

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H01705

研究課題名(和文) 3Dプリンタを活用した視覚障害教育のための立体模型作成ネットワークの構築

研究課題名(英文) Networking for 3D data creation and printing for education of the blind using 3D printers

研究代表者

渡辺 哲也 (Watanabe, Tetsuya)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：10342958

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：視覚特別支援教育の教員からの要望に応じて、視覚障害教育において重要な触察用立体模型を多数開発した。教科別では社会、理科、理療教育用の模型の要望が多く、そのうち社会と理療向けの模型を数多く制作した。教材模型の種類と数を増やすため、3D全国ネットワークの構築に取り組んだ。その具体策は、シンポジウムを通じた教育従事者への3D模型の周知、3D印刷できる人材を育成するための講習会の開催、誰でも教材用3Dデータにアクセスできる3Dデータベースの開発である。更に立体模型と触図を用いた触察実験を行い、従来から用いられてきた線図よりも立体模型の方が短時間で、かつ正確に形状を理解できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的成果は、線図よりも立体模型の方が短時間で、かつ正確に形状を理解できることを触察実験で示したことである。中途失明の視覚障害者と晴眼者の両方に実験に参加してもらったところ、どちらの参加者群でも立体模型の優位性が同様に確認された。3Dプリンタで様々な種類の教材用立体模型を作成できることを示した社会的意義は大きい。教育関係者への周知と模型製作ができる人材の育成はまだ途中であるが、今後も3Dデータベースを充実させていくことで、3Dプリンタによる教材模型製作がより魅力的になれば、周知と人材育成は更に進み、その結果として、視覚障害児童生徒が触ることができる立体模型の種類が増えると期待できる。

研究成果の概要(英文)：Upon requests of teachers of visually impaired students, we developed a number of 3D models for tactile exploration. By subject, many requests arrived for models for social studies, science, and physical therapy education, of which many models for social studies and physical therapy were produced. In order to increase the variety and number of 3D educational models, we worked on the construction of a nationwide 3D network. Specific measures included disseminating information on 3D models to educators through symposia, holding workshops to develop human resources capable of 3D printing, and developing a 3D database that would allow anyone to access 3D data for educational materials. Additionally, we conducted a tactile experiment using 3D models and tactile diagrams, and showed that the shapes of 3D models can be understood more quickly and accurately than the conventional raised-line drawings.

研究分野：福祉工学

キーワード：視覚障害教育 立体模型 触察 3Dプリンタ データベース ネットワーク

1. 研究開始当初の背景

視覚障害教育において触って理解するための立体教材が重要なことは論を待たない。実際、視覚障害児の触覚経験を増やすために、これまで様々な市販の立体模型が使われ、また教員たちにより模型が手作りされてきた。そこに革新を引き起こすのが 3D プリンタである。これを使うことで、個人的・地域的・教科特有なため教材が販売されていなかったもの、形状が複雑で手作りできなかったもの、教材の数が少なく全員が同時に触れなかったものなどを、3D プリンタで作成してすべての児童生徒が触ることができる環境が整ってきた。しかし 3D プリンタ用の模型データを作成するには 3D CAD ソフトの技術が必要であり、視覚特別支援教育の教員が 3D データを作り、印刷するのは容易ではない。

立体模型が視覚障害教育で真に役立つためには、短時間で正確に形状が伝わらなくてはならない。研究代表者らの先行研究により 18cm 程度の大きなサイズの模型が視覚障害者に好まれたが、シンプルな形状の模型ではこれより小さい 12cm くらいのサイズでもよいという意見もあったことから、模型の複雑さに応じた適切なサイズを明らかにすることが望まれた。また別の先行研究では、2次元の触図より 3次元の模型の方が形状の理解が速かったが、その原因となる触り方の違いまでは調べられていなかった。

2. 研究の目的

視覚障害教育で役立つ 3D 模型と 3D データを多数開発することが本研究の目的である。多数開発するためには、3D データ作成と 3D プリンタ印刷技術を持ち、かつ特別支援教育に関心を寄せる人々に協力してもらい、立体模型のデータ作成と印刷をしてもらう。このような技術側と特別支援教育の連携を全国ネットワーク化し、3D データだけでなく、データ作成・印刷のノウハウ、問題点などの情報も共有する。

触察用の立体模型が教材として有効であるとは、教育の場で伝えたい内容が正しく、短時間で児童生徒に伝わることである。具体的には、模型の複雑さに応じた適切なサイズを明らかにする。2次元の触図より 3次元の模型の理解の正確性・速さの違いを、触図・立体模型の触り方にもとづいて説明する。これらの解明のための触察実験を行う。

3. 研究の方法

3D データ・模型の開発 研究代表者らがこれまでに作成した立体模型作成要望リストの中から選択して 3D データを作成する。また、研究代表者・分担者は視覚障害教育関係者との個別のつながりを利用して、教育現場で活用したい模型に関する情報を随時収集する。

3D 制作ネットワークの構築 視覚障害教育における 3D プリンタの活用に関心を寄せる人（模型を作ってみたい人と模型を作ってほしい人の両方）を増やすため、シンポジウム・講習会・研修会の開催、学会（視覚障害教育関係と福祉工学関係）での発表を積極的に行う。シンポジウム・講習会・研修会では、3D データの作成状況・利用状況を報告するとともに、作成上/利用上の課題を話し合い、情報共有を進める。

触察実験 (1) 模型の複雑さと触察に適切なサイズの関係を明らかにする実験では、模型として様々な形状の幾何図形を用い、3D プリンタで様々なサイズで印刷する。実験変数に模型の複雑度を、従属変数として形状理解の正答率と触察時間を用い、両データの相関関係を見出す。(2) 触図と立体模型の間の形状理解の違いを明らかにする実験では、幾何図形を用い、立体コピー（触知可能な点・線を作る専用紙）で触図を、3D プリンタでピース状の刺激を作る。触図と立体模型の違いによって生じる正答率と触察時間の差が有意であるかどうかを統計的に検証し、両者の間で違いが生じる原因をビデオ映像（手指の動きと発話）から考察する。

4. 研究成果

(1) **3D データ・模型の開発** 立体模型作成要望リストの中の要望、研究代表者・分担者が特別支援学校の教員から直接受けた要望、そして研究代表者・分担者自身の発案にもとづいて、視覚障害教育向けの立体模型を 3D プリンタで制作し、要望者に届けてきた。その 3D データは、Web からダウンロードしたもの、及びそれを修正したもの、発表者らが 3D CAD ソフトで制作したもの、3D スキャンしたもの、外部業者に制作委託したものに分類される。教科別では社会、理科、理療教育用の模型の要望が多く、そのうち社会と理療向けの模型を数多く制作した。以下、教科ごとに分けて紹介する。

社会 地理情報にもとづいて、立体日本地図（都道府県ごとの地形模型、図 1）、都道府県パズル、市町村パズル、政令指定都市区パズル、地形模型（海岸、山、広域）を制作してきた。都道府県パズルは都道府県ごとの地形模型の高さ情報をなくして平面にしたものである。どちらも裏面には磁石を埋め込む穴を作った。これにより黒板やホワイトボードに貼ることができるので、視覚障害児・者が意図せず触って動かしてしまうことを防げる。都道府県と同様な自治体地図のパズルとして、東京 23 区、名古屋市 16 区、大阪市 24 区、東京都多摩地区市町村（図 2）、新潟市 8 区、神戸市 9 区とその周辺市の市のパズルを制作した。

リアス式海岸の地形模型 2 種類を作成した（図 3）。海岸線に段差を設けて陸と海の境界を指でたどりやすくした点と、高さにより色分けし弱視生徒に見やすくした点の特徴である。ほかに山岳地帯の地形模型を多数作成した（図 4）。社会科の地理に関して、日本各地の山、盆地等、特色ある地形について、国土地理院が公開しているデータをもとに 3D データを作成した。日本

海洋データセンターが公開している日本近海の水深データをもとに南海トラフや日本海溝を含む海底の立体地形図データを作成した。



図1 都道府県ごとの地形模型 (216 万分の1)



図2 東京都市区町村パズル (15 万分の1)



図3 志摩半島リアス海岸模型 (9 万分の1、高さ2倍)



図4 高尾山模型 (2 万分の1、高さ2倍)

教科書に現れる建築物・建造物として、大仙古墳 (図5)、寝殿造り、城 (名古屋、大坂、姫路ほか、図6)、原爆ドーム (爆破前と後)、国会議事堂、海外の世界遺産建築物 (ノートルダム大聖堂、パルテノン神殿ほか) などを制作した。日本の建築物の理解の基盤とするため、基本的な屋根4種類 (切り妻・寄棟・方形・入母屋) の形状模型も製作した。

工芸品では阿修羅像、戦国時代の著名な肖像画 (フランシスコ・ザビエル、織田信長、豊臣秀吉、徳川家康) を立体化したものを外部委託で制作した。肖像画の模型からそれが誰であるかを読み取るのは難しいが、周囲の見える児童生徒が見ているものを知り、また当時の衣装を知るのには役立つ。

これらの模型は、教室内だけでなく、修学旅行先でも役立ってきた。



図5 大仙古墳の模型 (4500 分の1、高さ2倍)



図6 姫路城の模型 (333 分の1)

理科 卵分割モデル (受精卵、2細胞期、4細胞期、8細胞期、胞胚期の5種類)、赤血球、DNAの二重らせん (図7)、ニューロン、気象 (雲、図8)、小惑星、小惑星探査機はやぶさ2などの教材用3D模型を制作した。DNAの二重らせん模型の制作においては、触察で4種類の塩基を区別できるようにモデリングを工夫した。赤血球模型の印刷では柔らかい素材 (TPU: 熱可塑性ポリウレタン) を用いることで、血管の太さに応じて赤血球が変形する様子を表せるようにした。



図 7 DNA 二重らせんの模型

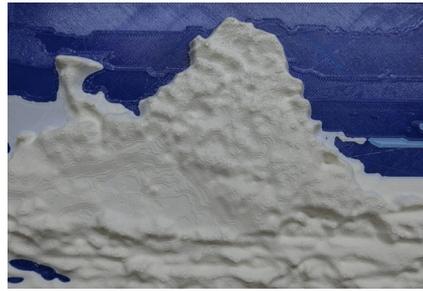


図 8 入道雲の模型

数学 小学段階用に体積を求めるための直方体と立方体を組み合わせた立体、中学段階用に正多面体 5 種と正多面体の各頂点を適当な高さで切断することでできる切頂多面体 (図 9)、高校段階用に積分による体積の計算を理解するための回転体の模型 (図 10) などを制作した。

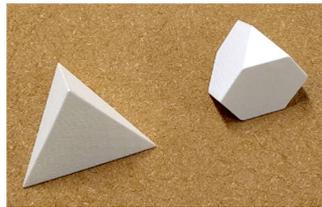


図 9 正四面体・切頂四面体



図 10 回転体の模型

国語 小説『羅生門』のモデルである「羅城門」の復元設計図をもとに、3D データと印刷物を外部業者に制作してもらった (図 11)。その模型を生徒に触ってもらったところ、「門」という語が連想させる薄い扉ではなく「建物」であることに驚いたという報告を受けた。正確な事物の理解のためには言葉による説明だけではなく模型の触察が重要なことを示す例である。

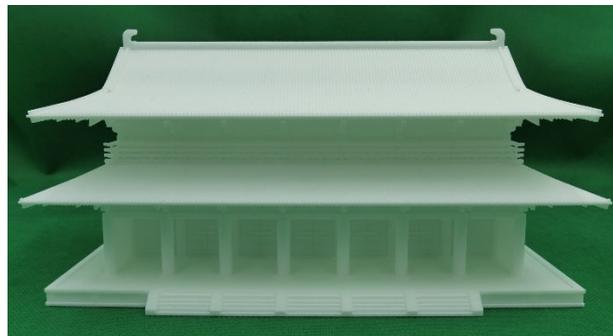


図 11 羅城門の模型

理療 理療科の教材用に関節、舌、骨の各種模型を制作した。理療科における学習教材として、球関節、臼状関節、橈円関節、鞍関節、蝶番関節、らせん関節、車軸関節、平板関節の模型を制作した (図 12)。様々な病態の舌診模型を柔らかい素材である TPU を用いて制作した。舌の病態が分かりやすく伝わるようにデフォルメした (図 13)。これらの制作では、理療科教員による触察・評価の結果を反映して作り直すことを繰り返し、改善を図った。骨模型は、オリジナルとなる型から 3D スキャンすることで複製が容易であることを示した (図 14)。

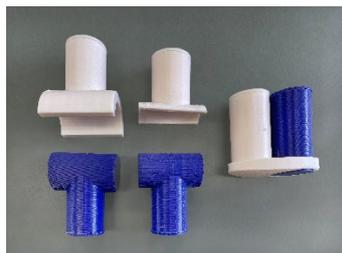


図 12 関節模型 3 種類



図 13 舌模型 3 種類



図 14 骨模型の原型と複製物

3D データベースの試作 本プロジェクトで開発した 3D データ・模型を視覚障害教育関係者が閲覧・ダウンロードできるようにするためのデータベースを Web 上に構築した。当初はクラウドデータベースサービスの Airtable を用いて試作したが、全盲の視覚障害者がスクリーンリーダーで使いづらいということが分かったため、アクセシビリティを考慮したデータベース「触る教材データシェアプロジェクト」を新規で開発した (図 15)。本プロジェクトで開発した 3D データ・模型のうちプロジェクトメンバーが著作権を持つ 3D データを、ここへ掲載した。新規開発後に、画面の内容やページ間の遷移、検索結果の表示等の使い勝手の改良を行った。3D データの掲載は本科研費による研究期間終了後も継続していく。



図 15 教材用 3D データベース

(2) 3D 制作ネットワークの構築 視覚支援学校教員を対象としたシンポジウムと講習会を 4 回以上開催した。シンポジウムでは 3D プリンタで製作した模型とそれを使った授業作りを紹介し、講習会では簡単な 3D データの作り方と 3D プリンタの使い方を指導した。他の研究プロジェクトとの共催で、オンライン触察シンポジウムを毎年 2 回ずつ開催した。このプロジェクトは研究分担者の 1 人が研究代表を務めており、3D 模型を一般の視覚障害者に提供するサービスの確立を目指している。回ごとにテーマがあり、そのテーマを専門とする講師を招き、講演で話題となる模型を参加者に事前に送付する。シンポジウム参加者は手で模型を触りながら講師の話の聞くことができる。参加者数は回を追って増え、2023 年度のシンポジウムでは約 150 人に達した。このオンライン触察シンポジウムの対面版として、3D 模型に関する解説を聞きながら模型を触る「聴触会」の小規模なものを 5 回、大規模なものを 1 回開催した。聴触会参加者の満足度は高く、建築物の形状を模型によって理解できた、建築物についての解説があることで理解が深まったとする感想を得た。

学術大会 LIFE 2022 と LIFE 2023 (生活支援工学会大会、日本機械学会福祉工学シンポジウム、ライフサポート学会大会) において 3D 模型の開発に関するオーガナイズドセッションを企画し、本研究の研究成果を研究代表者と分担者が発表した。日本弱視教育研究会の全国大会で 3D 模型の制作について発表し、視覚障害教育関係者への周知に努めた。

視覚障害者向けの展示会「サイトワールド 2023」に出展し、3D 模型・触地図を展示し、一般の人向けにその周知を図った。

(3) 触察実験 2020 年度と 2021 年度は新型コロナウイルス感染拡大防止のため人を対象とする実験を行えず、触察実験は 2022 年度から開始した。適切なサイズを求める実験は行わず、触図と立体模型の理解を比較する実験のみを行った。凸線図、凸面図、平板図形の間で形状識別のしやすさに違いがあるかどうかを検証するのが実験の目的である。実験結果を地理の授業へ活かすため、県の形を触察対象とした。実験では平板図形と凸線図、凸面図で作製した県の形を視覚障害者と晴眼者に触察してもらい、識別の正答率と回答時間を計測した。その結果、平板図形の正答率が有意に高くなり、触察時間も有意に短くなった。しかし、視覚障害者と晴眼者の間で正答率と触察時間に有意な差は見られなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 渡辺哲也, 中曽根晟, 南谷和範, 増山新作	4. 巻 12
2. 論文標題 視覚障害教育のための3Dプリンタによる立体模型の制作(3) 解説を聴きながら触る「聴触会」の開催	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 視覚リハビリテーション研究	6. 最初と最後の頁 29-33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 渡辺哲也, 細川陽一, 丹下裕, 大内進, 金子健, 南谷和範, 橋本芳宏	4. 巻 11
2. 論文標題 視覚障害教育のための3Dプリンタによる立体模型の制作(2)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 視覚リハビリテーション研究	6. 最初と最後の頁 22-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 渡辺哲也, 細川陽一, 丹下裕, 大内進, 金子健, 南谷和範, 橋本芳宏	4. 巻 10
2. 論文標題 視覚障害教育のための3Dプリンタによる立体模型の制作(1)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 視覚リハビリテーション研究	6. 最初と最後の頁 35-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 江澤悠太, 渡辺哲也
2. 発表標題 図形の触覚的提示形態の違いが形状識別に及ぼす影響
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡辺哲也, 細川陽一
2. 発表標題 盲学校理療科で用いる骨模型の「立体コピー」
3. 学会等名 LIFE 2022 (生活支援工学会大会、日本機械学会福祉工学シンポジウム、ライフサポート学会大会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 細川陽一, 大矢耕平, 渡辺哲也
2. 発表標題 視覚支援学校における3Dプリンタを用いた立体模型の作成の取り組み
3. 学会等名 LIFE 2022 (生活支援工学会大会、日本機械学会福祉工学シンポジウム、ライフサポート学会大会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 丹下裕, 足立晃基, 渡邊寛子, 渡辺哲也
2. 発表標題 寢殿造り、阿修羅像の模型の制作
3. 学会等名 LIFE 2022 (生活支援工学会大会、日本機械学会福祉工学シンポジウム、ライフサポート学会大会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南谷和範, 渡辺哲也, 岩村雅一
2. 発表標題 立体教材を用いた遠隔ワークショップの可能性と課題
3. 学会等名 LIFE 2022 (生活支援工学会大会、日本機械学会福祉工学シンポジウム、ライフサポート学会大会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大内進
2. 発表標題 歴史的建築模型の形状認知のための3D造形による補助教材の活用
3. 学会等名 LIFE 2022 (生活支援工学会大会、日本機械学会福祉工学シンポジウム、ライフサポート学会大会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金子健
2. 発表標題 3Dプリンターによる視覚障害教育用算数・数学用教材について
3. 学会等名 LIFE 2022 (生活支援工学会大会、日本機械学会福祉工学シンポジウム、ライフサポート学会大会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡辺哲也, 小野弘陸, 江澤悠太
2. 発表標題 凸線図とパズルピース形状における図形の識別しやすさの比較 府県の形を刺激とし, 晴眼者を参加者とした場合
3. 学会等名 電子情報通信学会 福祉情報工学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大矢耕平, 渡辺哲也, 細川陽一
2. 発表標題 視覚障害教育用関節模型・舌診模型の3Dプリンタによる制作
3. 学会等名 電子情報通信学会 福祉情報工学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazunori Minatani and Tetsuya Watanabe
2. 発表標題 Online symposium with touch: An attempt to organise an online 3D model tactile symposium for the visually impaired
3. 学会等名 16th International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tetsuya Watanabe, Kazunori Minatani, and Masakazu Iwamura
2. 発表標題 Effect of Visual and/or Haptic Experience on Haptic 3D Model Recognition
3. 学会等名 ICCHP-AAATE 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南谷和範, 渡辺哲也, 岩村雅一
2. 発表標題 模型の触察をを行うシンポジウムのオンライン開催の試み
3. 学会等名 電子情報通信学会 サイバーワールド時限研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 渡辺哲也, 細川陽一, 大内進, 金子健, 丹下裕, 南谷和範
2. 発表標題 視覚障害教育で利用可能な立体模型の制作とその普及
3. 学会等名 第64回弱視教育研究全国大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 渡辺哲也
2. 発表標題 視覚障害者用触地図の分類と作成方法
3. 学会等名 ヒューマンインタフェースシンポジウム 2023
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>触る教材データシェアプロジェクト https://tactile-journey.net/ Map puzzle https://airtable.com/appHxJRnLDIZcHpnY/shrYQ5SujddzNsV5Z/tblsmXkMOp0G19AhA Tactile Graphics - 3D Models https://vips.sakura.ne.jp/tg/3dprint/</p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	金子 健 (Kaneko Takeshi) (40260020)	独立行政法人国立特別支援教育総合研究所・研究企画部・上席総括研究員 (82705)	
研究分担者	大内 進 (Oouchi Susumu) (40321591)	星美学園短期大学・日伊総合研究所・客員研究員 (42632)	
研究分担者	丹下 裕 (Tange Yutaka) (50435434)	舞鶴工業高等専門学校・その他部局等・准教授 (54301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	南谷 和範 (Minatani Kazunori) (90551474)	独立行政法人大学入試センター・研究開発部・教授 (82616)	
研究分担者	橋本 芳宏 (Hashimoto Yoshihiro) (90180843)	名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・教授 (13903)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関