

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）

渡辺 哲也（新潟大学工学部）

細川 陽一（名古屋工業大学大学院工学研究科・愛知県立名古屋盲学校）

丹下 裕（舞鶴工業高等専門学校）

大内 進（手と目でみる教材ライブラリー・星美学園日伊総合研究所）

金子 健（国立特別支援教育総合研究所）

南谷 和範（大学入試センター）

橋本 芳宏（名古屋工業大学工学部）

要旨：

視覚障害教育用に 3D プリンタで制作した立体模型を紹介する。それらは、国語・社会の教科書に現れる建築物、肖像画、仏像の模型、理療の授業で人体の学習に用いられる骨、舌診の模型、建築物理解のための屋根の形状、数学で用いる立体教材である。製作した模型を視覚障害児・者やその教育者に触ってもらい、その方々からの意見に応じて修正をしている。

キーワード：視覚障害教育、触察教材、立体模型、3D プリンタ

1. はじめに

3D プリンタを用いた視覚障害教育用の立体模型の制作には、複数個の制作と拡大／縮小印刷が可能、材料費が比較的安価などの利点がある。この利点を活かせるよう、視覚障害教育で必要な立体模型の 3D データ作成、模型の制作と学校への提供、教員向けの 3D プリンタの講習会などを行っている。2021 年度中に行ったそれらの取り組みについて、前稿（渡辺ほか，2021）に引き続き紹介する。

2. 新潟大学における取り組み—建築物・肖像画の立体化、骨模型の 3D スキャン—

2.1. 教科書に現れる建築物・肖像画の立体化

教科書に現れる物体の形状を盲児に伝えるこ

とに、盲学校／視覚支援学校（以下、盲学校）の教員は日々苦心している。その物体が日常生活の中にあったり、その模型が販売されていたりすれば、それらを用意して児童生徒に触らせることができる。これらが無い場合、教員が模型を手作りすることもあるが、これは一点物であり、他校では活用できない。このようなものの 3D データを作れば、模型を複数個制作でき、多くの学校で立体教材として活用できる。このため、3D プリンタによる立体教材制作の要望として「教科書に出るもの」という回答もあった（渡辺・大内，2019）。

そこで「教科書に出るもの」のうち著名なものから順番に制作することにした。今年度制作したのは、高校の国語の教科書で採用されている小説『羅生門』の原型である羅城門である。この羅城門の想定復元図面が建設会社大手の大林組が発行する雑誌に掲載されている（大林組，

1978)。この図面をもととして、専門業者に3Dデータの制作を委託した。そのデータをもとに印刷した模型を図1に示す。模型の寸法は、幅227mm、奥行き107mm、高さ115mmである。羅城門は構造が複雑なため3D印刷は容易ではなく、現時点で印刷物の数は少ない。このため学校へ提供はできないが、貸与をしている。これを触った生徒からは「門だと思っていたら建物だった」、「丸柱が10本以上もあり、驚いた」など、文章からは想像できなかったことが、触ることではじめて分かった様子がうかがえた。

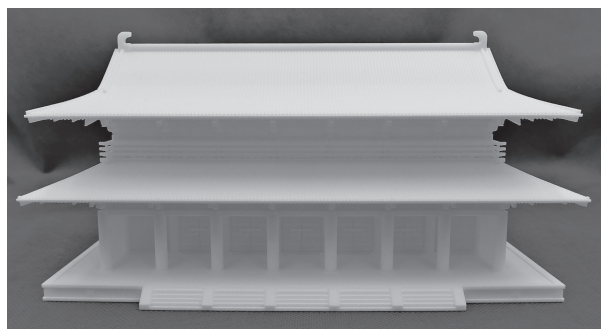


図1 羅城門の立体模型

日本人なら誰もが見たことがある肖像画を盲児にも知ってもらいたい、そのような目的で、教科書に現れる肖像画の立体化を試みた。選んだのは、聖フランシスコ・ザビエル像と織田信長像の2点である。肖像画をもとに、専門業者に3Dデータを作成してもらった。肖像画は前面と側面だけなので、同時代の衣装を調べるなどして背面も作った。基本印刷サイズは高さ約15cmである。

肖像画の立体物は複数印刷をして盲学校等へ提供した。ヒントなしでこれに触って誰であるかを答えるのは難しいが、当時の衣装や所持品、髪型などを知るなどを知る手がかりとなっている。



図2 聖フランシスコ・ザビエルと織田信長の立体模型（提供校で彩色）

2.2. 骨模型の3D スキャンと造形

希少な模型の3Dデータを作り印刷できれば、生徒一人ずつに模型が行き渡り、壊すことを心配せずに触ることができる。そこで3Dスキャナ（EinScan Pro 2X）と、これと連携して用いる回転テーブルを導入して、理療科で用いる骨模型の3Dスキャンを行った。3Dスキャンデータを処理するには高性能のグラフィックボードとCPUを備えたコンピュータが必要となるため、これも準備した（LEVEL-17FG103, CPU: Core i7-10700K, メモリ：64GB, グラフィックアクセラレータ：NVIDIA GeForce RTX 2080）。

骨模型を回転テーブルの上に載せて3Dスキャンしている様子を図3に示す。このようにしてスキャンし、その3Dデータを印刷した圧迫骨折脊椎模型を図4に示す。全体形状だけでなく、細部まで精密に再現されていることが分かる。この機材を使ってこれまでに、脊椎骨23個（腰椎1個は仙骨と癒着しているため除外）、股関節部（仙骨、寛骨、大腿骨）、肩関節（肩甲骨、鎖骨、第一肋骨、胸骨、上腕骨）ほかをスキャンした。このうち大腿骨と上腕骨は30cm以上と大きく、スキャンに技量が必要だったため、専門業者にスキャンを委託した。



図3 3Dスキャナによるスキャンング

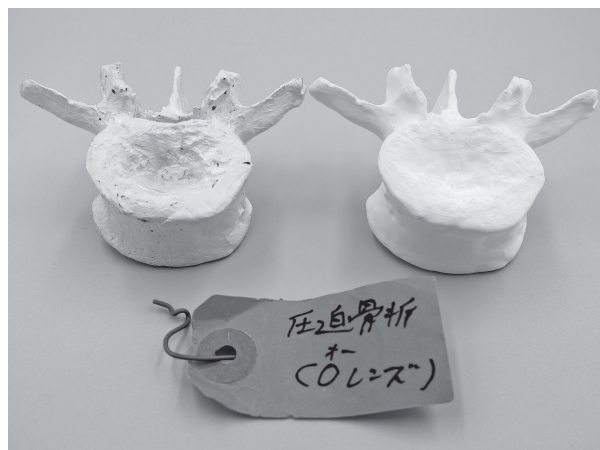


図4 もとの椎骨模型（左）と複製した模型（右）

3. 名古屋工業大学・名古屋盲学校・新潟大学における取り組み—理療科学習教材「舌診」模型の制作—

3.1. 理療科における模型観察学習

盲学校／視覚支援学校理療科では、鍼灸マッサージを習得するために、東洋医学の診断法と治療法について理解する専門科目が設定されている。その中で患者を診察する方法の一つとして、「舌診」といわれる舌の状態を観察する学習内容がある。過去5回（第25回～第29回）の鍼灸の国家試験では、東洋医学理療臨床論と総合問題が138問出題され、患者の症状が提示されて状況を理解する問題が90問（65%）、その中で症状の把握のために舌の状態が提示される問題が33問（37%）であった。

視覚障害生徒が患者の舌の状態を直接観察することは難しい。そのため弱視生徒は、タブレット端末で写真を撮り、それを眼前で拡大するなどして舌の色や形状を観察する工夫がされている。一方、全盲生徒は直接患者の舌を触ることが難しいため、教員が紙粘土で特徴的な舌の変化を作成し、それを触察する取組みがなされている。後者の取組みは限定的であり、教員の努力に期待するところが大きい。そのため今回は、舌診の学習の助けとなることを期待し、3Dプリンタで印刷できる触察教材を作成することを目的とした。

3.2. 作成方法

Windows版3D Builder（Microsoft社）により3Dデータを作成し、これをUltimaker S3（BRULE社）で印刷した。材料はTPUフィラメント（熱可塑性ポリウレタン）を使用した。これは完成時に一定の弾力を持たせ手で曲げることを可能にし、舌に触っていることをイメージしやすいようにするためである。3Dデータの作成は新潟大学渡辺研究室と協力して行った。

今回は正常舌、舌苔薄黄舌、舌苔黄膩舌、舌尖紅舌、齒痕舌、胖大舌、白苔瘦薄舌、無苔瘦薄舌、紫舌の計9種類を作成した。大きさは実際の舌の大きさとし、特徴となる部分が触って分かりやすいようにデザインした。試作品を作

り、理療科の教員に触察してもらい、改良を行った。最後に着色を行った。

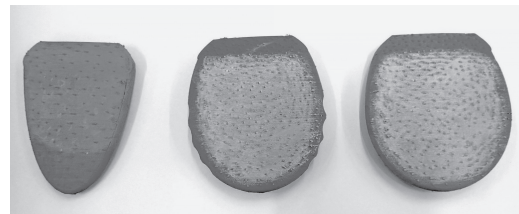
3.3. 模型の印刷

正常な舌の模型を作成し、表面の舌苔（ざらざら）を触って判別できるように細かな半球を並べて表現した。①正常舌、②舌苔薄黄舌、③舌苔黄膩舌、④舌尖紅舌は大きさが同じであるが、舌苔の量と色の違いで表現した。全盲生徒には色の説明の補助は必要であるが、表面を触って違いが分かるものとなった。⑤齒痕舌、⑥胖大舌、⑦白苔瘦薄舌、⑧無苔瘦薄舌は全体の形状と舌苔の量の差が明確であり、全盲生徒が触っての判別が容易である。⑨紫舌は裏面の静脈怒張の状態を作成して分かりやすいものとなった。（図5(a)～(d)）

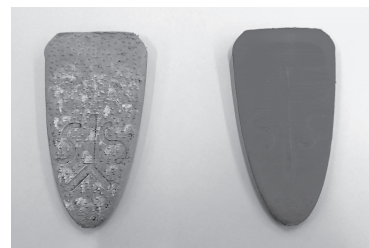
舌診模型1個の作成内容を表1に示す。1個当たりの平均作成費は260円であった。



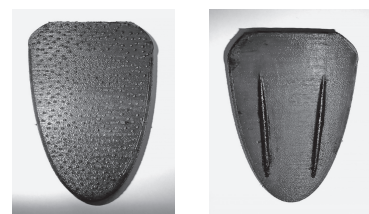
(a) ①正常舌、②舌苔薄黄舌、③舌苔黄膩舌



(b) ④舌尖紅舌、⑤齒痕舌、⑥胖大舌



(c) ⑦白苔瘦薄舌、⑧無苔瘦薄舌



(d) ⑨紫舌（左：表面、右：裏面）

図5 舌診模型

表1 舌診模型の使用フィラメント量、作成時間、作成費

名称	使用フィラメント量 (m)	作成時間 (時：分)	作成費 (円)
①正常舌	2.20	4:15	239
②舌苔薄黄舌	2.19	4:13	238
③舌苔黄膩舌	2.09	3:59	227
④舌尖紅舌	2.19	4:13	238
⑤齒痕舌	4.18	7:46	454
⑥胖大舌	4.25	8:07	462
⑦白苔瘦薄舌	1.18	2:16	128
⑧無苔瘦薄舌	1.13	2:20	123
⑨紫舌	2.16	4:18	235
平均	2.40	4:36	260

3.4. 授業での活用

理療科の東洋医学理療臨床論の授業において、過去の国家試験から提示された症例がどの舌所見を呈するかについて、練習問題を行った。弱視生徒は眼前で模型を触りながら確認でき、全盲生徒は色の説明の支援を受け、触察して患者がどのような舌所見を呈するかについて、それぞれが意見交換できるようになった。

今後は他分野の学習内容の模型を作成し、触察模型を増やすこと、さらに 3D データや模型自体をシェアできる仕組み作りが必要だと感じている。

4. 手と目でみる教材ライブラリーにおける取り組み—屋根の立体形状のモデルの製作

「形あるものは形を触って知ることが一番わかりやすい。」岩手県盛岡市で「手でみる博物館」を運営していた故桜井政太郎先生の言葉である。

手と目でみる教材ライブラリーでは様々な立体物を収集し、視覚に障害がある人に触る機会を提供しているが、収集物の中に国内外の著名な建築物の模型がある。日本の建築物では、奈良や京都に現存する歴史的建造物、日本の代表的な城、東京にある著名な建築物を所蔵している。

これまでに多くの視覚障害者の方がこうした建造物を観察してきたが、部分部分の形状が言語化できると正しく、早く理解することが可能

となる。その一つに屋根の形状がある。しかしながら、屋根の形状やそれを表す名称を知らないうちに、限られた時間での対応に苦慮することが多かった。

寺院や城などの歴史的建造物も、全体としては複雑な形状であっても、部分部分に着目して、シンプルな形状に分解するとイメージしやすくなる。屋根の形状と名称がわかっているれば、複雑な形状も単純な形状に分解してとらえ、それらを再構成することで、全体の形状の確かな把握が可能となる。こうしたことから、基本的な屋根の形状の 3D モデルの作製を試みた。

屋根の形状には、次のような種類がある。切り妻・寄棟・方形・入母屋・鑷（しころ）屋根・越（こし）屋根・差し掛け（さしかけ）・半切妻（はんきりづま）屋根・陸屋根・片流れ・招き屋根・バタフライ屋根・鋸（のこぎり）屋根・M 型屋根・マンサード屋根・ギャンブレル屋根・かまぼこ屋根など。

今回の取り組みでは、一般的な屋根の形状である切り妻・寄棟・方形・入母屋の 4 種類の 3D データを、クラウドベースの 3D モデリングソフトウェア Fusion 360 を利用して作製した（図 6）。

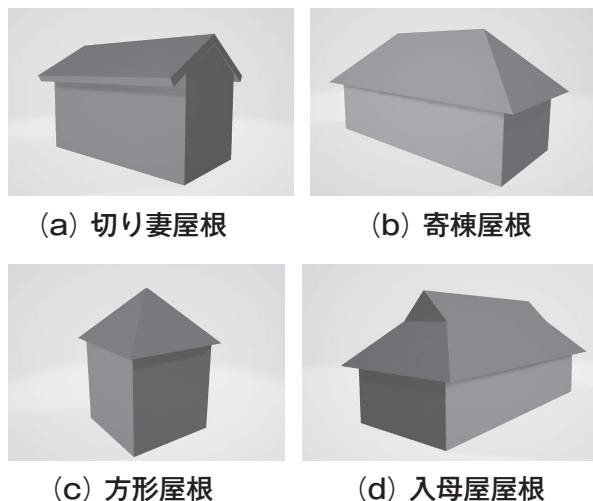


図6 3D CAD で設計した一般的な屋根の形 4 種類

5. 国立特別支援教育総合研究所における取り組み—数学用立体模型の作成—

盲学校からの3Dプリンタによる立体教材制作の要望の中の一つとして、高等部の教員から「回転体の体積」という要望があった。これについては、高等学校段階での数学では、曲線を軸の周りで回転させてできる回転体の体積を積分で求めるという学習内容がある。その中では、例えば放物線を回転させてできる回転体の体積を積分で求める。

この場合の積分の考え方は、回転体の体積を、いくつかの高さが等しい円柱（円盤）を組み合わせた立体の体積で近似し、次いで、その円柱（円盤）の数を増やして（各円柱の高さは低くなる）近似し、さらに増やして近似し…という極限で回転体の体積が求められるというものである。

これについて、図7のように、放物線による回転体（放物線を軸の周りで回転させてできるもの）の立体模型（底面の直径80mm、高さ80mm）と、それを四つの円柱（円盤）を組み合わせて近似した立体模型（各円柱の高さ20mm）、八つの円柱（円盤）を組み合わせて近似した立体模型（各円柱の高さ10mm）を作成した。なお、各円柱（円盤）の中心には穴をあけて、竹ひご等を通せるようにしている。

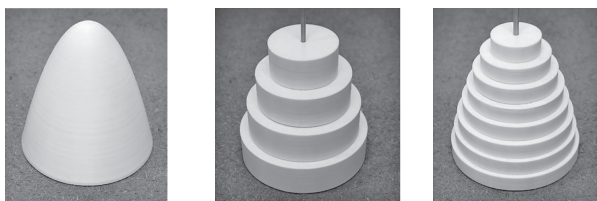
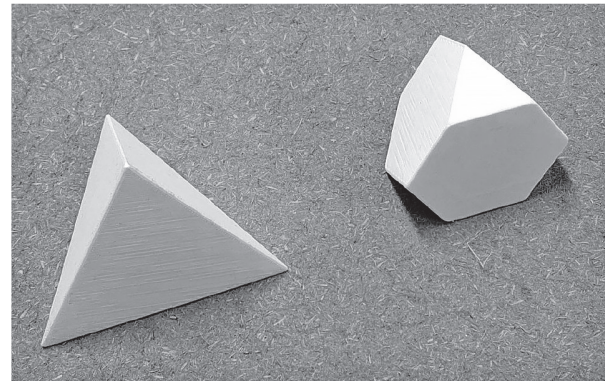


図7 回転体の体積を積分で求めることを理解するための立体模型

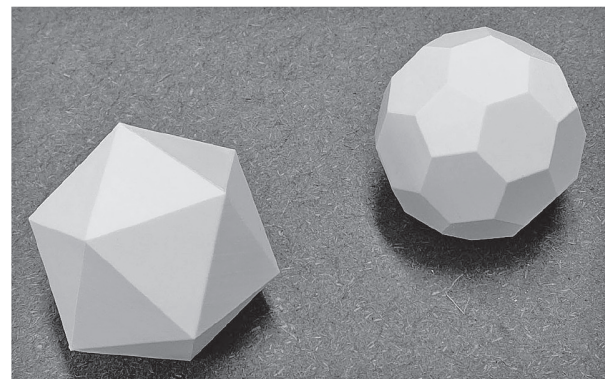
次に、中学校の数学では正多面体について学習する内容があることから、正多面体5種を作成するとともに、正多面体の各頂点の部分を適当な高さで切断することでできる切頂多面体も作成した。例えば、正四面体は四つの正三角形の面で構成されるものであり、切頂四面体は四つの正三角形と四つの正六角形の面で構成されるものである。図8に、正四面体の立体模型（高

さ70mm）と切頂四面体の立体模型、及び正二十面体（高さ70mm）と切頂二十面体の立体模型を示す。なお、切頂二十面体の面のパターンは、一般的なサッカーボールの表面のパターンと同じである。

例えば、特定の正多面体と、それに対応する切頂多面体という、二つの立体を触り比べることで、それぞれがどのような立体であるかについての理解も促進されるのではないと思われる。



(a) 正四面体・切頂四面体



(b) 正二十面体・切頂二十面体

図8 正多面体の立体模型

6. データベースの試作

立体教材用3Dデータとその模型の普及のためには、3Dデータを閲覧・ダウンロードできるデータベースが必要である。しかし、自らサーバを立ち上げてデータベースを構築すること、及びその管理には技術力と時間を要する。そこで今回は、既存のデータベースサービスを活用することとした。

今回用いたのは、クラウドデータベースサービスのAirtableである。ここに、データ名、3Dデータ、模型の写真、模型の大きさ、地図であれば

縮尺、制作したプリンタとフィラメント、データ元、模型の説明などの情報を入力していくことで、ノーコードで（プログラムを書くことなく）データベースを構築できる。入力情報を元にデータの選択（Filter）や並べ替え（Sort）ができる。Web サイトで商品や宿泊地などを検索するときと同じ手順である。ここに、2020 年度に制作した地図パズルや（渡辺ほか，2021）地形模型を掲載した。作成したデータベースは本稿末尾に紹介した URL からアクセスできる。

今後は、このデータベースがスクリーンリーダで利用可能かどうかを検証する必要がある。

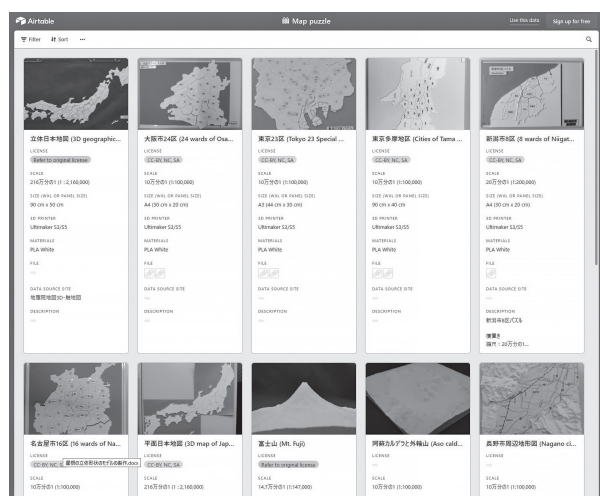


図9 Airtable 上の 3D データベース

7. シンポジウム・講習会の開催

3D プリンタで製作した模型とそれを使った授業作りの紹介、3D プリンタの使い方の講習を目的に、シンポジウム・講習会を3回開催した／講師を務めた。

一つ目は、名古屋盲学校の夏季視覚障害教育専門研修会と共催で、盲学校の教職員等を対象として、オンラインと対面（名古屋盲学校において）のハイブリッド形式で2021年8月26日に行った。登録参加者数は26人、そのうち11人には、当日説明をする模型を事前に送付した。午前中は渡辺、金子、大内、細川からこれまで作成した教材を講義形式で紹介した。午後には渡辺研究室の学生が簡易 3D CAD ソフトウェア 3D Builder を使った 3D データの作り方を、名古屋盲学校の教職員に教えた。

二つ目は、広島大学大学院人間社会科学研究

科氏間研究室主催の第10回視覚障害教育 ICT 活用研修会における渡辺の講演と実習指導である。オンラインと対面（広島大学において）のハイブリッド形式で2021年12月27・28日に開催され、盲学校教職員と同研究室学生の約40人が参加した。研修のテーマは、3D プリンタを活用した触察教材と、地理データを活用した触察教材作成である。1日目の講習では、SketchUp を使った 3D データの作り方を教えた。2日目の講習では、国土地理院の地理院地図から 3D データを取得し、印刷・触察しやすいように加工する方法を教えた。研修会後に 3D 模型・データの要望を寄せた盲学校には、これらを送った。

三つ目は、南谷が代表を務める JST RISTEX のプロジェクト「誰もが知りたいもの、必要なものを自由に手に入れ触れられる社会」の創成に向けた、3D モデル提供体制の開発と実装」のシンポジウムとの共催で、2022年2月5日にオンラインで行った。参加者数は161人、その半数は視覚障害者である。美術館・博物館の職員（学芸員）でユニバーサルサービスに興味を持つ人の参加も多い。このプロジェクトのシンポジウムでは、事前に模型を送り、これについてシンポジウム内で説明するという方式が定着し、好評を博している（南谷ほか，2021）。この回でも約90人に3種類（富士山、DNA の二重らせん、カエンタケ）の模型を送り、これを触ってもらいながら模型の説明をした。

8. おわりに

次年度以降も、引き続き視覚障害教育に役立つ立体模型のデータ収集、データ作成、学校への模型・データの提供、シンポジウム・講習会を行っていく。

謝辞

本研究は科研費（基盤(B)20H01705, 基盤(A)21H04415）及び JST RISTEX (JPMJRX1917, JPMJRX21I5) の助成を受けて推進している。

文献

Formagrid, Inc (2022) Airtable <<https://www.airtable.com/>> (2022年2月25日)

南谷和範・渡辺哲也・岩村雅一（2021）視覚障害者を対象とした 3D モデル触察シンポジウムのオンライン開催の試み. 日本図学会大会学術講演論文集, 95-100.

大林組プロジェクトチーム（1978）羅城門復元の試み. 季刊大林, 2, 3-11.

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（2021）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. 視覚

リハビリテーション研究, 10(2), 35-40.

渡辺哲也・大内進（2019）視覚障害教育における 3D プリンタ活用状況調査. 弱視教育, 57(2), 15-25.

付録

立体教材 3D データベース Map puzzle

<https://airtable.com/shrYQ5SujddzNsV5Z>