

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）

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（国立特別支援教育総合研究所）

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、社会の授業で用いられる立体日本地図と都道府県・地方自治体の地図パズル、理療の授業で人体の学習に用いられる関節模型、生物の授業で用いられる卵割模型である。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。製作した模型や 3D データを多くの人が使えるように、データベース化する計画である。

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

視覚障害教育、とりわけ盲教育における触察用の立体模型を制作するのに 3D プリンタが有効である。3D プリンタによる教材制作には、児童生徒の数に合わせ複数作ることが可能、大きさを変更した制作が可能、材料費が比較的安価、学校間での 3D データの共有が容易、などの利点がある。このため盲学校／視覚特別支援学校（以下、盲学校と表記）へ 3D プリンタの導入が進みつつあり、2018 年 10 月の盲学校を対象とした調査の結果では、回答した 33 校の 36%（12 校）が 3D プリンタを所有していた（渡辺・大内、2019a）。しかし、3D プリンタの運用にはある程度の技術力が必要であるため、盲学校の教員が 3D プリンタによる教材制作の全て、あるいは

は一部の行程を遂行するのは難しい場合が多い。実際、3D プリンタの所有校においても、立体教材・3D データの作成者は学内の教員よりも学外の人の方が多かった（同調査）。すべての視覚障害児童生徒にできるだけ多くの種類の立体教材を届けるには、上述の 3D プリンタ運用上の課題を克服しなければならない。

そこで、3D プリンタ運用の技術力（3D データの検索、3D データの作成、3D 印刷の各要素技術）を有し、かつ特別支援教育への貢献に積極的な人の協力を得て、触察用の立体教材を作る、さらにそのような人を増やすことで教材の種類を増やす、検索・作成した 3D データをデータベース化して活用しやすくする、これらを目的とした研究プロジェクトを提案し、令和 2 年度科学研究費補助金として採択された。

2021年度には新潟大学、名古屋工業大学・名古屋盲学校、舞鶴工業高専において3Dデータの作成、3D印刷（造形）、試用と評価を行った。それぞれの機関における取り組みを以下の各章で紹介する。

2. 新潟大学における取り組み —地形模型・地図パズル—

2.1. 立体日本地図

3Dの特徴を活かして地形を表す都道府県ごとの地形模型を制作した。3Dデータは国土地理院の地理院地図が提供する地方別・県別立体模型データである（付録を参照）。県別データの縮尺は約108万分の1、高さ強調は3倍である。これを47都道府県すべて印刷して並べると縦横とも1.4mとなり、かなり大きい。さらに印刷に時間がかかる（当初は、3Dプリンタ1台だけを用いて1ヶ月程度を要した）。とは言え、小縮尺にすると小さな都府県—大阪、東京、香川、沖縄—は5cm以下となり、特徴が分かりにくく、しかも紛失しやすい。そこで数種類の縮尺を試作した結果、縮尺216万分の1が制作、触察の各面で適当だと判断した。高さについては、オリジナルデータの3倍だと山脈をなだらかに感じられたので、6～10倍の間で試行錯誤をした結果、6倍と決定した。縮尺216万分の1で高さ強調6倍だと富士山の高さ（標高3776m）は約1cmとなる。

造形素材は、熱溶解積層式3Dプリンタで一般的なABS樹脂とPLA樹脂を用いた。これらは硬質プラスチックのような素材で、滑りやすい。そこで、模型の裏面に磁石を付けた。当初は、マグネットシート（厚さ1mm）を両面テープで貼り、カッターナイフで県の形に切ったが、この作業には手間と時間がかかる。そこで、3Dデータの段階で模型の裏面に円形の穴を開け、印刷後、その穴に円盤状の磁石（直径5mm、厚さ2mm）を各県2つずつ（小さな県では1つ）はめ込む方式とした。

立体日本地図（縮尺216万分の1）の全景を図1に示す。サイズは、横約90cm、縦約50cmである。裏面の磁石によってホワイトボードに貼付されている。

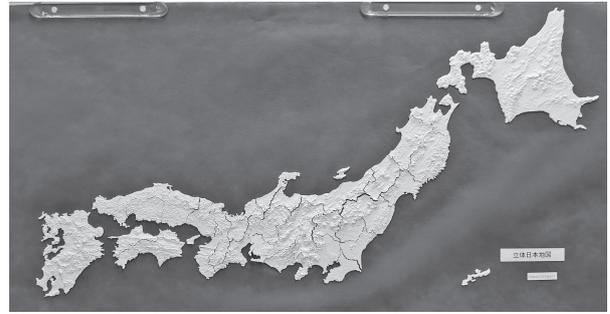


図1 立体日本地図（縮尺216万分の1）

2.2. 地図パズル

2.2.1. 都道府県パズル：地形の学習を目的とするのではなく、パズルのように楽しみながら県の形を覚える教材として、平面模型を作った。これは、国土地理院の県別地形データをもととし、その底面を下へ浮き出しし、平地より上の部分をカットして作成した。作成にはWindows 10に付属している簡易3D CADソフトである3D Builderを用いた。図2に都道府県パズルの近畿地方の拡大図を示す。

2.2.2. 市区町村パズル：都道府県と同様に自治体のパズルがあると、居住地の学習に役立つと考えられる。そこで、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、新潟市8区のパズルを作成した。

最初に作ったのは名古屋市である。縮尺を決める際には、全体の大きさは机の上に収まるように20～30cmとする、最も小さな区でも触って形が分かるよう4cm程度以上とする、実際の距離を計算しやすい縮尺とする、これらを総合的に勘案して10万分の1とした。この縮尺だと模型の1cmが実際の距離では1kmとなる。厚さは、各ピースが十分な強度を有すること、磁



図2 都道府県パズル（縮尺216万分の1）



図3 東京23区パズル(縮尺12万分の1)



図4 新潟市8区パズル(縮尺20万分の1)

石を埋め込めることを考慮して3mmとした。以後、東京23区、大阪24区も同じ縮尺、厚さで作成した。図3に東京23区のパズルの全景を示す。ピース上面に区名を点字と墨字で貼り付けている。

東京と大阪の地図パズルを知り合いの視覚障害者に触ってもらったところ、楽しい、向きの判別に点字が役立った、磁石でくっつくのがよい、大きさもちょうどよい(東京23区)、川や運河が分かる、自分が住んでいる区がこんなに小さい区だとは思ってもいなかった、と好意的な感想を得た。このほかに、枠がほしい、もっと大きくしてほしい(大阪市。ピース、文字とも)、主な都市や鉄道を知りたい、などの要望もあった。そこで、新潟市のパズルの制作時には、枠を付け、鉄道、駅を触知化した(図4)。

これらの模型は、知り合いを通じて盲学校等へ寄贈を始めている。上面に駅や線路などの触覚記号を貼付したり、大きさを変えて印刷した

りするなど、工夫次第で様々な使い方ができるだろう。

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 —理療科学習教材関節模型の制作—

3.1. 理療科における模型観察学習

盲学校理療科では、鍼灸マッサージを習得するために、人体の構造や機能について学習する。視覚障害生徒が人体の構造を理解するには、生徒同士の体や解剖模型を触察して、その形態や動きを観察する。解剖模型の観察には専用に制作された模型を使用し、骨の形状や名称、関節の機能を理解する(付録を参照)。専用模型は形がリアルで形状を正確に理解できるが、模型によっては自由に可動できないものがあり、値段が高価であり、生徒の人数分を用意することが難しい。

専用模型が用意できない学習内容の理解の手助けとして、教師が紙粘土などを用いて自作模型を作成することがある。紙粘土は造形が容易であり、例えば、関節の形状によりその動きが異なることを示すため、関節部を大きく作成することが可能である。関節の機能的分類が理解できるように、紙粘土で作成した球関節、臼状関節を図5に示す。模型を使用することで、生徒が関節の形態の特徴を容易に把握でき、実際



図5 球関節(左)と臼状関節(右)

に模型を動かしてその動きの観察が可能である。一方、複製が難しい、重い、それに壊れやすいという欠点がある。

そこで3Dプリンタを用いて、軽量で耐久力が高く、複製可能な、関節の機能的分類が理解できる模式的な模型を作成することとした。

3.2. 作成方法

Windows版3D Builder (Microsoft社)により3Dデータを作成し、これをダヴィンチ mini w+ (XYZプリンティング社)で印刷した。材料はPLAフィラメントを使用した。なお、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。

球関節、臼状関節、楕円関節、鞍関節、蝶番関節、らせん関節、車軸関節、平面関節の8種類を作成した。大きさは両手の中に収まるようにし、特徴となる部分を強調したデザインになるように配慮した。試作品を作り、理療科の教師に触察してもらい、改良を行った。

3.3. 関節模型の印刷

関節の形態的特徴がその機能を決めていることに気づけるような模型となるよう、関節頭、関節窩を分かりやすく強調した。特に球関節と臼状関節の関節窩の深さの違い(図6)、蝶番関節とらせん関節の関節頭の形状の違いを強調した。弱視者が見ても分かりやすいように関節頭(青)と関節窩(白)に着色を施した(図7)。

また、関節の相対面に磁石を埋め込むことで、



図6 球関節(左)、臼状関節(右)



図7 一軸性関節3種 蝶番関節(左)、らせん関節(中)、車軸関節(右)

関節頭と関節窩の中心が容易に分かるようにした。これにより、持ち運びの際、模型がばらけないようになった。

関節模型1セットの平均的な作成内容を表1に示す。1セットの平均作成費は390円であった。紙粘土製模型の平均重量が292.3gなのに対して、PLA製は39.3gと13.4%まで軽量化された。

表1 関節模型1セットの平均作成内容

作成時間(分)	306.3 (142 ~ 467)
フィラメント使用量(m)	21.5 (9.3 ~ 34.2)
重量(g)	39 (26 ~ 58)
幅(mm)	63 (40 ~ 80)
奥行(mm)	51 (40 ~ 70)
高さ(mm)	103 (61 ~ 118)

3.4. 授業での活用

理療科の解剖学の時間に本模型を使用し、関節の機能的分類の学習を行った。全盲生徒からは「自分で動かすことができ、関節の動きが理解できる」、関節部が大きく、触って形が分かりやすい」という意見が出た。教師からは「模型が軽い。落としても壊れない」という評価を得た。

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. 舞鶴工業高専における取り組み一

盲学校高等部からの要望の中から(渡辺・大内, 2019a)、理科で使用されるカエルの卵分割

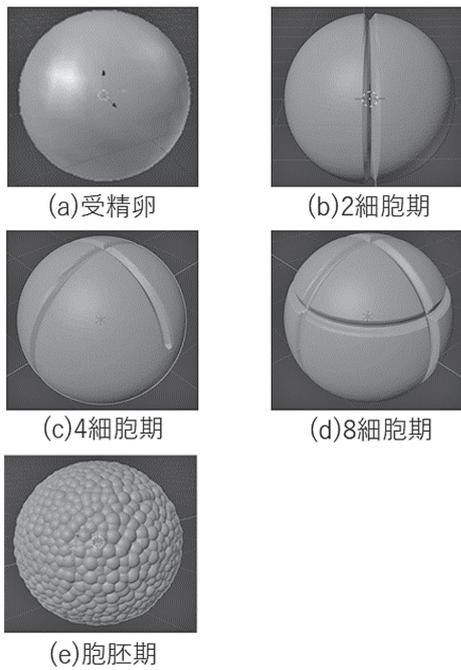


図8 制作した卵分割モデル

モデルの作成を行った。卵分割モデルとは、卵が受精してから生じる発生初期の体細胞分裂の様子を表すものである。卵分割モデルを作成した理由は、健常者向け教材としては既に商品化されているが高価であり言葉だけではイメージしづらいが、卵分割モデルは構造が容易で制作しやすいと考えたためである。今回は、受精卵から胞胚期まで計5つの卵分割モデルを、3DCGソフトであるBlenderにより作成し、モデルをSTL形式で出力した。図8に制作した卵分割モデルを示す。

3DCGモデルの制作では、卵割の進行度合いを分かりやすくするために、少し極端に凹凸を表現した。卵分割モデルの印刷には、サポート材をはがした後に加工がしやすいABS樹脂を採用した。実際の卵分割モデルはサイズが小さいため、今回は物体の形状を捉えることを目的とし、手で持ちやすく、しっかりと形状の把握ができるサイズ（直径約7cm）とした。図9に印刷した卵分割モデルを示す。

地域の特別支援学校を訪問する機会があり、昨年まで特別支援学校で視覚障害教育に関わっていた教員がいた。その教員に教材の評価を依頼したところ、印刷物の大きさはちょうどよく、形状はよく分かる。しかし、卵分割の溝の始点と終点が分かりづらく印を付けてほしいという

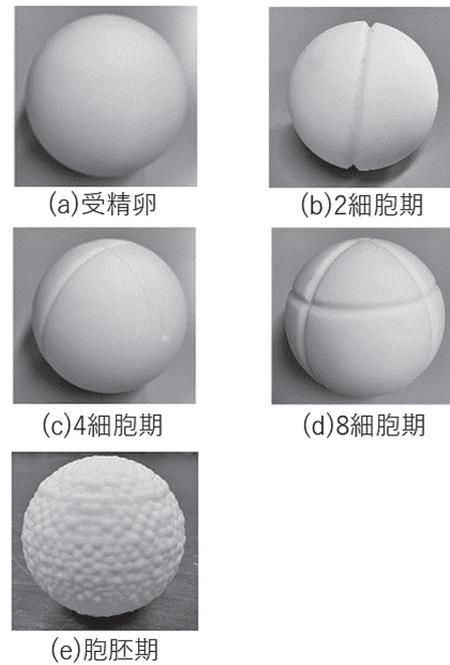


図9 印刷した卵分割モデル

要望があった。関係者、当事者による指摘は、制作者側には思いもよらぬこともあるが、これをすぐに改善できることも3Dプリンタによる教材作成のよいところである。

5. おわりに

次年度以降、引き続き視覚障害教育に役立つ立体模型のデータ収集、データ作成を行う。作成した3Dデータを掲載するデータベースを作成し、盲学校の教員がデータを使えるようにすることで、必要な模型を必要な数、各学校で印刷できるようにする。

謝辞

本研究は科研費（基盤(B)20H01705）の助成を受けたものである。JST RISTEXの資金（JPMJRX19I7）も活用されている。

文献

- 渡辺哲也・大内進（2019a）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.
- 渡辺哲也・大内進（2019b）視覚障害教育における3Dプリンタの活用—利用状況と活用実践—. 第60回弱視教育研究全国大会, 32-33.

付録：地図データ・原図

- 国土地理院 - 立体地図（地理院地図 3D・触地図）
<https://maps.gsi.go.jp/3d/>
- Craft Map- 日本・世界の白地図
<http://www.craftmap.box-i.net>
- 京都科学一肩関節周囲の模型
https://www.kyotokagaku.com/jp/products_data/11021-020/