒアリングを実施し、触察模型から優先的に取得すべき情報を整理し、模型の仕様を検討した。

触察に耐えうる強度確保のために、レーザ加工機でカットしたアクリル板によって触察模型を製作する。また、部屋のつながりだけでなく、部屋単位の特徴の把握を容易にするために、各部屋のパーツを着脱できる仕様とする（図 1）。触察模型の仕様を図 2、図 3、表 1 にまとめる。また、実際に製作した校舎模型と配置模型の写真を図 4 に示す。

## 3. 触察模型製作手法の検討

アクリル板を材料とした模型を製作するためには、立面図や展開図に基づきカッティング用データを作成し、レー

ザ加工機を用いてカッティング後、専用接着剤を用いて組み立てるという手順を経る。本研究では、アクリル模型製作の手間を削減するために、触察模型の対象となる建築を BIM ツール（オートデスク Revit2017、以下 Revit）を用いて三次元モデリングを行ったのち、触察模型のすべてのパーツのカッティング用データを、BIM データから自動的に作成するプログラムを開発した。

プログラムは、Revit 上で稼働する Graphical Algorithm Editor（以下、GAE）である Dynamo および汎用三次元 CAD である Rhinoceros のプラグインである同じく GAE の Grasshopper を用いた。Dynamo は Revit で作成したモデルの属性情報を取り扱うことが可能であるため、それを利用し対象建築のデジタルモデルからパーツデータの作成に必要な情報を取得し書き出す。それを基に、Grasshopper によりパーツ図を生成し図形的処理を施したのち、レイヤー機能を用いてカッティング用のシートデータを作成する。提案する触察模型製作手法の流れを図 5 に示す。

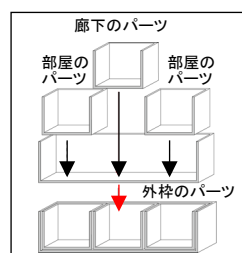


図 1 パーツの着脱の仕様

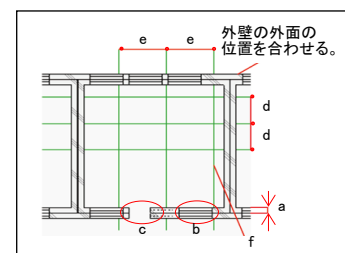


図 2 モデリング時の画面の一例

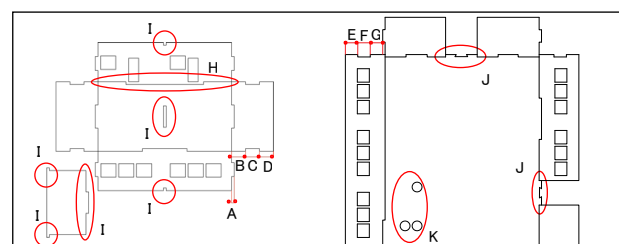
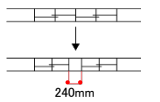

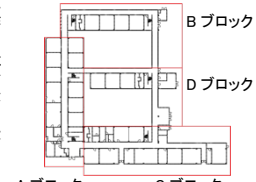
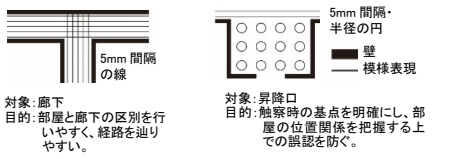
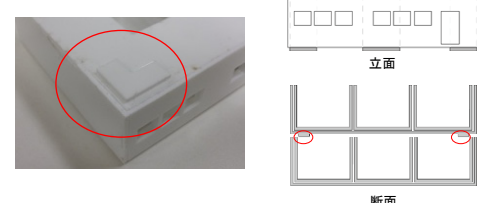


図 3 模型製作用図面の一例

表 1 触察模型の仕様

検討箇所	仕様と設定理由
スケール	スケール比較実験の結果から校舎模型を1/120で、既往研究 <sup>1)</sup> から配置模型を1/300で製作する。
アクリル板の厚み	触察に耐えうる強度を確保しつつ重さを軽減するために、2mmのアクリル板を使用する。
壁厚	1/120スケールで2mmのアクリル板を用いて模型を製作するため、入れ子部分は壁厚の半分を240mm(図2中のa、図3中のA)とする。間仕切りは壁厚を240mmとする。
窓の表現	幅は実寸、高さ1100mm、ガラスや障子は「なし」で開口のみで表現する(図2中のb)。他の開口と隣接している場合、240mmの間隔をとる。 
ドアの表現	幅や高さは実寸、ドアは「なし」で開口のみで表現する。(図2中のc)。他の開口と隣接している場合、240mmの間隔をとる。
エレベーター	2階のエレベーター部分の床をなくし表現する。
部屋パーツの底面の裏	利用者の学習意欲を高めるために部屋パーツを着脱可能とし、取り外した際の裏面に点字を模した凹凸をつくる。丸の直径や間隔は点字の規格を参照にして d:e=1200mm:1950mm(図2)で製作する(図2中のf、図3中のK)。  断面図 音楽室は「お」など、凸の形は室名と対応させる。
部材接合部の補強	一つの接合部に対して、凹部分を一つと凸部分を二つ、もしくは凹部分を二つと凸部分を一つ作成する。凹凸の寸法は、およそ B:C:D=1:1:1(図3)とする。外枠パーツも E:F:G=1:1:1(図3)だが、(B+C+D)=(E+F+G)+240とする。ただし、ドアを含む部分の接合部を作成する場合は、比率を変えて製作する(図3中のH)。
間仕切壁	床面に差し込み用の穴を、両壁に引っ掛かりとなる凹みを作る(図3中のD)。この際、壁面の凹凸の深さは240mm以上とする。
ブロックの結合部	レーザ加工機の最大切断範囲内に収めるために、模型を分割して製作し、つなぎ合わせる必要がある。そこで、底面をバズルのような形状にすることで(図3中のJ)、接着せずに分割して製作し、利用時につなぎ合わせる仕様とする。分割するブロックはゾーニングをもとに分割する。 
刻印による模様表現	床面の一部に、室用途に応じて模様を刻印する。これにより触察時に室用途の区別が付きやすく、ルートを辿る際の基点となる場所を確実に認知することができるため、より空間を把握しやすくなると思われる。  対象: 廊下 目的: 部屋と廊下の区別を行いやすく、経路を辿りやすい。 対象: 昇降口 目的: 触察時の基点を明確にし、部屋の位置関係を把握する上で誤認を防ぐ。 5mm 間隔・半径の円 5mm 間隔の線 a = 材厚 b:c:d = 1:1:1 e:f:g = 1:1:1 各部材図面の自動作成、接着用凹凸の自動作成 各パーツの寸法を Excel ファイルに書き出す。 1 モデルの読み込み 2 部屋の総数 3 刻印する部屋番号の決定 4 部屋寸法・座標の取得、配列へ格納 5 全ての部屋情報を格納したか 6 ドアの総数 7 ドア寸法・座標の取得、配列へ格納 8 全てのドア情報を格納したか 9 窓の総数 10 窓寸法・座標の取得、配列へ格納 11 全ての窓情報を格納したか 12 Excel 形式への情報の書き出し 13 全ての部屋を作成したか 14 ドアの総数 15 ドア線分の作成 16 全てのドアを作成したか 17 窓の総数 18 窓線分の作成 19 全ての窓を作成したか 20 カutting用データの書き出し 各部材図面の自動作成、接着用凹凸の自動作成 1 Excel データの読み込み 2 パーツ製作情報の値を取得 3 部屋の総数 4 図面の大きさの算定 5 図面配置位置の決定 6 床線分の作成 7 壁線分の作成 8 凹凸の作成及びパーツ番号の刻印 9 対象の模様の刻印 Cuttingレイヤーごとに bake 処理を行う Cutting用データ(ai) Cutting用データ(ai) Cutting用データ(ai)
上下階の結合部分	外枠パーツの裏に凸を作り、着脱可能とする。四隅と中央部分の補助パーツを製作し、外枠パーツの裏につけることで、1階と2階を固定する。 
階段	3Dプリンタで製作し接着する(図4)。
室名	各室を象徴するような家具の模型を、3Dプリンタで製作する。
屋根	フラットな屋根として製作する。上下階の結合部と同様にパーツの裏に凹凸を作り、着脱可能とする。
レーザ加工機の設定	加工の際2mm厚のアクリル板は熱によって変形してしまう場合があるため、アクリル板の中央付近から切り出しを開始するように設定する。

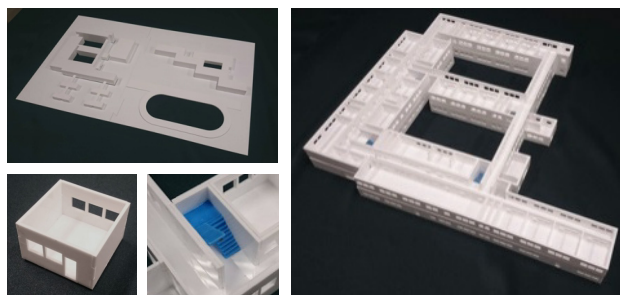


図4 模型写真(左上:配置模型、左下:部屋、中:階段、右:校舎模型)

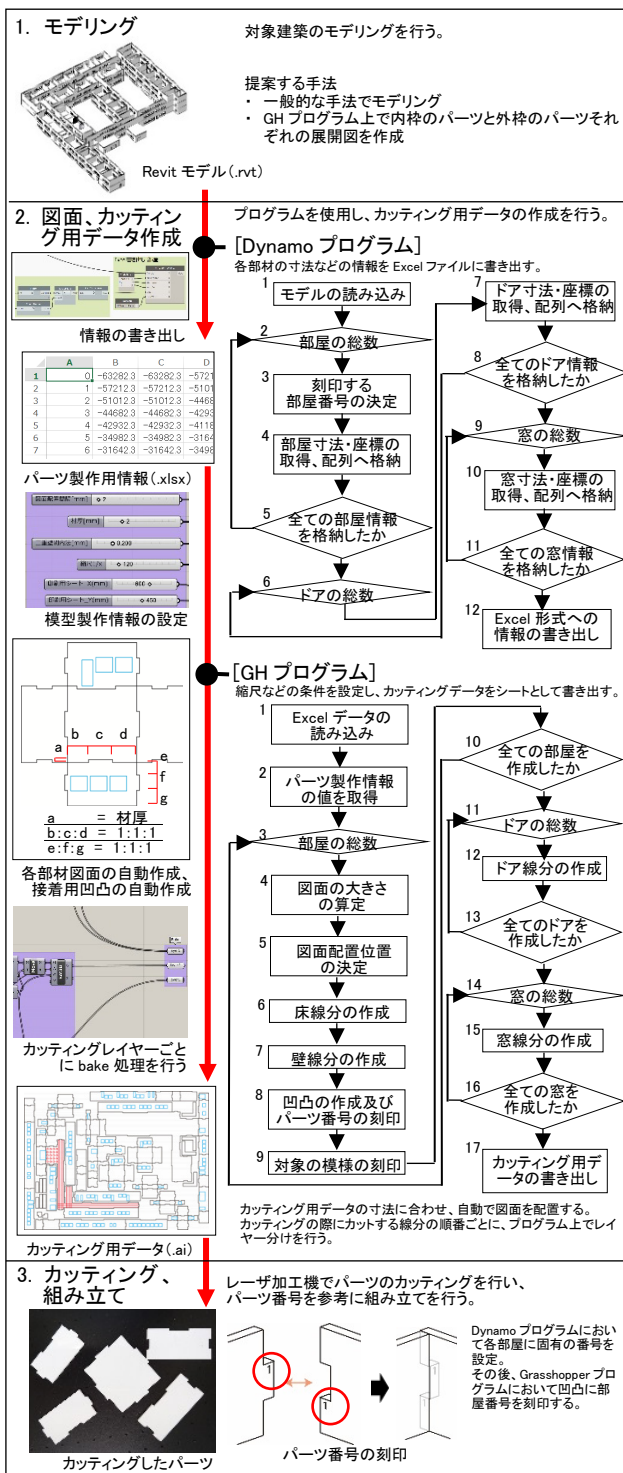


図5 触察模型製作手法

#### 4. 模型製作手法の評価

提案した手法を適用し K 盲学校校舎の触察模型の製作を行った結果、問題なく製作できることを確認した。プログラムを用いた自動処理により削減される所要時間について推察を行った結果、70%程度が削減されることが推察された。また、製作時間の短縮だけでなく、対象とする建築の規模や製作者の能力に影響されることが少なくなることが利点としてあげられる。

#### 5. 触察模型の基礎評価

##### 5.1. 教諭による基礎評価

製作した触察模型を用いて、視覚障がいのある盲学校教諭 3 名に触察実験とヒアリングを、健常者の盲学校教諭 15 名（内 K 盲学校教諭 5 名）にアンケートを実施し、模型の評価を行った。視覚障がいのある教諭には触察模型の触察後、「模型の仕様が適切であるか」、「位置関係や開口、動線等を模型から読み取ることができるか」を利用者の立場から評価するよう指示した。また、健常者の教諭には、「教育現場で児童の空間認知教育に利用できるか」を教諭の立場から評価するよう指示した。

その結果、「触地図と比較して空間認知を行いやすく、教材として十分使用できる」という評価が得られたことから、模型の仕様は概ね適切であると言える。

##### 5.2. 児童を対象とした触察実験

K 盲学校の児童 1 名（先天盲、12 歳）を対象に触察模型を体験する実験を行った。また、盲学校校舎内の行ったことのない部屋にたどり着けるかという検証を行った。その結果、ほとんど迷うことなくたどり着くことができた。従来の「歩行→建物の触察→理解」という過程ではなく、「模型の触察→理解→歩行」という過程で空間認知学習を促すことができたと考える。実験結果を表 2、図 6 に示す。

表 2 実験時の児童の様子

様子や発言	考察
1 配置模型の外部形状を手がかりに、校舎の平屋の部分と 2 階建の部分の理解ができた。	配置模型は建築全体の立体形状を容易に把握するのに有効であり、校舎模型と合わせて相互補助的な理解を促せる。
2 はじめは階段そのものを理解できなかったが、部屋の位置関係を把握した後、階段の位置や形状を把握できた。	歩行経験から身につけることができない、建築内部の各要素の形状や機能に関する知識を獲得できる。
3 校舎模型の 2 階を外した 1 階の触察時に、実験者は 2 階にある音楽室の場所を尋ねた。その際、実験者は音楽室がある周辺を手で示した。	被験者の頭の中で、立体的なメンタルマップの形成を促せたと考えられる。また、模型と実際の空間を結びつけた把握ができたと考えられる。
4 被験者ははじめて行く場所であるにも関わらず、ほとんど迷うことなくたどり着けた。	従来の「歩行→建物の触察→理解」という過程ではなく、「模型の触察→理解→歩行」という過程で空間認知学習を促すことができたと考えられる。歩行経験が無い経路の把握だけでなく、歩行経験のみでは理解できなかった「建築空間の繋がり」の理解を促せると考えられる。

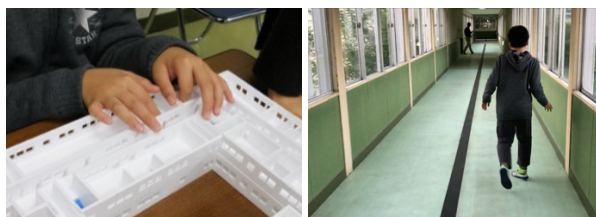


図 6 実験の様子(左:触察時、右:歩行時)

#### 6. 児童・生徒による触察模型の詳細評価

##### 6.1. 評価の方法

触察模型のより詳細な評価を行うために、複数の児童・生徒を対象とした触察実験を行い、得られた発話を分析した。本研究では、製品使用中のユーザの発話データ（プロトコル）を分析し利点および問題点を抽出する、発話プロトコル分析を用いて分析を行った。発話プロトコル分析は、①比較対象物が不要、②被験者の記憶力や表現能力に依存しない、③実験の評価項目が限定されない④製品使用中の利用者の思考を解明可能、といった利点がある。

##### 6.2. 実験概要

本実験では、K盲学校とS盲学校の児童・生徒を対象に、それぞれの盲学校校舎の触察模型を用いて、実験方法が異なる 2 つの実験（実験 1：二人一組を対象、実験 2：個人を対象）を行った。被験者の概要を表 3、実験概要を図 7 に示す。

表 3 被験者の概要

実験	学校	被験者	年齢	性別	視覚障がい	触察模型使用経験	
実験 1	K 盲学校	ペア	被験者 A	12 歳	男	弱視(光覚弁)	あり(5 回)
			被験者 B	13 歳	男	先天盲	あり(5 回)
		ペア	被験者 C	19 歳	女	先天盲	なし
			被験者 D	12 歳	女	先天盲	あり(5 回)
実験 2	S 盲学校	個人	被験者 E	30 代	男	弱視(手動弁)	あり(1 回)
		個人	被験者 F	16 歳	男	弱視(視野狭窄あり)	なし
		個人	被験者 G	10 歳	女	先天盲	なし
		個人	被験者 H	13 歳	女	先天盲	なし

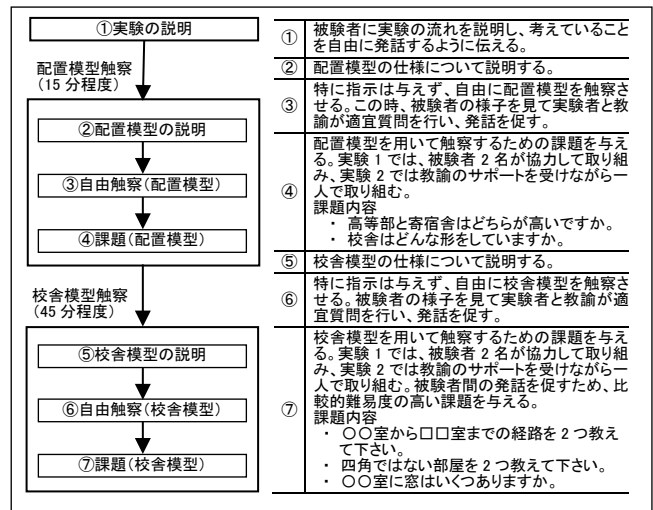


図 7 実験概要

##### 6.3. 実験結果

実験時の発話データから、触察模型の評価につながるシーケンスを抜き出し分析する。実験に使用する触察実験より、全 3,966 の発話（48,289 文字）が得られた。この中から触察模型の評価につながる発話を抜き出すと 1,338 発話（17,370 文字）、それらを発話時の状況がわかるように発話前後の内容を含めて一つのシーケンスとしてまとめると全 130 シーケンスであった。さらに、これらのシーケンスを被験者の行為や認知した内容ごとに分類す

ると、全 29 項目の内容が判明した。分析例を図 8、図 9 に、分析結果一覧を表 4 に示す。


 <p>分析結果(S-1) 配置模型を用いて建築物の全体形状を把握した</p>	<p>状況 被験者 A と B は配置模型を触察している。</p> <p>シークエンス</p> <p>1-74 A (校舎の屋根をなぞりながら)横、縦、横、縦 1-75 A 尻尾が生えてる 1-76 E 尻尾が生えてる 1-77 E ちょっと表現するのが難しいかな 1-78 T うーん 1-79 E さっき漢字の目みたいって言ってたけど、そう？かな？ 1-80 A 似てる 1-81 E 似てる？ 1-82 E B 君もそう思う？ 1-83 B あー、そういわれてみればそう</p> <p>解説 被験者 A、B は実験前に校舎の形状を「漢字の目」と話していたが、被験者 A は校舎の形状を「尻尾が生えている」(1-75)と表現し、より詳細に建築物の全体形状を把握した。</p>
--	---

図 8 分析例(S-1)


 <p>分析結果(S-17) よく利用する部屋を基点として理解を深めた。</p>	<p>状況 被験者 F は校舎模型を触察している。校長室の部屋パーツを外して触察しているが、校長室周辺の位置関係は把握していない。</p> <p>シークエンス</p> <p>7-472 T じゃ、校長室の場所ついでに覚えますか、そこ、ちゃんと、はめ、元に戻してはめてもらっていいですか 7-473 T そこらたどってもらって自分がわかると、たどってもらって (略) 7-478 T 位置関係はどうなってますかね 7-479 F 階段下りたらこう(教室からの道をたどる) 7-480 F 最初の階段を超えて 7-481 T うんうん 7-482 F 2 つ目の階段を超えて、で右に行って(校長室を触る)</p> <p>解説 被験者 F は初め校長室周辺の部屋の位置関係がわからなかったが、自分がよく使うエリアを基点に校長室の位置を把握した(7-482)。</p>
---	--

図 9 分析例(S-7)

表 4 分析結果一覧

シークエンス	シークエンスから判明した被験者の行為や認知した内容	同様の様子が確認された被験者割合(%)
S-1	配置模型を用いて建築物の全体形状を把握した。	100
S-2	校舎模型を用いて部屋の形状を把握した。	67
S-3	配置模型を用いて各棟の高さ関係を把握した。	100
S-4	校舎模型を用いて部屋の広さを把握した。	100
S-5	配置模型を用いて各棟の位置関係を把握した。	100
S-6	配置模型を用いた敷地内の位置関係の把握が困難だった。	43
S-7	校舎模型を用いて異なる階の位置関係を把握した。	100
S-8	校舎模型を用いて同じ階の経路を把握した。	100
S-9	校舎模型を用いて部屋の立体的位置関係を把握した。	100
S-10	校舎模型を用いて異なる階の経路を把握した。	100
S-11	校舎模型を用いて知らなかった開口部を発見した。	100
S-12	開口部の位置と数の把握に手間取ったが、部屋を取り外して触察することにより、正しく把握できた。	22
S-13	手の向きを変えた触察により理解を深めた。	33
S-14	校舎模型のブロックの分割・結合により、校舎全体の構成を把握した。	22
S-15	歩行経験と触察の擦り合わせにより部屋を特定した。	67
S-16	校舎模型を移動したことにより、基点を見失った。	56
S-17	よく利用する部屋を基点として理解を深めた。	100
S-18	複数の基点を利用して各部屋の位置関係を把握した。	33
S-19	階段やトイレを基点として各部屋の位置関係を把握した。	22
S-20	弱視の被験者が視認により、部屋の位置関係を把握した。	11
S-21	取り外した部屋の点字を読むことで室名を特定した。	80
S-22	取り外した部屋の点字を読むことが困難だった。	80
S-23	取り外した部屋をはめる際に、部屋の向きを間違えていることに気づけなかった。	29
S-24	校舎模型での部屋の着脱が困難だった。	86
S-25	校舎模型の部屋の着脱がスムーズであった。	29
S-26	配置模型の建物容易に外れたため、基点を見失った。	89
S-27	教諭がサポートした際に模型の角が指に当たり痛がった。	22
S-28	校舎模型を用いた廊下の触察が困難だった。	33
S-29	配置模型と校舎模型を混同した。	11

#### 6.4. 触察模型の利用効果と問題点に関する考察

分析結果をもとに、触察模型の利用効果と問題点について考察した。考察結果より、触察模型を利用することが建築内部の位置関係と校舎全体や部屋の大きさを把握することに効果的であり、触地図では把握することが難しい開

口部や立体形状の把握が可能であることがわかった(表 5、a-1~a-5)。また、触察模型の仕様が、空間認知学習に効果的であることが判明した(表 5、a-6~a-8)。さらに、立体情報の付加により、触察と歩行経験の擦り合わせが触地図と比較して容易であることが明らかになった(表 5、a-9)。以上より、触察模型は空間認知教育の教材として有用性が高いといえる。ただし、現在の仕様のままではいくつかの問題点があるため、改善の必要がある。

#### 6.5. 触察模型の改善案の提案

触察模型の利用効果と問題点に関する考察をもとに、改善案を提案する(表 6)。

表 5 触察模型の利用効果と問題点に関する考察

分類	考察内容	根拠となるシークエンス
利用効果	a-1. 校舎の全体形状と部屋形状を把握できる。	S-1, S-2
	a-2. 校舎全体と各部屋の大きさを把握できる。	S-3, S-4
	a-3. 敷地内の建物同士及び部屋同士の平面的、立体的位置関係を把握できる。	S-5, S-7, S-9, S-20
	a-4. 異なる部屋同士の経路を把握できる。	S-8, S-10
	a-5. 開口部の位置と数を把握できる。	S-11
	a-6. 部屋の着脱機能が、部屋形状や開口部のより詳細な把握を促す。	S-12, S-25
	a-7. 校舎模型の各ブロックを分割及び結合できる仕様が、校舎全体の位置関係の把握を促す。	S-14
問題点	a-8. 点字を模した凹凸が、室名を特定するのに効果的である。	S-21
	a-9. 立体教材利用することで、手の向きや基点を利用した触察など、触察と歩行経験の擦り合わせを促進させる。	S-13, S-15, S-17, S-18
	b-1. スケール感覚をつかむのに時間を要する。	S-6
	b-2. 触察時に模型がずれないようにする必要がある。	S-16
	b-3. 配置模型の着脱が緩く外れやすい。	S-26
	b-4. 点字を模した凹凸について、点字を読む向きがわかりにくい。	S-22
	b-5. 部屋の着脱機能について、現在の仕様では着脱が困難であり、間違った方向ではまった際に気づきにくい。	S-23, S-24
	b-6. 自身で利用する際には問題ないが、教諭がサポートして手を動かすだけが恐ろしい。	S-27
	b-7. S 盲学校の場合、現在の触察模型の仕様のままでは廊下が狭い。	S-28
	b-8. 2 つの模型を利用することによって、混乱が生じる可能性がある。	S-29

表 6 触察模型の改善案の提案

	提案内容
a-9	手の向きを利用した触察方法を活かすために、レーザー加工機の彫刻表現によって、廊下部分に進行方向がわかるような溝を刻印する。手の向きを意識した触察を促し、歩行経験との擦り合わせが容易になる。 基点となる部屋に、模様の刻印や着脱可能な添景を配置することで、基点を利用した触察ができると考えられる。また、弱視の利用者を想定して、添景を配置する際は、目立つ色や形状とする。
b-3	磁石を活用するなど、新たな着脱方法を改善する。
b-4	読む方向がわかるように点字を模した凹凸に下線を引く。これにより、点字を読む方向の間違いを無くすることができる。
b-5	部屋パーツをはめたときの感覚や音で正しくはまったことが分かるように、磁石の活用や立体パズルの仕様を参考に着脱方法を提案する。
b-7	中廊下の寸法を基準に廊下幅の検討を行っていたため、基準とする廊下幅の寸法を片廊下の法的最小寸法としてスケールを再検討する。また、スケールの他にも想定される学校の特徴を挙げ、その他の盲学校においても同様の製作方法を適用できるように検討を行う。現時点では、廊下幅、ベランダ、渡り廊下、スロープ、曲線のある壁などが挙げられる。

#### 7. 研究成果と課題

本研究の成果として、1. 触察模型の仕様の提案、2. 触察模型製作手法の提案、3. 発話プロトコル分析を用いた触察模型の評価と改善案の提案の 3 点があげられる。

展望として、公共建築や歴史的建造物などの学校建築以外の建築物への応用があげられる。

#### 【参考文献】

- 1) 辻尾留美、「縮尺と情報量についての基礎的実験 空間把握を促進する触知案内図の表示方法に関する その 7」、日本建築学会大会学術講演梗概集 (DVD)、建築計画、pp. 555-556、2014. 9、神戸