

共同研究

3D造形装置による視覚障害教育用立体教材の
評価に関する実際的研究

(平成25年度～26年度)

研究成果報告書

平成27年3月



独立行政法人
国立特別支援教育総合研究所

はじめに

視覚障害教育では、視覚以外に触覚や聴覚を活用して情報を収集することが重要になってくる。そのために、触覚活用の面からはさまざまな触覚教材が作成され活用されている。

触覚教材は、その形状から区分すると3次元、2.5次元、2次元教材に分類できる。視覚活用の場合、3次元的な事物についても写真等の2次元的な画像からその内容を十分に理解することが可能であるが、触覚ではそういうわけにいかない。3次元のものは3次元の立体で触ることによって、確実なイメージを持つことが可能となる。そうした点で触覚教材のなかでも、3次元教材は事物の概念形成にとって欠かせない最も基礎的、基本的な教材だといえる。

しかし、教員にとって3次元的な教材を自作することは大変な作業であった。そのため、立体物を触察した方が理解しやすいと思われるも、3次元教材が用意できない場合は、2次元的な触図で示したり、言語による解説で対応したりしてきたのが実情である。

本研究の参画者は、このことに着目して、科学研究費による研究として、基盤研究B「視覚障害教育のための3次元CADを活用した2次元画像の立体的翻案に関する研究（研究代表者大内進、平成17年～平成19年）及び基盤研究A「視覚障害者の立体認識機構の研究および立体幾何学教材の開発（研究代表者手嶋吉法、平成19年～平成22年）において、3次元CADを利用した3次元教材の開発に取り組んできた。しかし、当時は、装置が大変高価であったり、その作業に特別な技能や経験が必要とされたりしたため、学校現場に導入して気軽に利用することは困難だった。そのため研究成果を学校現場に反映することが困難であった。

近年、3Dプリンターに関する一部の特許が切れたことを契機としてその普及が進み、目覚ましく状況が変化してきている。視覚障害教育の分野でも、その活用が大きな話題となっている。学校等で3Dプリンターを有効に利用するためには、触察用立体教材を作成するという観点にたって、機器の操作や3Dデータの作成及び入手等に関する十分な知識や技能を持っておく必要がある。また、普及型3Dプリンターは、造形精度や造形サイズに制約があり、それらへの対応も不可欠である。

こうしたことから、これまでの研究の延長として、3Dプリンターで造形した教材について触覚活用の観点から検証するとともに、触察用立体教材作成のための3Dプリンターの活用方法について学校現場等に役立つ情報を提供することを目的として、千葉工業大学手嶋研究室とともに共同研究「3D造形装置による視覚障害教育用立体教材の評価に関する実際的研究」に取り組んだ。本報告書はその成果を取りまとめたものである。

研究代表者 企画部客員研究員 大内 進

目次

はじめに	
I 研究の目的と方法	1
II 視覚障害教育における触察立体教材の意義と活用	4
III 触察立体教材作成の観点からみた3Dプリンター	19
IV FDM方式3Dプリンターによる立体教材作成	35
V 3Dプリンター出力触察立体教材の評価	68
VI 総合考察及び結論	80

研究体制

おわりに

別冊付録

視覚障害教育用触察教材作成のための3Dプリンター活用ガイドブック

はじめに

1. 3Dプリンターでできること
2. 3Dプリンターを知ろう
3. 3Dデータを知ろう
4. 3Dプリンターを使ってみよう
5. 3Dプリンター活用触覚教材例

おわりに

I 研究の目的と方法

1. 研究の背景

視覚に障害がある児童生徒の教育においては、視覚以外の感覚の活用が求められ、特に聴覚とともに触覚が重要な役割を果たしている。触覚の活用といえば点字が一般に想起されるが、触覚教材は点字以外にも様々なものがある。これらはその形状から分類すると、点図や立体コピーに代表される平面（2次元）的な触覚教材、レリーフ状になっている半立体（2.5次元）的な触覚教材、実物や模型などの立体（3次元）的な触覚教材に整理することができる。形状については、立体的に表現されている2.5次元や3次元の教材の方が触覚的に認知しやすく、具体的なイメージをもちやすいことなどから触覚教材として有用性が高いといえる。

しかしながら、視覚障害教育の現場では平面的な触覚教材が主に利用されているのが実情である。携帯性や保管スペースの確保などの制約も影響しているが、半立体的あるいは立体的な教材を教員が自作するためには、そのための知識や技能、さらには多大な労力と時間、コストが必要であり、教材のアイデアは有していても、それを実際に具現化することがはなはだ困難な状況にあったこともその大きな理由だといえる。このことは視覚障害教育の長年の大きな課題にもなっている。

研究代表者及び共同研究者は、こうした課題を解決するために、情報処理技術を活用した3次元造形システムに着目し、それらの視覚障害教育分野での活用の可能性を検討してきた。科学研究費による研究として、基盤研究B「視覚障害教育のための3次元CADを活用した2次元画像の立体的翻案に関する研究（研究代表者大内進、平成17年度～平成19年度）及び基盤研究A「視覚障害者の立体認識機構の研究および立体幾何学教材の開発（研究代表者手嶋吉法、平成19年度～平成22年度）」に取り組んできた。それらの研究の結果から3次元造形システムを活用することによって、一般には入手しにくい立体的な教材がイメージ通りに作成でき、視覚障害教育に大いに貢献できることが明らかになった。しかしながら、作成に要する経費が学校教育予算では高額であることや造形用データの作成に専門的な知識と経験が必要とされることなどの課題が大きな障壁となって普及が妨げられていた。

ところが、この数年において普及型の熱溶解積層方式(fused deposition modeling : FDM方式)による3Dプリンターの開発が進み、特別支援学校等でも納入可能な価格帯で市販されるようになってきた。また、3Dプリンターや関連ソフトウェアの操作性も向上し、特段の専門的な技術を有していなくても3次元造形ができるようになってきている。こうしたことから、視覚障害教育の学校現場でもその導入が模索され始め、今後急速に普及する兆しもみえてきている。

学校にこうした機器が導入され、これまで具現化することが困難であった触察立体

教材を、一人一人の児童生徒のニーズ等に応じて提供できるようになることは大変望ましいことだといえる。反面、視覚障害教育用の教材作製という観点から、造形される教材については、その形状等について触知覚特性に応じた配慮や工夫が必要であり、質感などの属性についても十分吟味することが求められてくることになる。

普及タイプの3Dプリンターは、高性能のものに比べて造形の精度や造形のサイズなどの性能面での制約があることも否めない。触察立体教材は単なる立体教材ではない。触覚活用を前提とした立体教材という意味である。しかしながら、学校現場では、3Dプリンターの有用性は認識しているが、どんな教材を作成したらよいか戸惑っているというのが現状である。また、学校によっては、既成のデータの中から視覚障害教育で利用できるものを選択するという方向で取り組んでいるケースもあるようであるが、どのようなデータが有効に活用できるか、模索しているという状況であると思われる。

使えるデータが限定されている現状では仕方がないことだとも思われるが、今後、3Dプリンターが普及していくことを想定すると、触覚活用を前提とした3D造形物は、視覚活用を前提とした3D造形物と同じではなく、触り心地や触覚の認知特性に配慮した造形物として開発していくことが望ましいといえる。

2. 研究の目的

以上のことを踏まえて、本研究では次のことを目的とする。

- (1) 3Dプリンターによる立体教材に関して、触覚活用を前提とした教材としての活用の可能性や課題点を明らかにする。
- (2) 実際の教材作成に当たっての配慮すべき点や工夫が望まれる点などを提案する。
- (3) 触覚活用を前提とした視覚障害教育用立体教材という観点から、現在市販されている普及タイプの3Dプリンターで出力した造形物について、その触覚活用面から客観的な評価を行う。
- (4) 3Dプリンターによる造形物の作製手順に関して教員向けにわかりやすいガイドブックを開発する。

3. 研究の方法

- (1) 研究の前提として、視覚障害教育用の触察立体教材の意義と活用方法について知見をまとめる。
- (2) 3Dプリンターを用いて視覚障害教育用の触察立体教材を作成する手順と作製プロセスでの留意点や工夫すべき点について整理する。
- (3) 普及型の3Dプリンターによって視覚障害用の触察立体教材を試作することを

通して、その作成方法や作成及び活用上の留意点等についてまとめる。

- (4) 現在入手可能な FDM 方式の普及型 3D プリンターを用いて出力した造形物の面、線、点等の基本的な形状に関して、触覚的な判別のしやすさについて検証する。
- (5) 以上の知見や検証結果などを踏まえて、3D プリンターによる造形物の作製手順に関して教員向けのわかりやすいガイドブックを作成する。

(大内 進)

Ⅱ 視覚障害教育における触察立体教材の意義と活用

1. 触覚による情報収集ということ

(1) 触運動知覚

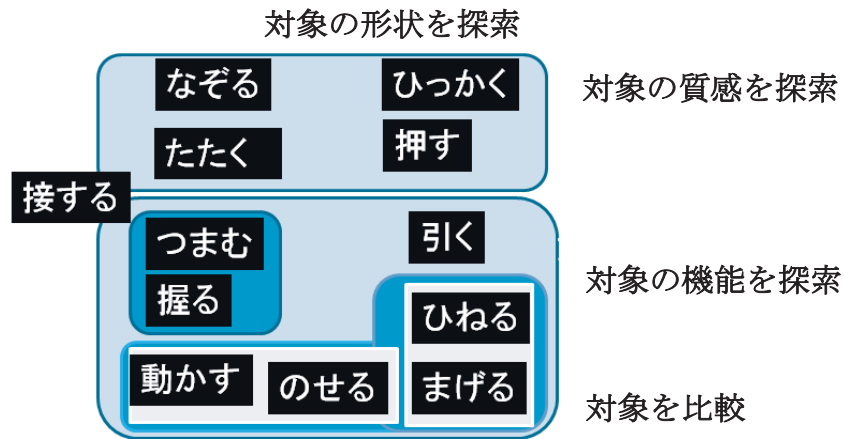
「触覚」という言葉は幅広く用いられており、狭義の意味では、接触・圧力・振動などの状態や変化をとらえる皮膚感覚をさしている。視覚障害教育の分野などで「触覚活用」という用語を用いる場合は、単なる皮膚感覚だけではなく自己受容感覚とが一体となって働いている手指を使った探索活動である触運動知覚 (haptic perception) の意味でも使われていることが多い。

視覚障害者は触覚が敏感だといわれることがあるが、Axelrod (1959) が述べているように「視覚の損傷がただちに触覚の感度を高めるもの」ではない。長期にわたる触覚を活用した認知経験の積み重ねの結果として触覚を活用した情報入手の力が向上してくるのである。

視覚に障害がある人にとって、日常生活で、身のまわりの事物等をただ触るだけでなく、手指をさまざまに動かして探索することが意味を持つてくる。触覚で情報を得ようとした場合、まったく手指を動かさずに事物に手指を触れさせただけでは、その事物の形状や表面の肌理などはかすかにしかとらえることができない。これが触運動知覚であり、能動的な知覚過程だといえる。つまり、皮膚面の知覚は、対象物の質感や弾性をとらえるセンサーの役割を果たし、運動感覚では、動き（向き、速度）や圧をとらえることが可能になるのであるが、その両方を働かせる触運動知覚になると、対象物の属性の詳細をとらえたり、2次元パターンや3次元形状をとらえたり、大きさや重さをとらえたりすることが可能となってくるのである。

アメリカやカナダで活躍している Lederman (1987) らは、この触運動による手指の使い方と事物の特性の認知の関係を明らかにした。

手の使い方という観点からは、対象の形状を探索する場合、対象の質感を探索する場合、対象の機能を探索する場合、対象を比較する場合などで、特有の手の使い方があるということも整理した (図Ⅱ-1)。



図Ⅱ－１ 触運動知覚と手指の使い方

また、手指の使い方と事物の特性の認知という観点から、自由に事物を触察する際の手指の使い方を観察して、その手の動きを6種類に分類した。すなわち、手を前後左右に動かす (lateral motion)、手を事物に押しつける (pressure)、手を触れて静止させる (static contact)、対象物を手にのせて持ち上げるような動きをする (unsupported holding)、片手及び両手で包み込む (enclosure)、輪郭を探る (contour following) の6種類である。それぞれの探索の仕方が特有の属性をとらえるのに適していることを見いだした。

つまり、lateral motion はテクスチャー、pressure は硬さ、static contact は温度、unsupported holding は重さ、enclosure は嵩 (かさ) や全体の形状、contour following は細部の形状の把握にそれぞれ有効であった (表Ⅱ－1)。この分類にしたがって、さらに手指の使い方と属性の記述に用いられる用語の関係を整理したものが表Ⅱ－2である。

3次元の形状 (体積、全体的な形、細部の形) を効果的にとらえるためには、「包み込み」と「輪郭探索」の2つの探索法が重要な役割を果たしているといえる。

表Ⅱ－１ 情報収集のための手指の使い方の例

探索法	手の使い方
Lateral motion	表面をこする動き
Pressure	圧す動き
Static contact	静的な接触
Unsupported holding	支えないで持つ動き
Enclosure	包み込む動き
Contour following	輪郭をたどる動き

表Ⅱ－２ 事物の属性と手指の使い方

属性や感覚特性	属性の記述に用いられる用語と手指の使い方
振動	速い ← Static contact → 遅い
表面の肌理	粗い ← Lateral motion → 滑らか
乾き具合/湿り具合	湿っている ← Static contact → 乾いている
表面温度	熱い ← Static contact → 冷たい
形状	複雑 ← Enclosure → 単純
傾き	急勾配 ← Contour following → 平坦
曲がり具合	曲がっている ← Contour following → まっすぐ
硬さ/柔らかさ	固い ← Pressure → 柔らかい
重さ	重い ← Unsupported holding → 軽い
弾性 (Elasticity)	伸縮性のある ← Enclosure etc → 堅固な
柔軟さ	しやかな ← Enclosure, Lateral motion, etc → 硬直した

McLinden, M., McCall, S. (2002) より

(2) 触覚の特性

①時間特性と空間特性

触覚は、部分的・継時的である。触覚は聴覚と同じく、時間的特性に優れている。刺激の発生から認知までの時間が短く、いわば瞬間的といえるほどの刺激を継時的につなぎ合わせてひとつのまとまった情報として読み取ることができる。点字の触読では、この触覚の特性が十二分に生かされているといえる。

それに対して視覚は、全体的・同時的である。視覚は空間特性に優れていて、精密さはもちろんのこと、遠近や広がり（視野）においても優れた能力を持っている。たとえば触覚は最も敏感な部位でも2点弁別閾値は2mm前後であるのに対して、視力1.0の2点の分解能は約1'、30cmの距離で約0.1mmとなる。この点からすると触覚の情報収集力の制約ははなはだ大きいといわざるを得ない。しかし、視覚がこうした力を発揮するためには一定の時間が必要とされる。瞬間的な刺激の変化に触覚や聴覚ほどには即応できないのである。

②自己受容感覚

触知覚では、対象の形や表面の肌理を皮膚面で直接感知しているのではなく、対象が手指の皮膚に与えている変形をとらえ、内部の様々な部位にある触受容器も反応し、それらを介することによって対象の属性等をとらえているといえる。従って、触覚による認知能力は、上手に体全体を活用して触知覚経験をしている人と単に指先だけで事物をとらえようとしている人とでは、その認知のレベルが大きく異なってくることが予想される。触運動知覚は、手の状態、手指、腕を含む体の使い方、対象物の状態などの環境に大きく影響を受けることになる。

(3) 触覚の制約

触覚を活用することによって様々な属性等の情報を入手できるとともに制約もあることを確認したが、その制約面について整理しておく。

①いちどきに得られる情報量が限られている。触野が狭いということである。

②分解能が粗い。指先の2点弁別閾と30cmでの視力1.0の場合の分解能を比べると、視覚のほうが10数倍優れている。面積で考えれば、この差は数百倍になる。さらに視覚では色や明度の違いなども利用できるのにより明確な認知が可能になる。

③漏れが生じやすい。触運動知覚では、手指の運動に従って継時的に情報を積み重ねていくことになるが、そのために触対象についての一部の情報が欠落してしまう場合がある。触対象全体についての情報を得るには、手指を系統的にスキャンする技術が必要であり、それを身につけるためにも、多くの時間が必要になる。

2. 触覚教材の立体度からみた分類

視覚には及ばないものの触覚を活用することによって、事物のさまざまな属性等の情報を得ることができること、制約も多いという特性があることを確認してきた。視

覚に障害がある幼児児童生徒への指導で、触覚教材を利用する場合には、こうした特性を十分に踏まえて対応していくことが大切になってくる。

触覚を活用した指導では、触覚教材を用いることになるが、その触覚教材も環境の一つであり、理解を促すための配慮が必要になってくる。この配慮という面から触覚教材の立体度という点に焦点をあてて分類整理しておくことにする。

(1) 立体度による特性

視覚障害教育で用いている触覚教材は、その立体度から整理すると、3次元教材、2.5次元教材、2次元的凸教材に分類することができる。それぞれの特性を以下に示す。

① 3次元教材

実物、模型、モデルなどの立体的な造形物である。形という点に着目すると、面で構成されていて量感と共にとらえられるため、触覚による観察でも3次元形状の具体的で確かなイメージを持つことができる。任意の方向から観察出来るという自由度も高く、その点でも全体像が把握しやすい。

② 2.5次元教材

立体的な表現や細部の詳細な触覚的認知が可能であり、高さの手がかりを活用出来る点で3次元教材の特性を有する。他方、観察する方向が限定されるという点で制約のある表現になっており、この点では2次元的要素を有している。

③ 2次元的凸教材

平面に均一な高さで面、線、点により2次元的な図画像が示されている教材である。凸図、触図、点図と云われている教材のほとんどは2次元的な情報を得るための触覚教材である。表現される方向が限定され、内容の読み取りに際しては輪郭線の役割が大きい。この2次元的触覚情報から立体をイメージすることは極めて困難である。

それぞれの教材と手指の使い方との関係は、表Ⅱ-3のように整理することができる。

表Ⅱ-3 触覚教材の立体的形状による分類

形状	教材例	手指の使い方
3次元教材	<ul style="list-style-type: none"> ・実物教材 ・3次元立体模型 ・3次元立体モデル 	包み込み 輪郭探索 表面こすり 圧迫 静的接触 不支持保持
2.5次元教材	<ul style="list-style-type: none"> ・真空成型教材 ・レリーフタイプ触地図 ・各種素材を利用した触る絵 	包み込み△ 輪郭探索 表面こすり 圧迫 静的接触 不支持保持
2次元的凸図	<ul style="list-style-type: none"> ・紙に凹凸をつけた点図 ・立体コピー教材 ・紫外線硬化樹脂教材 	輪郭探索 表面こすり 静的接触

この表から、制約の多い触覚活用の中でも2次元的な凸図の場合は、手指の使い方もさらに限られ、収集できる情報量も限られてくること、それに対して、3次元や2.5次元の教材では、様々な手指の使い方が可能となり、入手できる情報の質や量も豊かになってくることが理解できるであろう。結論から言うと、視覚障害教育において形状の理解が必要な内容については、立体的な3次元教材の利用が重視されなければならないということである。

3. 3次元を触るということ

(1) 立体あるいは実物教材の特性

立体あるいは実物教材の特性としては以下のような点が上げられる。

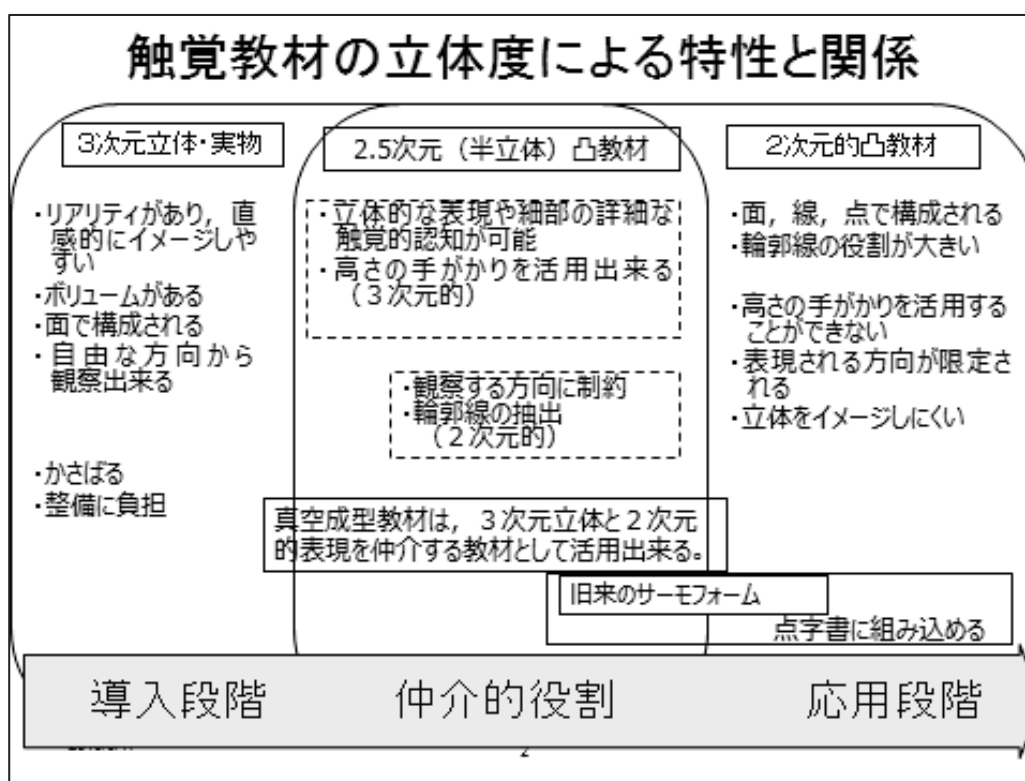
- ・具体的に形状等を把握することができる。
- ・リアリティを感じる事が出来る。
- ・あらゆる方向から観察出来る。
- ・直感的にとらえることができるため、心理的な安定感も得やすい。

こうした3次元教材の特性は、視覚に障害がある児童生徒が、触覚を活用して概念形成を図っていく上で重要な意味を持っている。

(2) 3次元の理解から2次元へ

形あるものは、概念形成の観点からも、実物や模型（3次元教材）によって理解を図っていくことが大原則である。3次元形状のイメージを有することによってこそ、2次元的な情報も十分に活用することが可能となってくるのである。視覚障害教育では、その重要性を理解した上で触覚教材を扱っていくことが求められる。

実物や3次元の教材を触って具体的なイメージを明確に持つ → 2.5次元教材を触って一定の方向から見た形をイメージするとともに輪郭線を抽出する → 2次元的凸教材（触図）を触って平面的な面、線、点の情報から立体物をイメージするという方略が考えられる。3次元教材、2.5次元教材、2次元教材の関係を図II-2に整理した。



図II-2 触覚教材の立体度による特性と関係

4. 3次元教材の有用性 当事者から学ぶ

これまで、3次元触覚教材の有用性について、触覚活用の特性という観点から述べてきたが、実際に視覚に障害がある人々が触覚立体教材の有用性を説いている。具体的な例を示すことが最も説得力に富んでおり、以下に文献資料に基づいてその事例を紹介する。

(1) 桜井政太郎氏の実践

桜井政太郎氏は、岩手県立盲学校（現岩手県立盛岡視覚支援学校）で理療科教員を務められた。盲学校在職中から自費を投じて立体教材を収集され、自宅を開放して「手でみる博物館」の運営を始めている。この博物館は、現在は NPO 法人に発展している。

自身も全盲である桜井氏がこの博物館を開設するようになったきっかけは、ご自身が高校生の時の体験が大きく影響している。東京教育大学附属盲学校（現在の筑波大学附属視覚特別支援学校）高等部に在学中のことである。ある博物館を見学した折、桜井氏が展示してある「ヘビ」の剥製に触って観察しようとしたとき、博物館の学芸員から「触ってはいけない」と注意を受けたのである。

桜井氏は、「視覚に障害がある人、特に全盲の人は、事物に触ってこそ確かなイメージをえることができる。言語で説明を受けても、触らなければ確かなイメージを持つことはできない。全盲の人が、博物館に行っても触ることを拒否されたり、ガラスケースに入れられていたりした場合は、収集できる情報が極めて限られてしまう」（桜井，2014）という危惧感を持った。そして「触ってはいけないと叱られるなら、自分で収集して思う存分触察しよう」（桜井，2014）と思いたち、自費で興味関心あるものを集めるようになったのである。その結果として、触察できる事物が増え、ご自宅の改築を機に「手でみる博物館」を開設し、現在に至っているのである。

「手でみる博物館」には桜井氏の哲学があり、「触生命」・「触宇宙」・「触文化」がその3本柱となっている。この言葉は桜井先生の造語であるが、この博物館では、生命に触ること、宇宙に触ること、文化に触ることを主眼に置いて様々な立体物が収集展示されている。動物の模型、剥製、骨格標本、天文関係の模型、歴史や文化に関連する建造物、銅像、楽器などである。収蔵品の数は8,000点に及んでいる。

桜井氏は、触察こそ「知る世界」から「わかる世界」へ踏み出す最も大切な手段であると主張し、初期の概念形成では立体物（3次元教材）が重要であることを強調する（桜井，2014）。立体物の触察の重要性という観点から桜井氏が主張している指摘を吟味しておきたい（桜井，2014）。

(1) 目による観察と手による観察の違いの理解

目で見るといわれる観察が一気に全体をとらえられるのに対し、手で見るといわれる触察は部分からでないと全体把握ができない。

(2) 動機付けや情熱が必要とされる触察

直接事物に触れ、両手を移動させることで触察が成立することから、目で見るといわれる観察に比べてより多くのエネルギーが必要なことになる。それだけに触察には強い動機付けや情熱が要求される。触察力より触察欲が大事なゆえんである。

(3) 模型やレプリカも大切

ものによっては実物触察より模型やレプリカ触察のほうが正しく理解できる。例え

ば、かたつむりなどの触察がそれにあたる。

(4) 大きいものは小さく

大きなものは縮小して触察する。「群盲、象を評す」の例えは、触察の陥りやすいところをついている。

(5) 小さいものは大きく

小さいものは拡大して触察する。小さいアリの標本より、拡大した模型を使用したほうがわかりやすい。DNA の 1 億倍の模型など、その構造を理解するのに便利である。

(6) 2次元より3次元

2次元の平面図より、3次元の立体模型のほうがより理解しやすい。

(7) 動物は頭から尾に向かって

剥製などの触察にあたっては、頭部から尾に向かって触察すれば、剥製を傷めず効果的である。

(8) 縮尺のスケールも大事な情報

触察にあたって、模型などが実物の何倍か何分の一かわかればより鮮明に理解できる。

(9) 全体と部分の関係づけも大事

例えば、セイウチの歯と一緒にセイウチの模型を見るとか、ジャンボジェット機のタイヤを見るときにジャンボジェット機の模型を見ることにより、全体把握がより正確になる。

(2) 貝殻の世界的研究者 ヒーラット・ヴァーメイの研究と触察

ヒーラット・ヴァーメイ (Geerat J. Vermeij, 1946 年～) は、貝殻の研究で足跡を残したオランダ出身の全盲の進化生物学者である。カリフォルニア大学デービス校の地質学教授である。3歳で失明したが、9歳のとき一家でアメリカ合衆国に移住し、10歳で科学者を志した。プリンストン大学で、ロバート・マッカーサーの指導を受ける。1968年にプリンストン大学を卒業し、1971年にはイエール大学から生物学と地質学の博士号を授与された。メリーランド大学を経て、カリフォルニア大学へ移り現在に至っている。

ダーウィンは、野外で観察したデータや文献情報に基づいて、進化の理論(仮説)を提唱してきたが、ヴァーメイもこのようなスタイルで研究を行った研究者の一人である。ヴァーメイがダーウィンと異なっているのは、彼が「全盲」だという点である。一般の研究スタイルとは異なり、触察で貝殻の堅さに注目した。

ヴァーメイは、触察の特性をいかんなく発揮して、博物館の貝殻標本を丁寧に調査し、貝殻に残された傷跡が熱帯域では多いことを発見した。その結果、高緯度海域よりも熱帯海域に生息する貝類の殻が硬くその殻口が複雑に入り組んでいることに注目し、カニ類の貝類捕食行動を実際に観察し、熱帯域の貝殻が硬かったり貝殻の口が入

り組んだりしているのは、カニ類などの捕食者に対する防御の結果であるという仮説を提唱するに至ったのである。

ヴァーメイは、貝殻の触察から得た膨大な情報を整理して記憶に留め、細心の注意を払っての研究を推進して大学者となった。

一人の盲少年に触察を駆使して研究活動を指向することになるきっかけを与えたのは、統合教育先の小学校の教師であった。視覚に障害がある子どもの教育において質の高い実物教材を利用することの重要性を示すエピソードの一つだといえる（ヴァーメイ，2000）。

（3）手でみる美術館「ギャラリー・トム」における彫刻の触察による鑑賞

1970年、日本で初の視覚障害者のための美術館「ギャラリー・トム」が誕生した。この美術館がその開設記念として、国内外でも著名な彫刻作品等の展覧会を開催した。何の気兼ねもなく、視覚障害者が作品を触って鑑賞できる展覧会であった。この作品展を鑑賞した視覚障害者の感想が用美社刊「彫刻に触れるとき」に掲載されている（用美社，1997）。

彫刻家の佐藤忠良は、「人間は生まれたとき触覚によりはじめて世界を知るのですから、どのような人生も『触ること』から始まるのです。」と述べている（佐藤，1997）。本書からは、視覚に障害がある児童生徒が彫刻という立体物を触察することで、如何に豊かな情感がわきたてられるかを知ることができる。触察立体教材の一つとして立体的な「芸術作品」を触察することの意義を学ぶことができる。

立体的な彫刻作品を触察してどのような感想を持ったかを具体的に知ることができ、触察の重要性が浮かび上がってくる。ロダンの彫刻作品の触察による感想を参考までに表Ⅱ-4に示した。

表Ⅱ-4 ロダン「〈カレーの市民〉の大きな手」鑑賞の感想（用美社，1990）

○ダイナミックで、ザラザラしていて大きく、本当の手のようにだつたが、もっと細かく生命線などもつけばいいと思った。

○この大きな手をもった男は、はるか以前に殺された。その人とともに喜び働いた手もない。ここにあるのは何だろう。血管の浮き出た節くれだつた大きな手。助けを求めているようでもあり、あきらめようとしているようにも見える。この男は、働いて生活し、生命を落して市民を救った。そしてロダンは、その人の手をつくった。その手がいて、ロダンはいないようにみえる。ロダンはきっと素晴らしい彫刻家であつたのであろう。

○一つ一つ触っているうちに完全にはわからないけど、作品一つ一つに魂がこもっているように

感じました。また、個性の表現も感じられました。中でも「〈カレーの市民〉の大きな手」は嬉しい、いかにも男らしく強そうな手と思いました。

○ロダンの「手」には、強い意志と力を感じ、想像していた手と大きく違いました。手の持つ心の意味について、深く考えさせられました。

（４）長棟まお氏の「手による認識」

長棟まお氏は、全盲の劇作家である。長棟氏は、台座を含めてもわずか十五センチ足らずという小さな木製の観音立像を触察した体験を記している（長棟，1988）。長棟氏の記述からはいくつかの重要な点を学ぶことができる。まず、観音像は「土産物屋の店頭を飾る一嗜好品にしてはいささか場違いなほど優れたできばえ」で、手指を使って触察するのに適した形状、材質であったということである。長棟氏の手指によって十分に触察され、肉厚なダイナミックな体験として記憶に残すことができたのである。小さいながらも「優れたできばえであった」観音立像であったからにはほかならない。

また、「土産物屋を一軒一軒当たったすえに、ようやく出会ったのがこの観音だったのである」（長棟，1988）という記述からは、本人の意欲、自発性が浮かび上がってくる。触覚活用においては、能動性がその認知活動に大きく影響する。

また、次の一文には、触覚でこそ味わえる認知活動が記されている。

「私の手がとらえたこの木像の一番の魅力は、そうした姿形ではなかった。息をのむほど美しいノミ跡が、衣全体をびっしりと覆い尽くしていたのである。まるで魔法の指が、スルスルと無駄を刮げすり切っていったかのような、その小さな面向連なり、そしてその面と面とをつないで、一見、縦横無尽と表現したくなるような不思議な規則性を持ちながら、伸びやかに満ち広がっている微細な曲線の円やかさに、私は心の底から驚嘆せざるを得なかった」（長棟，1988）。

このエピソードは、視覚ではカバーできない情報を触察によって得ることができることを示している。触察では、単に全体的な形状だけではなく、表面の微妙な肌理もとらえることができる。長棟氏の記述は、触察では、物体の特徴、つまり大きさとか形状をとらえるだけでなく、心的な心地よさ、つまり「美的な」情感をも享受できることを示してくれている。そして、こうした触覚的な情感は、視覚では決して得られず、触覚体験によってのみ得られるということも留意すべき点である。このエピソードから、質の高い触察立体教材の重要性についても学ぶことができる。

（５）長尾榮一氏による触察による彫刻鑑賞

長尾榮一氏は、昭和6年東京生まれで、4歳の時に失明。昭和12年官立東京盲学校

(現筑波大学附属視覚特別支援学校)に入学し、中等部を経て、昭和26年同師範部を卒業。卒業と同時に同校の理療科教師となり、後に筑波大学教授として活躍された。教壇に立ちながらツボの存在についての研究を続け、昭和54年東京大学から医学博士号を受けている。日本初の全盲の医学博士であった。『鍼灸按摩史論考』などの著書が多数あり、東洋医学の発展に大きく寄与し、昭和62年には内閣総理大臣賞も受賞されている。残念ながら、2012年2月に逝去されているが、生前、彫刻に興味を持たれ、国内の美術館を巡って多くの彫刻を触察により鑑賞されていた。長尾氏は、こうした自身の鑑賞体験を『視覚障害』誌に12回にわたって紹介している。鍼灸按摩の大家だけに、解剖学的な知見を有しており、鍼灸按摩マッサージの臨床経験も豊かであるだけに、人物像や顔の表情の触察によるとらえ方が奥深いところに、その鑑賞記の特徴が認められる(長尾, 2005a 他)。

先に紹介した「彫刻に触れて」の中には、「人の顔というのは、触ってその年齢や表情をよみとるのが困難だ。できれば人の顔を系統だてて、女性、男性、子供、老人などをじっくり触って見たい。」という感想があったが、こうした感想は、視覚に障害がある児童生徒に一般的なものと思われる。多くの視覚障害者は、身内であっても自分以外の人の顔を触るということを経験する機会は少ないからである。顔の表情を理解することは思いの外大変な事だといえる。長尾氏の場合は、職業柄、人の体や顔を触診する機会が多く有り、その経験は彫刻の鑑賞にも多いに役立っているところがあるといえる。

(6) まとめ

本節では、3Dプリンターによる触察立体教材の作成と活用のための基本事項として、視覚障害教育における実物や立体模型の重要性について整理し、具体的に視覚に障害がある人々が触察を十二分に活用して豊かな情報収集を行っている具体事例を紹介した。視覚障害教育における触覚活用の重要性と触察立体教材の3次元教材の有用性を改めて確認したが、これらは次のように整理できる。

1. 触察用立体教材は視覚障害教育において大変重要な教材であり、積極的に活用していく意義がある。
2. 触察用立体教材の作成や利用に際しては、触覚活用の特性を考慮する必要がある。
3. 触察力が向上してくると、触覚活用により豊かな情報を取得することができるようになる。それは、日々の経験の積み重ねの賜物であり、視覚障害教育においては触察活用の向上を目指した指導法や指導内容の工夫が必要であり、また積極的に触覚を活用する環境を整えることも大切になってくる。

5. おわりにー3Dプリンターによる触察立体教材の造形への期待と課題

アメリカでは、オバマ大統領の肝いりで、3Dプリンターが、STEM教育（科学・工学・エンジニア・数学）のさらなる向上のために約1,000校に導入されたという（安齋，2013）。日本国内でも、政府は「世界最高水準のIT社会の実現」に向け、IT教育推進ツールのひとつとして3Dプリンターの導入支援について言及している（平成25年6月14日閣議決定、「世界最先端IT国家創造宣言」）。3Dプリンターの学校教育への導入が促進されることは、視覚障害教育にとっても意義ある事だといえる。

本章では、触察用立体教材が視覚障害教育において大変重要な教材であり、触覚活用の特徴を踏まえた教材を積極的に活用していく意義があることを示し、触察力が向上してくると、触覚活用により豊かな情報を取得することができるようになることを紹介した。視覚に障害がある子供にとっては、紙や画像でしか見ることのできなかつたものはブラックボックスになっている。また、立体についても、これまで平面図、立面図、正面図による投影的な方法、断面図、展開図などの2次元な表現で示されているものが多かった。こうしたものが、3Dプリンターで造形することができるようになれば、実際に触って観察することが可能となり、視覚に障害がある子どもの学習意欲の維持と学力の向上につながるということが考えられる。今後の発展と活用が大いに期待されるところである。

しかし、触察用教材作成における3Dプリンターの活用という観点からは、3Dプリンターの性能及び3Dデータについて吟味が必要である。3Dプリンターの性能については、触察用教材作成では、造形精度や質感という点からの検討が必要となる。3Dプリンターであればどれもよいというわけにはいかないのである。また、3Dプリンターは出力するための装置であり、3Dデータが存在しなければ作動しない。特に視覚障害教育現場で使用する事を想定して作成された触察用3Dデータはほとんど存在しないというのが現状である。

第Ⅲ章以降では、これらの課題や検討事項を扱っていくことになる。

文献

- (1) 安齋正博(2013). 3Dプリンターへの期待. 日本機械学会ニューズレター
- (2) Axelrod, S.(1959). Effects of Early Blindness: Performance of Blind and Sighted Children on Tactile and Auditory Tasks. American Foundation for the Blind, New York.
- (3)Hattwell,Y. (2003). Touching for Knouwing. John Benjamins Pubulishing Company.
- (4)Heller,M.A. (2014). Psychology of touch and Blindness. Psychology press.
- (5)東山篤規(2000). 『触覚と痛み』. ブレーン出版.
- (6)東山篤規(2012). 『体と手がつくる知覚世界』. 勁草書房.

- (7)工藤滋(2014). 何度でも訪れたい桜井博物館の魅力. 視覚障害教育ブックレット, Vol.22, 14-19.
- (8) Lederman, S.J., & Klatzky, R. L. (1987). Hand movements: A window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology*, 19, 342-368.
- (9) Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (1990). Haptic object classification of common objects: Knowledge driven exploration. *Cognitive Psychology*, 22, 421-459
- (10)McLinden,M., McCall,S.(2002) Learning through touch. Supporting children with visual impairment and additional difficulties. David Fulton
- (11)松平久美子(2011). 視覚障害教育の維持と継承について—本校の取り組みと桜井政太郎先生から学んでいること. 視覚障害教育, 110, 13-18.
- (12)長尾榮一(2005a). 手と耳で楽しむⅠ 江戸・東京を中心に「江戸東京博物館」「深川江戸資料館」「貨幣博物館」「文京区ふるさと歴史館」, 視覚障害, No.201,
- (13)長尾榮一(2005b). 手と耳で楽しむⅡ 民音音楽博物館, 視覚障害, No.203
- (14)長尾榮一(2005c). 手と耳で楽しむⅢ 宮城道雄記念館, 視覚障害, No.205
- (15)長尾榮一(2005d). 手と耳で楽しむⅣ 静岡県立美術館, 視覚障害, No.207
- (16)長尾榮一(2005e). 手と耳で楽しむⅤ 安曇野の礫山美術館、穂高会館, 視覚障害, No.209
- (17)長尾榮一(2005f). 手と耳で楽しむⅥ 北野美術館、北野建設彫刻ギャラリー, 視覚障害, No.211
- (18)長尾榮一(2006a). 手と耳で楽しむⅦ 朝倉彫塑館, 視覚障害, 2006, No.213
- (19)長尾榮一(2006b). 手と耳で楽しむⅧ 丸の内さえざり館, 視覚障害, 2006, No.215
- (20)長尾榮一(2006c). 手と耳で楽しむⅨ モナ・リザの笑みを探る, 視覚障害, 2006, No.217
- (21)長尾榮一(2006d). 手と耳で楽しむⅩ 鳥の博物館, 視覚障害, 2006, No.219
- (22)長尾榮一(2006e). 手と耳で楽しむⅪ 箱根彫刻の森美術館, 視覚障害, 2006, No.221
- (23)長尾榮一(2006f). 手と耳で楽しむⅫ (最終回), 盲教育資料館, 視覚障害, 2006, No.223
- (25)長棟まお(1990). 手による認識. 『手は何のためにあるか』所収, 風人社.
- (26)桜井政太郎(2014). 視覚障がい者と触察「知る世界」から「わかる世界」へ・想像からの脱却を目指して. 視覚障害教育ブックレット, Vol.22, 6-13.
- (28)ヒーラット・ヴァーメイ (羽田裕子訳) (2000). 『盲目の科学者—指先でとらえた進化の謎』. 講談社.
- (29)澤村貴雄・曾我聡起 (2014). 3D データ・3D プリンターの教育利用の可能性について. 2014 PC Conference
<http://gakkai.univcoop.or.jp/pcc/2014/papers/pdf/pcc068.pdf> (2015年1月10日閲覧)

(30)用美社（1985）.『彫刻に触れるとき』. 用美社

(31) 大山正・今井省吾・和気典二（編）(1994).『新編感覚・知覚心理学ハンドブック』.
誠信書房.

（大内 進）

Ⅲ 触察立体教材作成の観点からみた3Dプリンター

第Ⅱ章では、視覚障害教育における立体（3次元）教材の意義について述べた。

実際例などの紹介を通して、触察用立体教材は視覚障害教育において大変重要な教材であり、積極的に活用していく意義があること、触察用立体教材の作成や利用に際しては、触覚活用の特性を考慮する必要があること、触察力が向上してくると、触覚活用により豊かな情報を取得することができるようになるが、それは日々の経験の積み重ねの結果であり、視覚障害教育においては触察活用の向上を目指した指導法や指導内容の工夫が必要であり、また積極的に触覚を活用する環境を整えることも大切になってくることなどを明らかにした。

従来は、紙や画像でしか見ることのできなかつたものは、視覚に障害がある子供にとってはブラックボックスになっていたが、そうした画像等の内容を3次元に具現化することができれば、視覚に障害がある子どもにとってより理解しやすくなり、学習意欲の維持と向上につながる事が考えられる。

また、立体については、これまで平面図、立面図、正面図による投影的な方法、断面図、展開図などの2次元な表現で示されていた。こうした表現ではイメージが難しいが、3Dプリンターで造形することにより、実際に触って観察することができるようになる。

本章では、触って利用する教材の作製という観点から、3Dプリンターを利用して触察立体教材を作成する手順と作製プロセスでの留意点や工夫したい点について整理する。

1. 3Dプリンターについて

近年、「3Dプリンター」が広く話題を集めている。3Dプリンターは、3次元データから3次元造形ができる装置を総称して用いられている。3Dプリンターの原理は新しいものでなく、製造業の分野ではすでに20年近く前から使われている装置である。近年、3Dプリンターの基本技術の1つである熱溶解積層方式(fused deposition modeling、以下 FDM)の特許が開放された。このことにより、FDM方式による一般向けの3Dプリンターが製造販売されるようになった。

業務用の3Dプリンターは、安いものでも100万円を超えており、個人が気軽に購入できるものではなかったが、FDM方式による3Dプリンターの開発が進み、個人にも手が届くようになった。10万円を切る製品も登場している。

精度や信頼性は業務用プリンターには及ばないが、こうした個人向け3Dプリンターの登場は、視覚障害教育における立体教材の作製に新たな可能性をもたらしてくれるものと期待される。

しかし、3Dプリンターによる立体物の造形は、まだ紙に写真やイラストを印刷するような気軽なものではない。

そこで、本章では、個人向け3Dプリンターの概要及び使い方について整理し、視覚障害教育用触察立体教材作製装置としての可能性や活用する上での留意点について検討することにする。

2. 3Dプリンターの方式とその特徴

視覚障害教育の現場等でも購入可能な20万円程度で購入できるパーソナル3Dプリンターに関する基本情報について調査した。その結果から3Dプリンターの方式とその特徴を整理し、紹介する。

3Dプリンターには様々な印刷方式がある。廉価で出回っている3Dプリンターは、プラスチックのフィラメントをさらに細い糸状に融解して、それを積層していくことによって立体物を成型するFDM方式によるものほとんどである。

(1) FDM方式

① 原理

フィラメントと呼ばれている糸状の樹脂を、溶解ヘッドを通して熱で溶かし、溶けた樹脂を溶解ヘッドのノズルからさらに細い糸状に押し出して成型台（プラットフォーム）上に2次的に描き、それを上方向に積層していくことによって造形する仕組みになっている。

② 利用できる材料

利用できる樹脂素材は、ABS樹脂、PLA樹脂、ナイロンなどである。装置によって利用できる樹脂が限定される。

ABS樹脂とは、アクリロニトリル (Acrylonitrile)、ブタジエン (Butadiene)、スチレン (Styrene)を原料とする共重合合成樹脂の総称である。ABS樹脂は原料の頭文字である。常用耐熱温度は70~100℃である。ABS樹脂の成型物は、PLA樹脂に比べて粘りがあり、構造部品としての強度が保てること、積層した表面をサンドペーパーやヤスリなどで容易に処理することができるなどの長所がある。ABS樹脂の短所は、厚みのない造形物や大きい造形物では、樹脂の熱収縮性の影響で、成型中に反りかえり、形状が維持されなくなる場合があることである。

PLA樹脂は、ABS樹脂よりも成型温度が低く、成型物は粘りが少なく強固である。長所としては、変成が少なく大きい造形物を製作できる。植物由来の成分で出来ているため、成型中に不快なおいが少ない点などがあげられる。PLA樹脂の短所としては、成型温度が低いため、造形物自体が高温に弱いところや、表面が硬いため処理しにくいなどの点が挙げられる。塗装もABS樹脂に比べのりにくい。

触察立体教材造形の観点からは、成型物が強固である点が長所でもあり、短所でもある点に留意したい。強固であるということは、触覚教材としては壊れにくいという点で望ましいのであるが、固いため後処理で表面を削ったり、滑らかにしたりするという作業が行いにくい点では扱いにくい材料ということになってしまう。また、何よりも気を付けなければならないのは、先端が尖っている造形物などの場合、けがをすする恐れがあるということである。

以上のような点から総合的に判断すると、造形の際に変形しやすいという短所はあるものの、触察立体教材用の造形材料としては、ABS樹脂の方が好ましいといえそうである。

③ 装置の価格帯

数万～数百万円と幅が大きい。

④ 長所

特許が切れたため、多くのメーカーが参入し、機器開発の鎬が削られている。低価格の機器が登場し、機能も向上してきている。材料の取り扱いも比較的容易である。材料色の選択肢も多い。個人向け3Dプリンターのほとんどがこの方式を採用している。

⑤ 短所

造形精度はそれほど高くはないと考えたほうがよい。積層による造形のため表面に造形跡の凹凸が残る。触覚立体教材として利用する場合は、この凹凸の程度が検討課題となる。低価格の製品ではサポート専用材料を利用できないため、サポート部分の除去に手間がかかることもある。

(2) 光造形方式

① 原理

光造形法は、紫外線を照射すると硬化する液状の紫外線硬化樹脂を利用して造形する方式である。光硬化性樹脂を満たした槽に造形物の断面のパターンの紫外線レーザーを照射して1層ずつ硬化させ、それによって出来た層を幾重にも積層する事によって立体の造形物が形成される。STL(STereo Lithography)方式とも呼ばれる。

② 利用できる材料

エポキシ系樹脂、アクリル系樹脂などがある。

③ 装置の価格帯

数十万～数千万円。

④ 長所

造形精度が高く、積層跡もほとんど残らない。FDM方式に比べて積層ピッチも細かく仕上がりがきれいである。

⑤ 短所

サポート材料が必要である。材料色の選択肢も限られている。太陽光の下での劣化が起こりやすい。

(3) 粉末焼結方式

① 原理

粉末焼結方式は、微細な粉末状の材料にレーザー光線をあてて焼結させながら積層して造形していく方式である。樹脂だけでなくセラミックや銅、チタンなどの金属も材料として利用できる。SLS(Selective Laser Sintering)方式とも呼ばれる。

② 利用できる材料

ナイロン樹脂粉末、セラミック粉末、銅、チタンなどの金属粉末。

③ 装置の価格帯

数千万円以上する。学校等で納入するには高額であり、この装置での造形が必要な場合は、こうした機器を保有する出力センター等に外注することができる。

④ 長所

精度が非常に高い。造形物の耐久性も高い。したがって試作品(プロトタイプ)としてだけでなく、実際に動作させる必要がある部品などの試作にも利用できる。サポート材が不要である。

⑤ 短所

装置自体が非常に大きく、価格も高額である。

(4) 粉末石膏方式

① 原理

粉末石膏方式は、薄い石膏粉末の層にインクジェット方式で塗料と固着材を吹き付けて1層ずつ造形し、それを積層して立体物を造形する仕組みになっている。

② 利用できる材料

石膏粉末。

③ 装置の価格帯

数百万～数千万円。この装置も学校等で納入するには高額であり、この装置での造形が必要な場合は、こうした機器を保有する出力センター等に外注することができる。

④ 長所

フルカラーで造形することができるところに大きな特徴がある。カラー印刷ができるとはいつても、微妙な色合いなどの表現が難しかったり、装置毎に個体差があったりするなど、精度の面ではまだ十分とは言える段階には至っていない。人物のフィギュアなどの作成に向いている。サポート材も不要である。

⑤ 短所

材料が石膏のため、造形物は他の方式に比べて重くなる。また、材料の性質上強度面に不安がある。

(5) インクジェット方式

① 原理

紙面印刷と同様のインクジェット方式の原理による装置である。液状の紫外線硬化樹脂をインクジェットで吹き付け、紫外線を照射することで1層ずつ造形し、それを積層して立体物を造形する。

② 利用できる材料

アクリル系樹脂、ABS系樹脂、ラバー系樹脂、ポリプロピレン系樹脂など。

③ 装置の価格帯

数百万～数千万円。この装置も学校等で納入するには高額であり、この装置での造形が必要な場合は、こうした機器を保有する出力センター等に外注することができる。

④ 長所

精度が高い。2種類の材料を自由な割合で混合して造形できる製品も登場している。

⑤ 短所

太陽光の下での劣化が起こりやすい。

以上のように3Dプリンターの造形方式にはさまざまなものがある。

FDM方式以外の装置は、高価格であり、現状では、個人や視覚障害教育機関などで納入は困難だといえる。また、たとえ納入したとしても、装置の操作に専門的な知識や技能が求められ、日常的な維持管理の労力や経費の負担も大きく、さまざまな支障が生ずる心配がある。

現時点では、光造形方式を採用した低価格の装置もあるが、個人向けの3Dプリンターのほとんどは、FDM方式によるものである。

こうしたことから、本研究における視覚障害教育用立体教材作成のための装置としては、FDM方式の3Dプリンターを中心に据えて検討していく。

ただし、長期的に展望すると、他の方式の3Dプリンターのコストダウンも進む可能性があるため、広く各方式の特性について理解しておくことは大切なことだといえる。

3. 熱溶解積層（FDM）方式プリンターの特長

（1）動作環境

① 制御タイプ

現在市販されている個人ユーザー向け3Dプリンターには、プリンター本体にCPUが組み込まれていて、プリンター単体で造形作業を進めることができるもの（以下、スタンドアロンタイプ）と、3Dプリンターの制御はパソコンを利用して行うもの（以下、PC接続タイプ）とがある。

スタンドアロンタイプでは、造形用の3DデータをSDカードやUSBメモリなどから読み込むこませることによって、手軽に造形することができる。スタンドアロン動作が可能な装置であっても、PC接続にも対応しているものもある。

PC接続タイプでは、造形作業中は常時PCの電源を入れておく必要があるという注意が不可欠である。電源の設定を「スリープ」や「休止状態」に設定した場合、造形作業が中断してしまうことになる。PC接続タイプでは、造形の進行状況などを逐一確認できるという長所がある。一般にPC接続タイプでは、USBを経由するものがほとんどであるが、無線LAN経由で接続できる装置も登場してきている。

② 溶解ヘッド

FDM方式の3Dプリンターは、糸状のフィラメントと呼ばれる樹脂を高温で溶かし、フィラメントをさらに細い糸状にして造形を行なう「溶解ヘッド」という装置が大切な役割を果たしている。

この溶解ヘッドは、機種によって搭載数が異なっている。溶解ヘッドが1基のみの製品をシングルヘッド、2基搭載したものをデュアルヘッド、3基搭載したものをトリプルヘッドと呼んでいる。低価格の3Dプリンターは、シングルヘッドが中心である。シングルヘッドの場合、造形に1種類の材料しか使うことができない。そのため、造形物は単色になる。

また、3D造形では、オーバーハングする部分については、下に支えをつけて積層作業をしていくことになる。これをサポート部分というが、このサポート部分の造形も造形材料と同一の材料で造形されることになる。サポート部分は造形が終了したら取り除くものであるが、専用のサポート材でないと除去するのが難しくなる場合がある。

デュアルヘッドタイプでは、2種類の材料を同時に利用することができる。そのた

め2色のフィラメントを使って造形することができる。また、サポート部分を造形用とは異なった専用のフィラメントを用いることができる機種もある。サポート専用のフィラメントを用いれば、造形終了後のサポート除去が容易となる。

③ 造形サイズ

個人ユーザー向け3Dプリンターは、一般用の机の上に設置できるほどのサイズのものが多く、したがって、造形できるサイズも小さい。造形できるサイズは、プラットフォームの駆動方式の違いなどにより機種によって異なっている。造形サイズの大きい方が造形の自由度は高くなる。

視覚障害教育用の触察立体教材作成の場合、大きなものが一度で造形できるのは魅力的である。しかし、大きなものを造形しようとする、出力時間も長くなる。途中で造形に歪みが生ずるなどのトラブルも発生しやすくなる。

そのため、大きな物を造形する場合は、いくつかのパーツに分割して出力して、後でそれらを合体させることもトラブルを回避するための一つの方法である。そうした点からは、必ずしもサイズの大きい装置でなくてもよいということになる。

触察立体教材作成用の3Dプリンター導入に当たっては、造形サイズよりも、造形精度を考慮して機種の選択を考える必要がある。

④ 造形材料

前述したが、FDM方式の3Dプリンターでは、フィラメントと呼ばれる糸状の樹脂を熱で溶解して造形を行なう。機種によって、利用できるフィラメントの素材も異なってくる。

FDM方式のプリンターでは、フィラメントの素材としてABS樹脂またはPLA樹脂を利用する製品が多い。ABS樹脂の方がPLA樹脂よりも高温で溶解させる必要があり、冷える際の収縮率も大きいため、基本的にはプラットフォームにヒートベッドという余熱装置が必要になる。

PLA樹脂は、ABS樹脂よりも低温で溶解でき、ABS樹脂に比べて収縮も少ないため、プラットフォームから造形物が剥がれるトラブルが生じにくいという長所がある反面、表面が硬いため処理しにくい点や形状によっては怪我をする心配があるなどの短所もある。塗装もABS樹脂に比べのりにくい。また、PLA樹脂は高温には弱いので、例えば熱湯がかかるような用途などには向かない。

触察立体教材作成にあたっては、ABS樹脂とPLA樹脂の両方の材料に対応している機種の場合は、ABS樹脂を用いた方が後加工、安全性の面で望ましいといえる。

⑤ プラットフォーム

プラットフォームとは、造形物が形成される台のことである。溶解ヘッドがx軸に、このプラットフォームがy軸、z軸に移動しながら造形作業が進んでいく。

プラットフォームはできるだけ水平に設置されていることを確認する必要がある。水平でないと、プリント中にトラブルが生ずる恐れがあるため、造形前の確認が欠か

せない。プラットフォームの状態を自動で調整できる機器もある。マニュアルでも、ペーパーテストという方法で簡単に確認することができる。ノズルを最初の層をプリントするときの高さに合わせて、プラットフォームとノズルの間に紙を挟み、プラットフォームの四隅と中央にノズルを動かしてみて、5カ所すべての箇所で紙がノズルに接触しながら動かせるぐらいの間隔になっていれば望ましいということになる。

また、プラットフォームに油脂がついていると、プリントしたオブジェクトが剥がれてしまう恐れがあるため、プラットフォームは定期的アルコールで洗浄することも大事な配慮点である。

ABS 樹脂を使うときは、プラットフォームを最高温度で余熱しておく必要がある。余熱しておく、エッジがめくれ上がってしまうのを防ぐことができる。ABS 樹脂対応の機種多くにはヒートベッドが付属している。それについては次に説明する。

(6) ヒートベッド

ヒートベッドとは、造形プラットフォームの部分を温めるヒーターのことである。ヒートベッドがある機種の方が、造形のプロセスでプラットフォームから造形物が剥がれにくいといえる。造形物がプラットフォームから離れてしまうと以後の造形に影響が生じる。ヒートベッド付きのプラットフォームは、90°C前後まで温度が上昇するので、造形中にやけどをしないように注意する必要がある。

ABS 樹脂は PLA 樹脂よりも温度低下時の収縮が大きいいため、ABS 樹脂に対応しているプリンターには、ヒートベッドが備えられているものが多い。

(7) 積層精度について

FDM 方式の 3D プリンターでは、溶解ヘッドから押し出される溶けた樹脂を積層していくことで造形を行なうが、この上下方向の積層の幅を積層ピッチという。個人ユーザー向け 3D プリンターでは、積層ピッチ 0.1~0.5mm 程度の範囲で設定できるようになっているものがほとんどである。積層ピッチを 0.2mm に設定すると、高さ 50mm の物体を造形するには、250 層を積み重ねることになる。積層ピッチが 0.1mm の場合は 500 層積み重ねることになる。

積層ピッチが小さい方が積層の段差が目立ちにくくなり、より精細な立体の造形が可能になる。積層数が多くなる分、出力時間も長くなる。一般的には、積層ピッチと出力時間のバランスを考慮して、積層ピッチ 0.2~0.25mm 程度で造形されていることが多い。

視覚障害教育用の触察立体教材は、触覚を利用することが前提となっているので、積層ピッチは小さい方が望ましいと一般に言えるが、造形物の形状、3D データの設計の方法、プリンターの精度などにより、一概に言えるものではない。さまざまな条件を勘案して決めていく必要がある。同じ積層ピッチで造形しても、段差の現れ方は機種によって差があるので、この点も機種選択の際の重要な留意点となる。これについては、第IV章で詳しく報告する。

(8) 本体サイズ、重量、設置場所

長期に渡って利用する装置なので、本体サイズや重量も納入時の重要な検討材料である。設置したら、基本的に移動しないで用いる装置なので、設置しようとしている場所におけるかどうか確認しておくことが大事になる。

また、設置場所の面は、振動への対応が十分になされていること、可能な限り水平になっていることも大切な条件である。

FDM方式の3Dプリンターは、5万円前後から数百万円以上する業務用機種まで、非常に幅広い。しかし、10万円の製品と20万円の製品を比べても価格の違いが性能の違いを示しているわけではない。精度の高い造形を行なうためのポイントは、最適な環境を整えて利用することである。低価格な製品でも、調整をしっかりとって、最適な設定で出力を行えば、より高価な製品と遜色のない出力結果を得ることが可能となる。

3. 3Dデータの作成

3Dプリンターは、立体物を造形する装置であるが、その元となるのは3Dデータである。3Dプリンターは、3Dデータがなければ何の役にも立たない。特に視覚障害教育用の触察立体教材を造形する場合は、そのデータの質が重要になる。

すでに公的機関や3Dプリンターメーカーなどによって3Dデータのデータベースが構築されており、ネット上からさまざまな3Dデータをダウンロードして利用できるようになっている。しかしながら、それらのデータの中には、視覚的に享受することを前提としたものも多い。そうしたデータの中にはそのままでは視覚障害教育用の教材としては適切でないものも多く含まれている。

したがって、視覚障害教育用触察立体教材の造形という観点からは、触察に適したデータの作成が大きな課題となる。適切な3Dデータが用意できれば、3Dプリンターは視覚障害教育用の立体教材作成ツールとして大きな力を発揮するようになる。

以下に、3Dデータに関わる基本的な内容について述べる。

(1) 3Dプリンターの標準データ形式

3Dデータにはさまざまな形式がある。静止画像の電子データには、jpg、gif、png、bmpなどの画像データ形式がある。動画の電子データには、QuickTime、AVI、MP4などの形式がある。再生ソフトや編集ソフトによって対応している形式が異なっている。

3Dデータも状況は同じである。3DCADソフトや3DCGソフトによって対応している形式が異なっている。なお、3DCADとは、寸法の入った図面を三次元に発展させた電子製図ととらえると理解しやすい。3DCGとは、イラストレーターなどのデザイン要素を立体的にすることを意味しており、自由曲線や曲面が多くなる。

ほとんどの3D CADソフトや3D CGソフトは複数のデータ形式に対応しているが、標準で保存される形式はソフトによって異なっている。データ形式が異なっているのは、プリンターで出力する場合に支障が生ずることになるため、STL(STereoLithography)という3Dデータ形式が、標準データ形式として使われている。

STL形式

STL形式は、ポリゴンフォーマットという形式の1つである。立体の表面を数多くの3角形(ポリゴンという)で近似して表す形式である。STL形式で扱えるのは、あくまでポリゴンの集合体である。曲面は、ポリゴンの分割数を増やしてより細かな3角形で近似するようにして、曲面として表すことになる。STL形式は色情報も持っていない。したがって、基本的に単色で出力するFDM方式や光造形方式、粉末焼結方式の3Dプリンターで用いられている。以前は、STL形式での入出力に対応していない3D CADソフトや3D CGソフトもあったが、3Dプリンターの普及に伴い、多くのソフトがSTL形式に対応するようになっている。

(2) 3Dデータの作成

3Dデータ(STL形式)を準備する方法は大きく分けて2つある。1つは、3D CADソフトや3D CGソフトを使って、自ら3Dデータを作成する方法である。もう1つが、既成のデータをインターネット上のデータ提供サイトから3Dデータをダウンロードして利用する方法である。

自分で造形したい物体を自由にできることは、3Dプリンターの持ち味を最大限に生かすという意味でも、触覚活用に配慮した立体教材を作成するという意味でも望ましいことであるが、そのためには、3D CADソフトや3D CGソフトが利用できるようにならないといけない。

既成のデータを利用する方法は、すでに出来上がっている3Dデータをデータ提供サイトからダウンロードするだけなので、3D CADソフトや3D CGソフトのスキルを身につける必要はないが、触察立体教材として適切で希望する3Dデータが取得できるとは限らない。触察立体教材として利用する場合については、既成のデータの修正が必要だと考えておくべきだと思われる。

① 3D CADソフトの利用

3D CADソフトや3D CGソフトを使ってモデリングを行なうことで、3Dデータを作成することができるが、それぞれに得意分野が異なる。

3D CADソフトは、CAD(Computer Aided Design)用に作られたソフトである。建物や機構、部品などの設計を支援するソフトである。3D CADソフトは、正確な寸法を入れた精密なモデリングが可能であり、立方体や球、円錐などの単純な形状(プリミティブと呼ばれる)や、平面上に描いたスケッチを持ち上げて立体化するという方法で、モデリングしていく。平面や比較的単純な曲面の組み合わせで構成される物体の

モデリングに適している。

フリーソフトとして、「123D Design」(オートデスク)、「SketchUp Make」(Trimble)、といった3D CADソフトがある。

② 3D CGソフトの利用

3D CGソフトは、CG(Computer Graphics)を作成するためのソフトである。複雑な曲面を持つ物体のモデリングに適している。粘土をつまんで引っぱり、彫刻刀を使って削ったりするような感覚でモデリングできるものが多い。その代わり、正確な寸法が求められる分野には向かない。

3D CGソフトとしては、「Blender」(Blender Foundation 9)、「StoneyDesinger」(N.Ishizaka)などのフリーソフトがある。

③ 3Dデータ提供サイトのデータの利用

3Dデータ提供サイト利用の最大の利点は、自分でデータを作成する手間が省けることである。しかし、前述したように、3Dデータベースのデータには、触覚で利用するという事を意識して作られていないために注意が必要である。

そのまま利用することが望ましくない場合は、ダウンロードした3Dデータを3D CADソフトや3D CGソフトで、触覚で適切に利用できるようにカスタマイズすることが求められる。

したがって、視覚障害教育用立体触察立体教材を利用する場合は、3Dデータを編集する技能を持っていることが望ましいということになる。

④ 主な3Dデータベース

○「Thingiverse」

3Dプリンター「Replicator」シリーズを販売しているMakerBot社が運営しているサイトである。公開されている3Dデータは質、量ともに優れている。もう少し詳しく書く。

○「CGTrader」

有料のデータを提供しているサイトである。無料でダウンロードできる3Dデータも多数公開されている。

○「mono-logue」

国内3Dプリンターメーカーの一つオープンキューブ社が運営しているサイトである。データ数は多くないが、日本語が安心。

その他にも様々なサイトがあるが、教材作成という観点から以上を紹介した。

⑤ 3Dスキャナー

3Dスキャナーを使っても、3Dプリンターでの造形に利用できる3Dデータを得ることができる。第Ⅲ章でも詳しく紹介している。

3Dスキャナーにも様々なタイプがある。ただし、手頃な価格の3Dスキャナーは、精度が低く、不完全なスキャンにとどまっているものが多い。3Dプリンターで造形

するためには、表面が完全に埋められている 3D データでなければならない。3D スキャナーでスキャンした 3D データをそのまま使うことはできないと思った方がよい。手作業での修正が必要になってくる場合が多い。

3D データの修正には、データ作成の技能と手間と時間がかかり、はじめからモデリングした方が効率が良い場合もある。3D スキャナーは、対象物の 3D データ化を行ってくれる機器ではあるが、決して 3D モデリングが不要になるわけではないことを銘記しておきたい。

(3) 3D プリンターによる造形の手順

3D データを使って、3D プリンターで造形作業を行なう場合は、次のような手順で作業を進める。

- ① 3D データを確認する。
- ② 積層造形をするために 3D データをツールパスデータに変換する。スライスソフトを利用することになる。
- ③ a. プリンター単体で動作が可能な機種の場合は、ツールパスデータを 3D プリンターに読み込ませて造形を行なう。
b. スタンドアロン動作に対応していない 3D プリンターの場合:プリンター制御ソフトにツールパスデータを読み込ませて造形を行なう。
- ④ ラフト(土台)やサポートなどの不要な部分を除去し、必要なら表面を磨くなどして仕上げを行なう。

① 3D データの確認

造形前に 3D データをデータチェックソフトで確認しておくことで造形の失敗を防ぐことができる。

データを自作した場合、3D CAD ソフトで作成した STL データは不具合が生じることは多くないが、3D CG ソフトで作成したデータには、入念なチェックが必要である。ディスプレイ上では 3次元になっていても 3D データになっていない場合がある。

「MoNoGon」、「MiniMagics」などといったソフトがある。

② 3D データをツールパスデータに変換

3D データ(STL データ)はポリゴンの集合体であるため、1層ずつスライスして、一筆書きのようにヘッドを動かすための経路を指示するデータに変換する。これをパスデータという。

3D データをツールパスデータに変換するスライサーと呼ばれるソフトを利用する。3D プリンターには、スライスソフトが用意されているものと汎用のソフトを使わなければならないものがある。

ツールパスデータに変換する際には、積層ピッチやラフトの有無、サポート部分の有無、造形密度なども設定することになる。

③ 3Dプリンターで造形

3Dデータをツールパスデータに変換できたら、3Dプリンターで造形を行う。

○スタンドアロン動作が可能な機種

USBメモリやSDカードなどの記録媒体に保存されているツールパスデータをプリンターが読み込むだけで造形することができる。

○スタンドアロンで動作しない機種の場合

3DプリンターとPCを接続し、PC側でプリンターを制御する。プリンター制御ソフトには、「Pronterface」などがある。

④ 仕上げ

出来上がった造形物はプラットフォームに張り付いている。まずしなければならない作業はラフトの部分から剥がす作業である。これにはプリンターに附属でついているヘラを用いる。プラットフォームとプレートが分離している機種では、ガスコンロなどでプレートを温めるとプレートから造形物をはがしやすくなる。

次に、本体とラフトを切り離す。これは手作業で簡単に行うことができる。

さらに、サポートがある場合は、それを除去する。FDM方式のプリンターの多くは、シングル溶解ヘッドである。サポート専用材料が利用できないため、同一の樹脂材料でサポートも出力されている。そのため、サポート部分と本体がつながっており、工具を使って切り離すことになる。サポート部分は不要な部分なので、造形後に除去しやすいようにデータ作成の段階から、できるだけ工夫して設計することがコツの一つだといえる。

これで、独立した造形物になったわけであるが、FDM方式では造形物の表面に積層の段差が生じている。表面をなめらかにするためには、紙やすりで磨く、パテで埋めるなどの方法をとる。

視覚障害教育用触察立体教材では、表面の触り心地が「触察」活動に影響するので、この仕上げの作業が大変重要になってくる。造形したままの状態でも、触察立体教材として使用することを厳に慎まなければならない。仕上げ後、使用する教員等が実際に造形教材を触って、不具合がないか確かめる手間を惜しんではならない。

⑤ 造形失敗を防ぐためのコツ

○造形途中の剥がれ

造形作業中にプラットフォームから樹脂材料が剥がれてしまうことがある。この場合、造形に乱れが生じてしまい、データ通りに造形できなくなってしまう。このトラブルは特にABS樹脂に生じやすい。

ヒートベッドが装着されている機種では、ヒートベッドの温度が指定のレベルまで上昇したことを確認して造形作業を開始する。プラットフォームに耐熱性のテープを

貼って樹脂が剥がれにくいようにする方法もある。

○周囲の環境への注意

夏や冬は、エアコンなどを使用していることも多い。エアコンや扇風機の風が直接3Dプリンターに吹いてこないようにする。風の影響を受けて、ヘッドやプラットフォームの温度が安定しないため、造形に支障が出る場合がある。また、室内の温度が低すぎると樹脂が急速に冷えるため剥がれやすくなる。風の影響を避けるためには、3Dプリンターの周囲を段ボール箱等で覆うといった工夫をする。

○樹脂の詰まり

造形作業の途中で樹脂が溶解ヘッドに詰まってしまうことがある。樹脂が出てこないプラットフォームだけが動いて空作業になってしまう。溶解ヘッドの温度を適切に設定されているか、フィラメントが絡み付いていないかなどの点に気を付ける必要がある。

また、樹脂のつまりには、フィラメントの品質も影響している場合もある。専用の材料を使用している場合は、最適な温度に設定する必要がある。

⑥ ラフトとサポート部分、造形密度

ラフトやサポート、造形密度を適切に設定するのは難しい。初期設定されている状態で利用することで通常は問題がない。造形に要する時間を変更したり、造形物の強度を変更したりしたい場合は、設定の変更が必要となる。

○「ラフト (Raft)」

ラフトは土台を意味している。造形の前作業として縦横に互い違いに数層の土台を築き、その上に本体の造形物を積層していく。ラフトの上に造形していくことにより、プラットフォームとの密着性が高まり、剥がれにくくなる。プラットフォームの狂いを吸収する役割もある。

原則として、ラフトは“あり”に設定する。ラフトを綺麗に除去するのが難しい形状の場合は、ラフトなしで造形することも考えられる。

○「サポート」

造形物の形状がオーバーハング状になっている場合や空中で横方向に突き出ている形状のような場合は、サポートが必要になる。必ず必要というわけではなく、面の角度や突出部分の長さによってはサポートがなくても造形できる場合がある。これは、プリンターの精度や設定によっても異なってくる。試行が必要である。

○「充填密度」

充填密度は、立体の中空部(ソリッド)の充填の粗密の違いである。スライスソフトで設定することができる。格子状やハニカム状など数種類のパターンがあるが、用いるスライスソフトによって異なってくる。充填密度を高くすると、造形物の強度や精度が向上する。その分、造形時間は長くなり、フィラメントの消費量も多くなる。

触察立体教材では、十分な強度を確保しておくことが望ましい。強度を確保しつつ、

造形時間と材料の観点からできるだけ無駄のないように充填密度を決めていくようにしたい。

おわりに

3D プリンターが急速に普及し、視覚障害教育用触察立体教材作製装置としての活用への期待が高まっているが、現状では、一般に思われているような期待に応えられる機種は高額なハイエンド機種である。

本章ではそうした誤解を招かないように、さまざまな造形方式を紹介した上で、広く普及してきている FDM 方式の 3D プリンターの原理及び使い方についてその概要を紹介した。その上で、視覚障害教育用触察立体教材作製装置として利用する場合の配慮すべき点について解説した。

結論から述べると、FDM 方式の 3D プリンターを活用して視覚障害教育用触察立体教材を作成し活用することができる状況になってきているものの、品質やコストの面から考えると、まだ一般に期待されているようなレベルには至っていないのが現状である。

品質面では、強度、表面加工などの課題がある。強度については、3D プリントした部品は従来の製造工程でつくる部品ほど強くないため、触察用教材として活用する場合に特に留意する必要がある。表面加工についても、造形直後のものには、表面にノイズとなるような突起があったりバリがあったりするが、触察にとっては望ましいものではなく後作業が必須である。これは手作業となるために手間がかかる。また、加工することにより耐久性に影響が生じることも考えられる。コストは用いる樹脂素材によっても異なってくるが、安価とは言えない。当然のことであるが、大きな造形物ほど材料が多く必要となる。造形に必要な時間も考慮しておく必要がある。紙の印刷のように高速でできるわけでない。また、3D データの入手も課題が多い。本章でも、オリジナルのデータ作成、インターネット上からのデータ入手、3D スキャンによるデータ作成について紹介したが、いずれもさまざまな配慮や注意が必要であることも併せて示した。

しかしながら、これまで提供することが困難であった事物等が、触察教材として造形できるようになることは、視覚障害教育にとっては大きな魅力である。記述した課題や制約に十分に配慮しながら、長期的な展望に立って、3D プリンターの活用を地道に進めていく必要があると思われる。

参考文献

- (1) 原 雄司 (2014). 3Dプリンター導入&制作 完全活用ガイド. 技術評論社.
- (2) 水野 操 (2013). 自宅ではじめるモノづくり超入門 ~ 3Dプリンターと Autodesk 123D Design による、新しい自宅製造業のはじめ方. ソフトバンククリエイティブ.
- (3) 石井英男 (2014). パーソナル3Dプリンター導入の手引き.
<http://pc.watch.impress.co.jp> (2014年6月10日閲覧)
- (4) 洋泉社 (2014). 3Dプリンターがわかる本. 洋泉社 MOOK

Ⅳ FDM方式3Dプリンターによる立体教材作成

3Dプリンターで立体物を造形するためには、出力するための3Dデータが必要となる。

3Dデータを準備するには、次の方法がある。

- ① 3Dデータの作成ソフトウェアで自ら作成する。
- ② インターネット上で公開されている3Dデータを入手する。
- ③ 実物を3Dスキャナーでスキャンして3Dデータ化する。

以下では、次のように、これら3つの方法に分けて、それぞれの方法で視覚障害教育用触察立体教材を作成した例に関して、その作成方法、活用方法、配慮事項等について述べる。また、①と②の方法による3Dプリンターでの教材作成を通しての、教材作成上の配慮について、「3」で小括する。

1. 3Dデータを自ら作成した例
2. 既存の3Dデータを利用した例
3. 小括
4. 3Dスキャナーで3Dデータを生成した例

なお、ここでは、下記の機材、ソフトウェアを使用した。3Dプリンターは全てFDM方式のものである。ソフトウェアについては、Shade 3Dを除いて、全てフリーのソフトウェアである。また、3Dデータの作成のためには、主としてAutodesk 123D Designを用いた。

a. 3Dプリンター

Cube (3DSystem 社製)

Cube X (3DSystem 社製)

Value 3D MagiX MF-2000 (ムトーエンジニアリング社製)

AFINIA480 (Afinia 社製)

b. 3Dスキャナー

NextEngine HD Pro (Nextengine 社製)

c. 3Dデータ作成のために用いたソフトウェア

Autodesk 123D Design

Blender

d. 3Dデータの修正・加工に用いたソフトウェア

Shade 3D

Mesh Mixer

Net Fabb Basic

1. 3Dデータを自ら作成した例

(1) 正多面体の教材

図IV-1-1に正多面体5種の模型を示す。ここでの造形では、正多面体の辺の長さがある程度以上の長さになることに留意して、かつ全ての正多面体を、一定の大きさの球に内接する大きさで造形した。結果として、その球の大きさは直径80mm、最小の辺の長さは、正12面体での約30mmとなっている。ただし、3Dデータとして作成しているのが当然のことではあるが、必要に応じて、任意の正多面体を任意の大きさに造形することもできる。



図IV-1-1 正多面体の模型

左から、正4面体、正6面体、正8面体、正12面体、正20面体である。

正多面体は、中学校1年の数学で取り上げられる。その学習内容としては正多面体の条件（全ての面が合同な正多角形であること、各頂点の周りの面の数が全て同じであること、凸状の多面体であること）や各正多面体の頂点と辺の数の理解等がある。

ここで、各正多面体は、各面を底面として、その中心を頂点とする合同な角錐によって分割されるという特性ももっている。各正多面体について、その角錐1個を造形したものを図IV-1-2に示す。ここでの3Dデータ作成においては、3Dデータ作成ソフトウェア上で、その角錐を組み合わせることで各正多面体のデータを作成した。



図IV-1-2 正多面体を構成する角錐

左から、それぞれ、正4面体、正6面体、正8面体、正12面体、正20面体を構成する角錐1個である。

なお、中学校1年の数学での学習内容として、角錐の体積の求め方を考える場合に、

正 6 面体（立方体）が、上記の合同な角錐 6 個に分割されることが取り上げられることがある⁽¹³⁾。その角錐の体積が正 6 面体の体積の 6 分の 1 であることから、角錐の体積の求め方を考えるという内容である。この学習内容について、上記の角錐を用いることができる。

また、この角錐のデータを適当に加工して組み合わせることで、頂点と辺で構成された正多面体を作成することも可能である。正 12 面体の場合について、図 IV-1-3 に、そのデータ作成画面を示す。

さらに、前述の正面体の条件の 1 つとしての、各頂点の周りの面の数が全て同数という条件についても、この角錐を加工したものによって、各正多面体について、1 つの頂点の周りの面を作成することが可能である。正 12 面体の場合について、図 IV-1-4 に、そのデータ作成画面を示す。

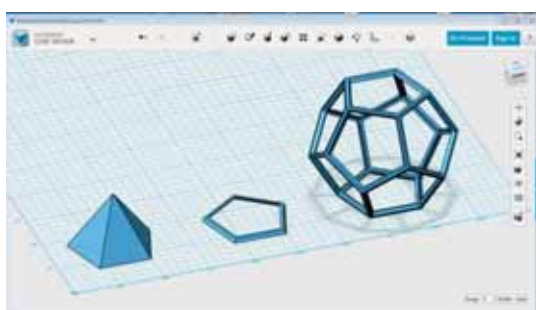


図 IV-1-3 頂点と辺で構成された正 12 面体

左の 5 角錐を加工して、中のものを作成し、それを組み合わせて、右の頂点と辺で構成された正 12 面体を作成している。

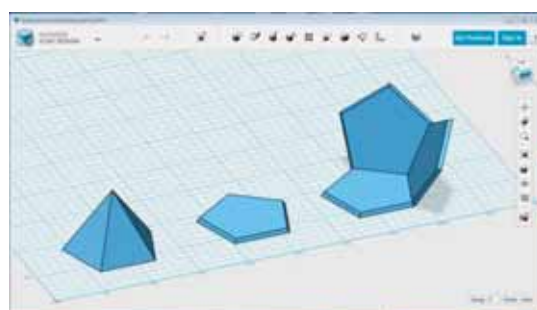


図 IV-1-4 正 12 面体の 1 つの頂点の周りの面

左の 5 角錐を加工して、中のものを作成し、それを組み合わせて、右の 1 つの頂点の周りの面を作成している。

（2）前方後円墳の復元模型

図 IV-1-5 に、3 基の前方後円墳の復元模型を示す（これらの模型の作成に用いた資料については、文献⁽¹⁰⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾を参照）。



図Ⅳ－１－５ 前方後円墳の復元模型３種

左から箸墓古墳、五色塚古墳、仁徳天皇陵である。

これらの古墳は、小学校、中学校、高等学校の歴史の学習において取り上げられるものである。

箸墓古墳は、歴史上、最初に築造された前方後円墳であり、ヤマト王権（政権）の成立との関連で高等学校の日本史で取り上げられる。

五色塚古墳については、当時の形状が復元されている古墳であり、前方後円墳の形状を示すために、その写真が教科書に掲載されている場合もある⁽¹¹⁾。

仁徳天皇陵（大仙陵古墳）は最大の前方後円墳であり、小学校の社会の教科書等で取り上げられている。

ここでは、3基の前方後円墳の大きさの比較もできるように、全て 2,000 分の 1 の縮尺で作成している。造形物の大きさとしては箸墓古墳は長さ 139mm、五色塚古墳は長さ 97mm、仁徳天皇陵は長さ 243mm となっている。

仁徳天皇陵については、やはり最大のピラミッドであるクフ王のピラミッドと、その大きさが比較されることもある。そこで、クフ王のピラミッドについて同様に 2,000 分の 1 の縮尺で作成した。それを図Ⅳ－１－６として前掲の仁徳天皇陵の模型と共に示す。



図Ⅳ－１－６ 仁徳天皇陵とクフ王のピラミッド

ある中学校の歴史資料⁽¹⁴⁾では、仁徳天皇陵とクフ王のピラミッドについて、水平方向の大きさの比較に加えて、両者の高さ方向の断面が示され、高さ方向での大きさの

比較もできるようにした図が掲載されている。このような図からは、水平方向の大きさについては仁徳天皇陵のほうがクフ王のピラミッドよりも2倍程度大きいですが、高さについてはクフ王のピラミッドの方が3倍程度高いことが分かる。

ここで示したような模型においては、立体であることから当然のことではあるが、水平方向の大きさと共に、高さ方向の大きさの比較も同時にできる。

(3) 立体地球儀

図IV-1-7に、立体地球儀の造形例を示す。この例では、陸地の部分を一様の高さで、約1mm浮き出させている。



図IV-1-7 立体地球儀

左は日本を正面とした側からみたもので、右はその反対側からみたものである。

この作成方法は次の通りである。なお、この3Dデータ作成においては、Blenderを使用した。

1. Web上に掲載されている世界地図のデータ(通常の2次元の地図)(aとする)をダウンロードする。
2. aを必要に応じて描画ソフトウェア等で編集する(a'とする)。
3. 3Dデータ作成ソフトウェア上で、適当な大きさの球(bとする)を作成する。
4. bに対して、a'を“マッピング”する(世界地図のデータを、bの大きさの球面に変形してbに貼り付ける)。
5. a'の模様(この場合は陸地と海の模様)について“ディスプレイス”(模様の明度差に応じて凹凸をつける)を行う。なお、ディスプレイスでは、凹凸の程度として任意の値を設定できる。

この造形例では、基にした世界地図のデータについて陸地の部分を白、海の部分を黒として、陸地が海に対して一様に浮き出るようにしている。

この作成方法では、球に貼り付ける世界地図のデータに応じて、異なる立体地球儀を作成できる。また、球の大きさを変えることで、異なる縮尺のものを作成することもできる。

世界地図のデータとして公開されているものはいくつもあるが、そのうち、ベクトルデータの形式のものであれば、海岸線の形状等を描画ソフトウェアで編集できる。

この造形例では、Tissot_indicatrix_world_map_equirectangular_proj.svg⁽²⁾というベクトルデータを用いて、触って分かりやすいように、海岸線の形状を単純化する、小さな島は削除する、日本と大陸との距離を実際よりも大きくする、ジブラルタル海峡等狭い海峡の間隔を広げる等の編集を行っている。

そのうえで、球の大きさは直径 120mm として、造形物上の陸地の部分間の間隔が 3mm 以上になるようにした。これは、触覚の指先での解像度としての 2 点弁別閾（2 点を 2 点として知覚し得る最小の間隔）が 2mm 程度であることや、触図作成のガイドライン等⁽¹⁾⁽⁶⁾に基づいてのことである。

視覚障害者用の立体地球儀としては、市販のもの（注 1）や、公益財団によって作成されて関係機関等に寄贈されたもの（注 2）があり、特別支援学校（視覚障害）等で使用されているが、以上のような方法での立体地球儀の作成は、基にする世界地図のデータを編集したり、球の大きさを変えることによって、目的に応じた立体地球儀を作成することに意味があるものと思われる。

例えば、基にする世界地図について、陸地としては日本と 5 大陸のみとして、かつその形状をより単純化すれば、地球上での日本と 5 大陸の配置のみ把握することを目的とするものを作成することが可能である。この場合は、球の大きさは、それほど大きなものである必要はないと思われる、造形物での各大陸の大きさから判断して直径 80mm 程度でもよいかもしれない。

また、基にする世界地図を、世界の主要都市の所在地を白塗りの円で表し、それ以外の陸地の部分を明度を落としたグレーとすれば、主要都市の位置情報を示す立体地球儀を作成することができる。

注 1：「バリアフリー地球儀」として日本製のものが販売されていたが、現在は販売中止になっている。現在販売されているものとしては、ドイツ製だが、日本の代理店によって販売されているものがある。

注 2：「触る地球儀」として、日本チャリティ協会によって作成、寄贈が行われたものである。

（４）DNA の模型

図IV-1-8に DNA の模型を示す。



図IV－1－8 DNAの模型

左の2つを組み合わせると、右のようになる。

DNAは、中学校や高等学校の理科で取り上げられるものであり、糖ーリン酸の2本の連なりに対して、2つの塩基が対になって、36度ずつ回転しながら積み重なる構造をとっている。また、対となる塩基間の結合が切れることで、通常の2本鎖DNAが1本鎖DNAとなる。

ここでは、その構造の理解を主眼として、図IV－1－8のような模型を作成した。そのために、糖ーリン酸の連なりも塩基も板状のものにするという単純化を行った。なお、このような実物のモデルにおいては当然のことではあるが、塩基の水平方向の長さ、上下の塩基間の間隔等の相対的な大きさは実物と同じである。

この模型では、2本鎖を1本鎖ずつに分けて、それらを組み合わせることができるようにしている。

また、塩基の上下間の間隔を約16mmとして、その間に指が入る大きさとした。視覚も併用するというのであれば、もっと小さな模型でもよいかもしれない。しかし、触覚のみによって上記のようなDNAの構造を理解することを目的とするなら、上下方向に重なっている塩基と塩基の間に指を入れることもできるかたちでの触察を可能にするものである必要があると思われる。

(5) 太陽系の惑星の教材

図IV－1－9、図IV－1－10に、太陽系の惑星の模型を示す。形としては全て球であるが、惑星の大きさの比較を目的として、各惑星の相対的な大きさをそろえて造形している。

中学校の理科の教科書には、太陽系の天体について、地球を含めた各惑星と、月、小惑星等について学習する内容があるが、その中には地球を1とした場合の各天体の

大きさについての記述もある。各惑星の、相対的な大きさを示す図が掲載されている場合もある。

地球の直径を1とした場合の各惑星の相対的な直径は、表IV-1-1に示す通りである。

表IV-1-1 惑星の相対的な大きさ

惑星	直径(地球=1)
水星	0.38
金星	0.95
地球	1
火星	0.53
木星	11.21
土星	9.45
天王星	4.01
海王星	3.88

この表のように、水星から火星までの天体と、木星から海王星までの天体では、大きさに非常に差があり、全ての天体について、相対的な大きさをそろえ、かつ地球を基準として造形する場合、木星や土星の大きさがある程度以下の大きさにするには、地球、水星、金星、火星の大きさを非常に小さなものとする必要がある。

逆に、地球をある程度以上の大きさで造形すると、木星や土星が非常に大きなものになってしまう。

そこで、図IV-1-9のように、地球を直径10mmとした場合の各惑星の模型（最小の水星で直径3.8mm、最大の木星で直径112.1mm）と、図IV-1-10のように地球を直径50mmとした場合の水星、金星、地球、火星（最小の水星で19.1mm、最大は地球）の模型を作成した。

このことによって、水星から海王星までの惑星全てを比較する場合には前者の模型を用い、水星から火星までの惑星については後者の模型を用いて比較することができる。



図IV-1-9 惑星の模型 1

左から、水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星で、地球は直径 10mm である。



図IV-1-10 惑星の模型 2

左から、水星、金星、地球、火星で、地球は直径 50mm である。

ただし、この模型において、天王星と海王星とは、もともと大きさの差が非常に小さいため、それぞれ直径 40.1mm、38.8mm で、その差は 1.3mm しかない。また、地球と金星についても、地球が直径 50mm の場合の金星は 47.4mm で、2.6mm の差しかない。(注 3)

これについて、図IV-1-11 で、水星、金星、地球、火星について示すように、球ではなく、半球状のもので、それぞれの底面同士を合わせて、そのずれを触察するというのであれば、1.3mm や 2.6mm の差であっても、その違いが分かると思われる。

なお、半球状のものは、各惑星を太陽からの距離の順に並べる等、机上等での何らかの操作を想定した場合も、その操作のしやすさの点で、有効な造形であると思われる。



図IV－1－11 半球状の惑星の模型

左から、水星、金星、地球、火星で、地球は直径 50mm である。

注3：球等の立体の体積の触覚による弁別閾を求めた研究⁽⁴⁾によると、球についてはウェーバー比 (Weber fraction) (ある体積に対して何%増加した体積で両者が弁別できるかという比で、体積に関わらず一定値) で 0.127 (12.7%) という値が出ている。この研究で用いられた球の大きさは、直径にして約 15mm～約 30mm であるが、このウェーバー比を球の直径に換算して、直径 38.8mm の球 (海王星) に対して弁別し得る球の直径を求めると 40.38mm となり、40.1mm (天王星) を超えている。もし、このウェーバー比の値が正確で、直径 30mm を超える大きさでも成り立つとすると、この大きさでの弁別はできないと共に、天王星と海王星を、これより大きくして、その差を大きくしても、弁別はできないということになる。

同様に、直径 47.4mm の球 (金星) について弁別し得る球の直径は 49.3mm となり、直径 50mm の球 (地球) は弁別閾を乗り越えて超えている程度ということである。

(6) 立体月球儀

図IV－1－12 に、立体月球儀の造形例を示す。



図IV－1－12 立体月球儀

左は月の表側 (地球に面している側) で、右は裏側である。

月については、小学校 6 年の理科で、その地形について学習する内容があり、教科

書には各種の月面の写真が掲載されている。

ここでの造形では、前述の立体地球儀と同様のデータ作成方法をとっているが、基とした月の地図が、白と黒の2値ではなく、白黒の濃淡によって各地域の標高を表したもの（Bump Map と言う）であることが異なる点であり、地形の立体形状を示す立体月球儀となっている（注4）。なお、基にした月の地図としては、moonbumpmap2.jpg⁽³⁾を用いた。

この立体月球儀については、直径で 80mm の大きさであるが、月の凹凸が触って分かるように高さ方向についてはディスプレイの値を調整して実際の約 5 倍にしている。このことにより、クレーターの深さも 0.5mm 程度にはなるようにしている。

ここで、立体月球儀の大きさをどの程度にすべきかを考えてみると、先の立体地球儀と同様、使用する目的に応じて、球の大きさを調整して造形することが考えられる。

例えば、月は表側（地球に面している側）ではなめらかな部分（「海」と呼ばれる）が多いのに対し、裏側ではそれが少なく凹凸が多いという地形上の違いがあるが、その理解ということであれば、それほど大きなものである必要はないと思われる。

造形時の「海」の大きさから判断して、図IV-1-12 に示した直径 80mm 程度のものでもよいと思われる。

一方、月面には大小様々なクレーターがあり、小学校6年の理科の教科書でも、その位置や形状が図示されている⁽⁹⁾⁽¹²⁾。その場合、プトレマイオスクレーターやアリストテレスクレーター等、その固有名をとまって示されている場合もある⁽⁹⁾。

クレーターが触って分かることを目的とするなら、どの大きさのクレーターまでを触って分かるようにするかで、球の大きさを調整することが考えられる。例えば、造形した際に 5 mm 程度の直径であれば触覚的に把握できるとすると（注5）、目的とする最小のクレーターの大きさが、造形した際に直径 5 mm 以上の大きさになるように球の大きさを設定することが考えられる。

図IV-1-12 の直径 80mm の立体月球儀では、月の表側のクラヴィウス、裏側のメンデレーエフ等、いくつかのクレーターが直径 5 mm を超えているが、それらは、この縮尺では、直径 240km を超えるような非常に大きなクレーターに限られる。

例えば、プトレマイオスのような直径 150km 程度のクレーターを触って分かるようにするには直径 120mm 以上、アリストテレスのような直径 87km のクレーターまで触って分かるようにするには直径 200mm 以上の球にする必要がある。

注4：前述の立体地球儀についても、地球の地形についての Bump Map のデータを用いれば、同様に、地球の地形の立体形状を示す立体地球儀を作成することが可能である。

注5：歩行用触地図製作のためのガイドブック⁽⁵⁾では、地点記号としての円について

ではあるが、その直径を5 mm～8 mm とするとしている。

文献

- (1) American Printing House for the Blind (1997). Guidelines for Design of Tactile Graphics. <http://www.aph.org/edresearch/guides.htm>.
- (2) Eric Gaba (2008). File:Tissot indicatrix world map equirectangular proj.svg. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tissot_indicatrix_world_map_equirectangular_proj.svg.
- (3) Robert Johnston (2010). Planetary maps. <http://www.johnstonsarchive.net/spaceart/cylmaps.html>.
- (4) Mirela Kahrmanovic, Wouter M. Bergmann Tiest, Astrid M. L. Kappers (2011). Discrimination thresholds for haptic perception of volume, surface area, and weight. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73, 8, 2649-2656.
- (5) 日本盲人社会福祉施設協議会点字出版部会点字地図記号委員会 (1984). 歩行用触地図製作ハンドブック. 日本盲人社会福祉施設協議会.
- (6) 金子健, 大内進 (2005). 点字教科書における図版の触図化について—一触図作成マニュアルの作成に向けて—. *国立特殊教育総合研究所研究紀要*, 32, 1-18.
- (7) 神戸市教育委員会事務局社会教育部文化課 (1987). 史跡五色塚古墳復元・整備事業概要. 神戸市教育委員会.
- (8) 森浩一 (1985). 巨大古墳 (日本人はどのように建造物をつくってきたか). 草思社.
- (9) 毛利衛, 黒田玲子 (代表) (2012). 新しい理科6. 東京書籍.
- (10) 奈良県立橿原考古学研究所・アジア航測株式会社 (2012). 箸墓・西殿塚古墳赤色立体地図の作成. 報道発表資料, http://www.kashikoken.jp/from-site/2012/hashihaka_rittaichizu.pdf.
- (11) 笹山晴生, 竹内裕一, 中村達也他 (2013). 中学社会歴史. 教育出版.
- (12) 霜田光一, 日高敏隆 (代表) (2012). みんなと学ぶ小学校理科6年. 学校図書.
- (13) 杉山吉茂, 俣野博 (代表) (2005). 新編新しい数学1. 東京書籍.
- (14) 帝国書院 (2014). アドバンス中学歴史資料. 帝国書院.

(金子 健)

2. 既存の3Dデータを利用した例

自ら3Dデータを作成せずとも、インターネット上に掲載されている3Dデータをダウンロードして使用することができる。そのデータについては、商用で有償のものもあるが、フリーのデータも多くある。

出力したい造形物がある場合も、その3Dデータをインターネット上で検索して、見つければ、それを使用することもできる。(注1)

現在、インターネット上の3Dデータについては、博物館や研究所等の機関が所蔵物等の3Dデータを公開している場合がある。また、民間の3Dデータ共有サイトも多数ある。そのなかには、例えば、“Scanning the world”という、世界中の彫像や銅像等の3Dスキャンデータに基づく3Dデータの公開をすすめるといった取組もある。

以下、インターネット上に掲載されているフリーの3Dデータを、そのまま使用して造形した例と、国土地理院による立体地形図(「地理院地図3D」)の3Dデータを加工して造形した例に分けて述べる。

注1：日本のウェブサイト上で見つからない場合、海外のウェブサイト上では見つかる場合もある。

(1) データをそのまま使用して造形した例

インターネット上に掲載されているフリーの3Dデータを、そのまま使用した例として、次のものを示す。

- ① アンモナイトの化石模型(図IV-2-1)：英国地質学研究所(<http://www.3d-fossils.ac.uk/home.html>)が公開している化石の3Dデータによる
- ② 小惑星イトカワの模型(図IV-2-2)：JAXA等によるDARTS(Data ARchives and Transmission System)(<https://darts.isas.jaxa.jp/index.html.ja>)掲載の3Dデータによる
- ③ 三葉虫の模型(図IV-2-3)：3Dデータの共有サイトであるThingiverse(<http://www.thingiverse.com/>)(注2)掲載の3Dデータによる
- ④ 耳小骨の模型(ツチ骨、キヌタ骨、アブミ骨のセット)(図IV-2-4)：同上
- ⑤ 鎌倉の大仏の模型(図IV-2-5)：3Dデータの共有サイトであるMy Mini Factory(<http://myminifactory.com/>)のなかの“Scanning the world”(<http://www.myminifactory.com/blog/?q=node/11>)として公開されている3Dデータによる



図IV-2-1 アンモナイトの化石模型



図IV-2-2 小惑星イトカワの模型
上と下のものは、長軸方向で両側から見たものである。



図IV-2-3 三葉虫の模型
左は元のデータの大きさを造形したもので、右がその2.2倍の大きさを造形したものである。



図IV-2-4 耳小骨の模型
右からツチ骨、キヌタ骨、アブミ骨で、この順番で鼓膜から蝸牛につながる。



図IV-2-5 鎌倉の大仏の模型

これらの例では、データ自体の編集は行っていない。しかし、小惑星イトカワを除

いて、触覚的に分かりやすくするという観点で、データ上で大きさの変更を行って作成している。

アンモナイトについては、元のデータは図IV-2-1の縦方向で31mmのものであったが、殻の巻き方等が分かりやすいように、2倍に拡大して縦方向で62mmの大ききさで造形している。

小惑星イトカワについては、元のデータのまま、長軸で56mmの大ききさで造形している。これでも、全体の形状の他、「海」と呼ばれるなめらかな部分と、それ以外の凹凸のある部分等、地形の概略は、触って分かると思われる。

三葉虫については、元のデータは体長で69mmであったが、2.2倍の大ききさで作成した。これについては、その体が縦に3つの部分（及びトゲの部分）で構成されているということの理解であれば、元の大ききさでもよいように思われるが、これでは体節及びトゲ（体軸に直交する繰り返し構造）の幅が1.5mm程度しかなく、触覚的には小さきすぎるので、その幅が3mm以上になるようにしたものである。

耳小骨については、元のデータはアブミ骨が15mm×22mm×29mmの大ききさで、円環状の穴の部分は直径約13mmであったが、その穴の部分に指を入れるという触り方を想定して、その直径が16mm程度になるように1.2倍に拡大し、他の2つの骨も1.2倍に拡大して造形している。

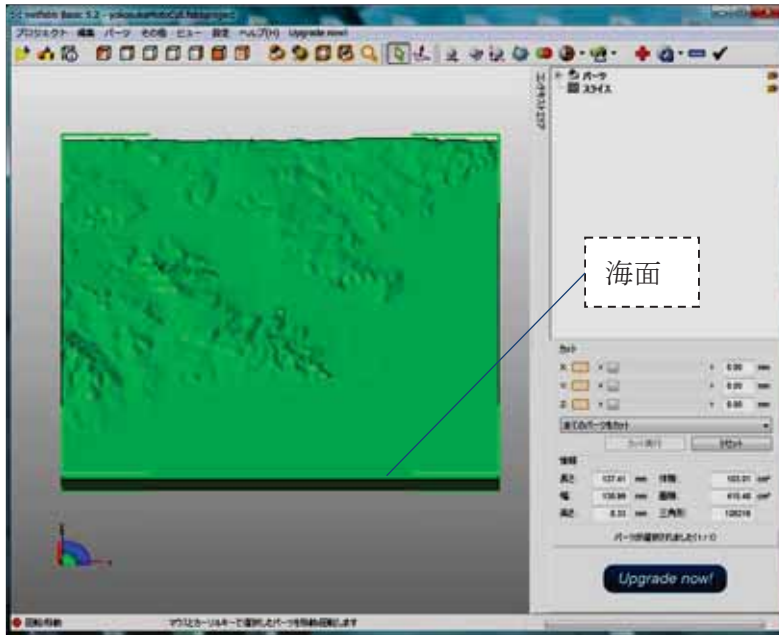
鎌倉の大仏についても、その衣紋（衣装の皺）等が分かりやすいように、1.5倍に拡大して、体高で102mmの大ききさで造形している。

注2：このウェブサイトには、Yahoo! Japan が「さわれる検索」で使用した3Dデータ約100種も掲載されている。「さわれる検索」は、音声検索と3Dプリンター出力を組み合わせ、音声で造形したいものの名前を言えば、自動的に、その立体物が造形されるようにしたものである。これについては、いくつかの特別支援学校（視覚障害）において、その試用がなされた。

（2）データを加工して造形した例－地理院地図3Dについて－

国土地理院の「地理院地図3D」(<http://cyberjapandata.gsi.go.jp/3d/site/index.html>)から、日本各地の地形図の3Dデータをダウンロードすることが可能であり、そのデータによって立体地形図を作成することができる。（注3）

ただし、この方法で、海岸線を含む地域の立体地形図を作成する場合は、図IV-2-6に示すように、海岸線が明確に浮き出てこないことがある。その理由は、データが海面を含むものであり、海面から海岸線の部分を含めて陸地の部分が浮き出すかたちとなっており、海岸線の部分の高さが実際の造形では海面に対して0に近い場合があることによると考えられる。



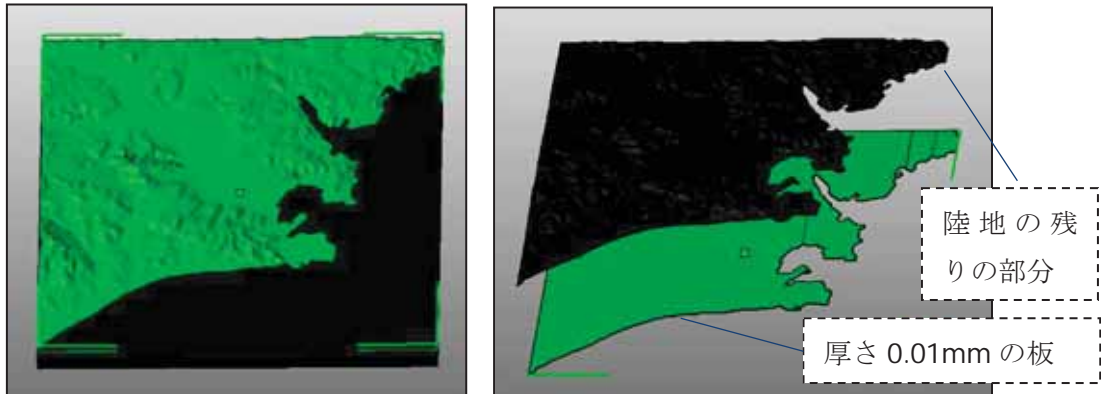
図IV－2－6 立体地形図の元データ

図IV－2－8の立体地形図の元データである。実際の海岸線については図IV－2－8を参照。例えば、左上から右下の平坦な部分は海ではなく、実際には右下に海岸線がある。

このようなデータについて、視覚も併用することを前提とするなら、海岸線は別途視覚的に提示することも考え得るが、触覚のみによって海岸線部分を把握できるようにするには、別の方法が必要である。

そこで、海岸線についても触覚によって分かるようにする方法として、次の方法をとることにした。なお、以下でのデータの切断に関しては NetFbb Basic を使用した。

1. 立体地形図のデータを海面の高さで切断する（図IV－2－7左参照）。
2. 残った陸地の部分の下面から、0.01mmの高さで切断する。そうすると、陸地の部分が、0.01mmの厚みをもった、海岸線を含む薄い板状の部分（aとする）と、それより上の地形を含む部分（bとする）に分かれる（図IV－2－7右参照）。
3. aを高さ方向にのみ100～200倍程度拡大する。そうすると、海岸線を含めて1mm～2mm程度の高さを持つ板状のものができる（これをa'とする）。
4. a'の上面にbの下面を合わせて重ねる。そうすると、海岸線でも1mm～2mm浮き出した立体地形図が出来る。（注4）



図IV-2-7 立体地形図の元データの加工

左は図IV-2-6のデータを海面で切断したところである。右は、左の陸地の部分について、さらに0.01mmの高さで切断して、海岸線を含む0.01mmの厚みをもった薄い板状のもの（2つのうち、下のもの）を作成したところである。

ここでは、「地理院地図3D」のデータを用いて、海岸線を含む場合については上記の方法で造形した立体地形図の例を挙げる。

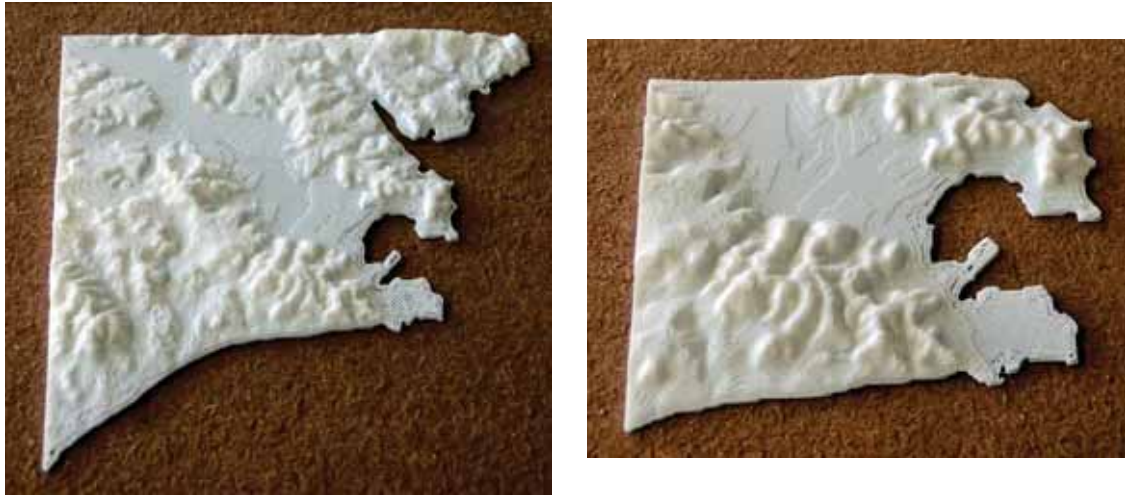
注3：同じ国土地理院の「基盤地図情報」サイト (<http://www.gsi.go.jp/kiban/>) 上で公開されている、日本の標高データ（基盤地図情報数値標高モデル）からも、日本の各地域の立体地形図を作成することが可能である。ただし、この場合は、そのデータを3Dデータに変換する必要がある。また、変換したデータは厚みのない面のデータとなるため、3Dプリンターによる造形のためには厚みをつける必要がある。これらのためには、別途、データ変換や面の厚み付けが可能なソフトウェアが必要となる⁽³⁾。

ただし、「基盤地図情報」サイトのデータの方が「地理院地図3D」の3Dデータよりも詳細なデータである。

注4：「2」で、0.01mmの高さで切断するのは、造形上、この高さの違いでの水平方向の変位は0に近いと考えてよいと思われるからである。

①特定の場所の近辺の立体地形図

図IV-2-8に、当研究所所在地近辺の立体地形図の造形例を示す。



図Ⅳ－２－８ 横須賀市野比近辺の立体地形図

右のものは、左のものを部分的に2倍に拡大して造形したものである。

図Ⅳ－２－８の左のものは縮尺5万分の1であるが、高さ方向のみ元のデータの2倍にして造形している。これは、高さ方向を元のデータのままとした場合、この縮尺では、一番高いところでも3.32mmであり、高さ0から3.32mmの間で表される地形の凹凸の程度が小さく、触覚的に分かりづらいと考えられるためである。(注5)

また、図Ⅳ－２－８の右のものは、左のもののデータを部分的に2倍に拡大して造形したものである。こうすることで、その部分についてのより細かい地形の情報が取れる。

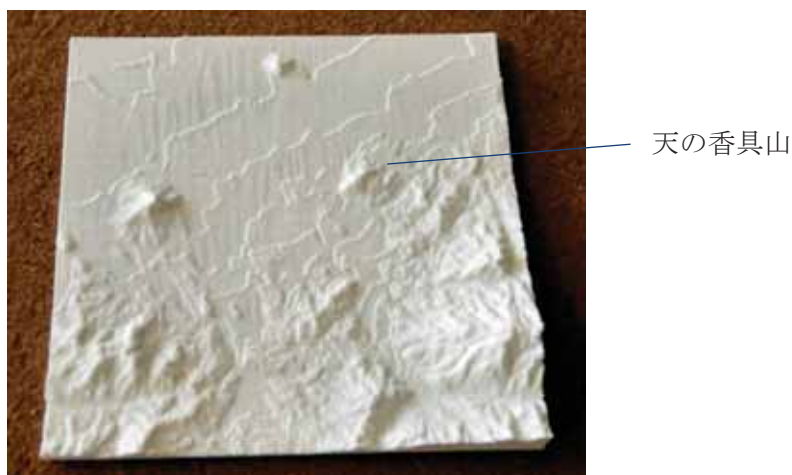
このような立体地形図について、触覚のみよっての理解を求める場合には、高さ方向の値を調整したり、図Ⅳ－２－８の右のもののように、縦横方向を含めて、その大きさを調整したりして、必要な情報が得やすいようにすることが必要と思われる。

なお、ここでは、当研究所所在地近辺の立体地形図を示したが、例えば、全国の特別支援学校(視覚障害)所在地近辺の立体地形図を作成して、同校において活用することは、意義のあることであると考えられる。

注5：立体地形図において、高さ方向での差がどの程度であれば、凹凸の違いが触覚的に明確に分かるかについては、凸間の間隔をはじめとした形状による違いも含めての実験的な検討が必要だと思われる。これに関して、図Ⅳ－２－８のもののように凹凸が繰り返されている形状の部分について、仮に、その高さの差が2mmであれば触覚的に明確に分かるとすれば、最高点が3mmの凹凸については、0から3mmの間で2mmの差がある凹凸の情報しか取れないことになる。

②学習上意義のある場所の立体地形図

図Ⅳ－２－９に、奈良県飛鳥地域の立体地形図を示す。その縮尺は、前記と同じ 5 万分の 1 で、同様に高さ方向を 2 倍に拡大して造形している。



図Ⅳ－２－９ 飛鳥地域の立体地形図

ほぼ正三角形の頂点のように、上真中に耳成山、中左に畝傍山、その右にややずれて天の香具山がある。

飛鳥地域は、古代の王宮の所在地であり、飛鳥板蓋の宮、飛鳥浄御原の宮、藤原宮等の宮が営まれた地域である。

例えば、ある日本史資料^②には、これらの王宮の所在地を示す地図が掲載されている。

このようなことの学習において、図Ⅳ－２－９のような立体地形図を用いることは意義があることであると考えられる。例えば、藤原宮は、耳成山、畝傍山、天の香具山に囲まれる場所に営まれたものであり、その地形が意味をもっている。

なお、この地域には、天の香具山等、万葉集に歌われているものもあり、その和歌は中学校の国語の教科書に掲載されている場合もある。

また、図Ⅳ－２－１０には、この地域にある、斉明天皇が被葬者であると言われている牽牛子塚古墳の復元模型の造形例を示す。これについては、その復元想像図^①を基にして自作したものである。この場合の縮尺は 300 分の 1 であり、造形物の大きさは水平方向の長さで 10.6mm である。なお、前述の日本史資料^②の地図には、牽牛子塚古墳の所在地の他、八角墳であったとの説明や現状の写真が示されている。



図IV-2-10 牽牛子塚古墳

特定の地域の立体地形図について、その地域の建造物等を共に造形して示すことも意義のあることであると考えられる。

図IV-2-11 に鎌倉の立体地形図を示す。鎌倉の地は、鎌倉幕府の所在地であり、3方が山に囲まれ、1方が海に面している。武家の都にとって、要害の地として、その地形にも意味があったと言われている。そのような地形の理解のために、立体地形図を活用することができる。



図IV-2-11 鎌倉の立体地形図

左下の弓形の海岸から右上方にかけて平坦な地帯があり、この地帯が3方を山に囲まれている。

例えば、ある中学校歴史資料^⑤には、その地形を示す鎌倉の地図が掲載されている。なお、ここでは、その各所の写真等も掲載されているが、その1つとして鎌倉の大仏が示されている。前述の鎌倉の大仏の模型を、共に示すことにも意味があると考えられる。

③火山の地形図

図IV-2-12 に、三原山（大島）、桜島、雲仙普賢岳の立体地形図を示す。これらの縮尺は全て10万分の1であり、前述のような高さ方向の拡大は行っていない。

これらの火山は、マグマの粘度による火山の分類の代表例として、中学校の理科の

教科書に、その写真が掲載されているものである(4)。

三原山、桜島、雲仙普賢岳の順に、マグマの粘度が高く、その形状がより急峻になり、粘度が一番高い雲仙普賢岳では溶岩ドームが形成されている。

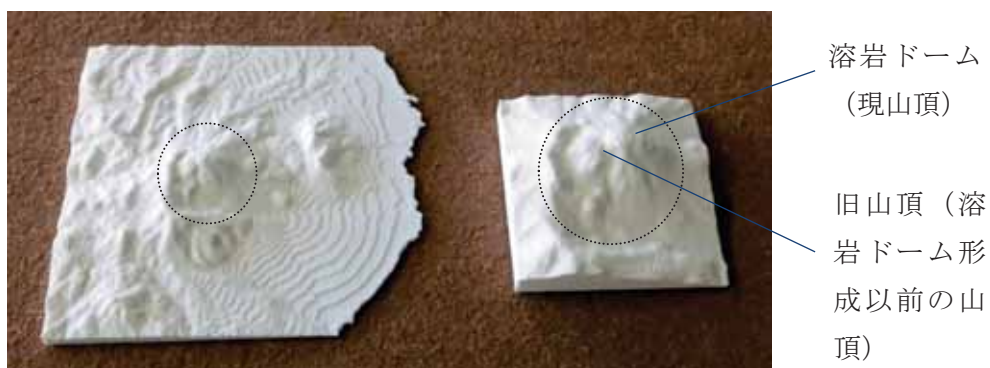
ここでの造形例では、火山の傾斜の仕方に意味があるので高さ方向の調整はしていない。もともと、山の地形図のように標高差が大きい場合には、前述のような、触って分かりやすいようにするための高さ方向の調整は必要ないようである。

なお、図IV-2-12では3つの火山の縮尺をそろえて造形したものを示しているが、雲仙普賢岳については、図IV-2-13に示すように、その縮尺では、旧山頂と溶岩ドーム（現在の山頂）が区別しにくいと思われるので、その部分のみ2倍の大きさにしたのも造形している。



図IV-2-12 火山の立体地形図

左から三原山（大島）、桜島、雲仙普賢岳である。



図IV-2-13 雲仙普賢岳の溶岩ドーム

左は前掲の雲仙普賢岳であり、右は、それを部分的に2倍に拡大したものである。右で示しているように、旧山頂の東側からの噴火によって溶岩ドームが形成され、それが現山頂となっている。左のものでは、旧山頂と溶岩ドームが接近しすぎていて、かつ高低差も1.3mmであり小さいので、触覚的に分かりにくい。

文献

- (1)朝日新聞社 (2010). 牽牛子塚古墳の復元想像図. asahi.com, 2010年9月9日.
- (2)浜島書店 (2013). 新詳日本史—地図資料年表. 浜島書店
- (3)金子健 (2014). 3Dプリンターによる視覚障害教育用触察立体教材の試作. 第40回感覚代行シンポジウム講演論文集, 55-58.
- (4)岡村定矩, 藤嶋昭 (代表) (2012). 新しい科学1年. 東京書籍.
- (5)帝国書院 (2014). アドバンス中学歴史資料. 帝国書院.

(金子 健)

3. 小括

ここでは、「1」「2」で述べた視覚障害教育用の触察立体教材の作成例を通して、その立体教材を作成する際の配慮事項についてまとめる。

(1) 全般的な配慮事項

前述の幾つかの作成例においても言及したように、視覚障害教育用の触察立体教材は、視覚を併用せず、触覚のみによっての理解を前提とするものであり、その教材の目的に対応して、必要な情報が取れるように、教材の大きさ、複雑さ等に配慮する必要がある。

特に、触覚の解像度は視覚に比較して低いので、細部の情報を取る必要がある場合、視覚を併用すればその情報が取れる立体物でも、触覚的には、その情報を取ることが可能とは限らない。その場合は、より大きなものにする必要がある。

また、複雑な形状のものについて、その細部の情報を取る必要がない場合は、複雑なものを、より単純なものにして作成することも有効である。

これらのことは触図作成において必要な配慮と同様であるが、立体物の場合は、触図のように水平方向の大きさや複雑さのみではなく、それに加えて高さ方向の大きさや複雑さについても配慮する必要がある。

また、同様に、幾つかの作成例において立体教材の触察の仕方に言及したが、立体教材の場合は、触図の場合のように水平面上で手指を動かして触るという触察の仕方以外の触察の仕方が想定されるので、それに対応した教材を作成する必要がある。「1」と「2」では、隙間に指を入れる、穴に指を入れるという触察の仕方に言及したが、他にも、手指で包み込む、指で挟む、指でつまむ等の触察の仕方が考えられる。また、凹凸のある形状を触察する場合、小さな隙間や窪みに指先の腹部が部分的に入りつつ触察するといったことも想定できる。

(2) 教材の大きさについて

3D データ上の立体物は、任意の大きさに拡大・縮小が可能であり、3D プリンターを用いれば、その立体物を任意の大きさで造形することが可能である。

視覚障害教育用の触察立体物の場合、「1」や「2」で示したように、3D データの立体物について適当な拡大率をとって、触覚的に適切な大きさで造形することが重要である。

既存の3D データを使用する場合も、そのままの大きさでも触覚的に必要な情報が取れる場合は、それでもよいが、そうではない場合は、適切な大きさにする必要がある。

この場合、3次元の各方向について一様な拡大率をとることもできるが、各方向で異なる値の拡大率をとることも可能である。また、データの一部を切り取り、その部

分のみ拡大・縮小することも可能である。

①一様の拡大率をとる場合

「1. (6)」での立体月球儀の例で示したように、その球の大きさの程度は、月の表側と裏側の違いのような概略の地形の情報を取ることを目的とするか、クレーターまで分かることを目的とするかで異なってくる。

「2. (1)」のインターネット上のデータの利用による立体教材の作成例で示したように、立体物の3Dデータ自体の編集は行わない場合でも、必要な情報が触覚的に取れるかどうかという観点からは、データの拡大が必要な場合がある。

特に、インターネット上に掲載されているデータについては、一般に晴眼者の利用を前提とするものであり、前述のように、細部の情報については、視覚も併用すれば把握できるというものもあると思われる。

例えば、「2. (1)」で三葉虫の復元模型について言及したように、その体の構造の概略の理解が目的であれば、元のデータの大きさのままでもよいが、その体節やトゲの情報についての触覚的な把握のためにはデータの拡大が必要である。

これらの例のように、目的とする情報が触覚的に把握できるかどうかという観点で、データの拡大率を設定し、適切な大きさで教材を作成する必要がある。

なお、立体物の全体の形状に意味がある場合は、一般に、データの拡大・縮小は一様に行うことが必要である。

②方向別に異なる拡大率を取る場合

「2. (2) ①」で取り上げた横須賀市野比近辺の立体地形図の例で示したように、高さ方向の値が小さくて、その凹凸の情報が触覚的に取りにくいような場合は、高さ方向のみ拡大するという方法を取ることができる。

また、「1. (6)」の立体月球儀の例では、ディスプレイの値の設定によって月面上の地形の高さ方向の値を5倍にした例を示した。

一方、これらの例では、高さ方向のみ、凹凸の程度が小さいために拡大の必要があるが、その方向以外に関しては、必ずしも拡大の必要がないものである。立体月球儀の場合も、高さ方向の凹凸が問題であり、球面の広さ自体の拡大は必ずしも必要ではない場合があると言える。

これらの例のように、3Dデータ上で触覚的に分かりやすい立体教材を作成する場合は、方向別に異なる拡大率をとることで、より分かりやすいものを作成できる場合がある。

③部分的な拡大

「2. (2) ①」の横須賀市野比近辺の立体地形図の例では、5万分の1の縮尺のも

の他、それを部分的に2倍に拡大して造形した例を示した。こうすることで、その部分の、より細部の情報も、触覚的に把握できるようにすることができる。

また、同様に、「2. (2) ③」での雲仙普賢岳の立体地形図の例では、旧山頂と溶岩ドームの部分だけを切り取って、その部分を2倍にして造形した例を示した。この場合は、旧山頂と溶岩ドームの違いを触覚的に把握できるためには、その程度の拡大が必要と考えるのである。

これらの例のように、より細部の情報を取る必要がある場合は、元のデータから、その細部を含む部分だけを切り取り、その部分を拡大して示すことが有効な場合があると考えられる。

なお、関連して、「1. (5)」の太陽系の惑星の模型の例では、8つの惑星すべての大きさを比較する場合には、地球を直径10mmとして各惑星の相対的な大きさをそろえたものを造形し、水星、金星、地球、火星については、地球を直径50mmとして4つの惑星の相対的な大きさをそろえたものを造形し、前者と後者を使い分けるということについて述べた。造形物において、惑星のように同種のものがある場合は、そのうちのいくつかを選んで、それらのみを拡大することが有効な場合もあると考えられる。

(3) 教材の複雑さについて

「1. (4)」のDNAの模型の例では、その構造の理解を主眼として、糖ーリン酸の連なりも、塩基も板状のものにするという単純化を行って造形した。

立体教材の複雑さの程度について、この例のように、より単純化することで、触覚的に分かりやすいものを作成することが可能な場合があると考えられる。

また、「1. (3)」の立体地球儀の例のように、基にする世界地図のデータについて、描画ソフトウェアを用いて、その海岸線の形状をより単純なものにする等の単純化を行うことが有効な場合もあると考える。

なお、このように、基にするデータがある場合に、そのデータを編集しないのであれば、複雑な形状でも触覚的に分かるようにするためには、より大きな造形物を作成する必要がある。

(4) 様々な触察の仕方への対応について

前述のように、触図の場合と立体物の場合では、触察の仕方が異なる。触図の場合は、水平面上で手指を動かすことになるが、立体物の場合は、手指で包む、指を穴に入れる、指でつまむ、指で挟む等の触察の仕方も想定できる。また、凹凸のある形状を触察する場合、小さな隙間や窪みに指先の腹部が部分的に入りつつ触察するといったことも想定できる。

「1. (4)」のDNAの模型の例では、積み重なる塩基と塩基の間に指を入れると

いう触り方を想定して、その間隔が 16mm 程度になるようにした。

「2. (1)」で取り上げた耳小骨の例では、アブミ骨の穴の部分に指を入れるという触り方を想定して、その穴に指が入る大きさにデータを拡大して造形している。

また、金子 (2014) ⁽¹⁾では、双曲面の教材について、その面を手指で包み込むという触り方を想定して、手指で面を包み込める大きさにした例を挙げている。

今回は、立体物の要素と要素の間に指を入れる、穴に指を入れる、手指で面を包み込むといった限られた例しか示すことができない。

しかし、例えば、特定の部分を指でつまむという触察の仕方が有効である立体物を作成するなら、その部分がつまめるように、全体的な大きさを調整する等の配慮のうえで作成する必要があると思われる。指で挟むという触察の仕方が想定される場合も同様と言える。

また、「2. (2)」で取り上げた立体地形図の凹凸を触察するような場合、その隙間や窪みに、指先の腹部が、ある程度は入るといふ触察の仕方も想定できる。この場合は、逆に、ある程度は、その部分が隙間や窪みに入るように凹凸が造形されていることが、凹凸形状の触覚的な分かりやすさにつながると考えられる。(注1)

様々な触察の仕方が可能であることが、立体物の触覚的な分かりやすさの理由の1つであると思われるが、立体教材の作成においては、その様々な触察の仕方を想定しての配慮も必要であると考ええる。

注1：その凹凸の程度が、どの程度であれば、触覚的に分かりやすいかは実験的な検討も必要であると思われるが、指先の腹部の形状や柔軟性を考慮すると、凸間の間隔としては5mm程度の間隔であれば分かりやすいのかもしれない。

文献

(1)金子健 (2014). 3D プリンターによる視覚障害教育用触察立体教材の試作. 第40回 感覚代行シンポジウム講演論文集, 55-58.

(金子 健)

4. 3Dスキャナーで3Dデータを生成した例

(1) 3Dスキャナーとは

3D スキャナーとは、離れた場所から精度の高い3次元座標を点群データとして取得することができる装置である。具体的には、対象物の表面の形状を、表面を覆い尽くすような点の座標の集合として計測する。その計測された点の集合データを点群データと呼んでいる。点群データは、専用ソフトを介し、距離等を計測することが可能となっている。

3D スキャナーを用いることにより、市販品としては入手しにくい立体教材や日常生活にありふれているが小さすぎたり精巧だったりしてそのままでは教材として適していない事物などの触覚教材を作成することが可能となる。しかし、3D スキャナーでデータを取得することができても、そのデータをそのまま3D プリンターで利用できるわけではない。3D スキャナーで取得したデータは不完全な状態であり、その補正が必要となってくる。したがって、3D スキャナーを利用する場合であっても、3次元データを修正加工する知識や技能は必要だということを心得ておく必要がある。

3D スキャナーは、各社から特徴ある製品が各種販売されているが、高機能のものからホビー用のものまで性能はさまざまである。本研究で用いた機種は「NextEngine HD Pro」という機種である。「NextEngine HD Pro」を例に3D スキャナーの原理を紹介する。

(2) 3Dスキャナーの原理

ここで用いた「NextEngine HD Pro」の主な特徴は以下の通りである。

フルカラーで高精度スキャンが可能、直感的に操作できる、3次元 CAD への取込みにも対応している。本体サイズが A4 サイズほどの大きさで取り扱いやすく、設置場所を選ばない。高機能であるが学校等でも納入可能な価格である。

本スキャナーの主な性能は以下のとおりである。

測定方法	マルチストライプレーザー三角測量方式
レーザー数	8 (Dual x 4)
センサ	300 万画素 CMOS イメージセンサ x 2
性能	Macro モード 6.5 inch (焦点距離 165.1 mm) Wide モード 17 inch (438.1 mm) Extended モード 17 inch (438.1 mm)
スキャン範囲(距離)	Macro モード 5 - 9 inch (127 - 228.6 mm) Wide モード 15 - 22 inch (381 - 558.8 mm) Extended モード 15 - 30 inch (381 - 762 mm)

スキャン範囲(縦横幅)

Macro モード 3 × 5 inch (76.2 x 127 mm)

Wide モード 10 × 13 inch (254 x 330.2 mm)

Extended モード 16 × 22 inch (406.2 x 558.8 mm)

精度 Macro モード 0.005 inch (0.127 mm)

Wide モード 0.015 inch (0.381 mm)

Extended モード 0.015 inch (0.381 mm)

動作環境 Windows XP, Vista, 7 (64 bit 推奨)

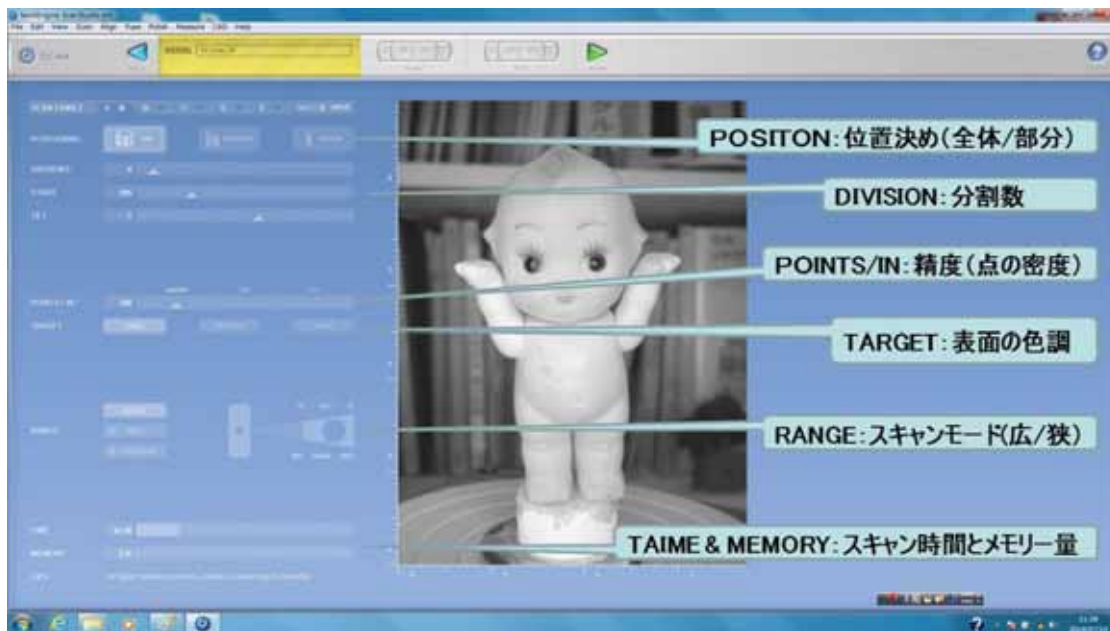
サイズ 224(w) x 277(h) x 92(d) mm

重量 約 3 kg

(3) スキャン作業

図IV-4-1は、本スキャナーの設定画面である。スキャンを行うための設定項目が示されている。これらの項目を対象物の形状や取得したいデータの質等に応じて設定すれば、スキャンが可能となる。

また、図IV-4-2に、実際のスキャンの場面を示す。



図IV-4-1 スキャン条件の設定画面

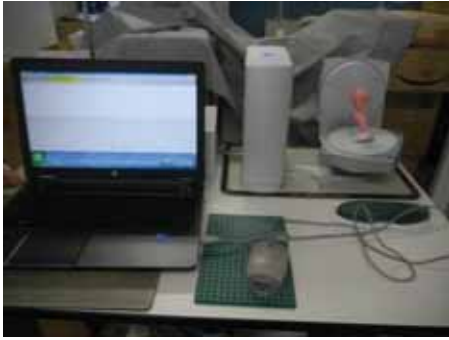


図 IV-4-2 3Dスキャン作業の例

なお、本スキャナーでは、極めて小さな対象物や、表面が白すぎたり黒すぎたりする対象部、反射する対象物等についてはデータを取得することが困難である。

データの修正

データの簡単な修正は、スキャナーに付属している「SCAN STUDIO HD PRO」というソフトでも可能であるが、精密な修正するためには、3D作成・修正ソフトウェアを利用する必要がある。なお、この「NextEngine HD Pro」には、オプションで「RapidWorks」というソフトウェアが用意されている。

データの修正には、大きく二つの作業がある。「位置合わせ」と「穴埋め作業」である。

位置合わせ (図IV-4-3)

立体物の場合は、その形状をいくつかに分けてスキャンする必要があるため、それぞれのデータの位置を合わせて一つの3次元データにまとめていかなければならない。この作業を「位置合わせ」という。この位置合わせは大変難しい作業であるが、適切な3次元データを得るためには最も重要な作業ということになる。位置がズレたまま作業を進めると最後までその影響が出てしまう。

3Dスキャナーのソフトの多くは、「自動位置合わせ」の機能を持っているが、「自動位置合わせ」は失敗する例が多く、手動で行うことが望ましいと言われている。

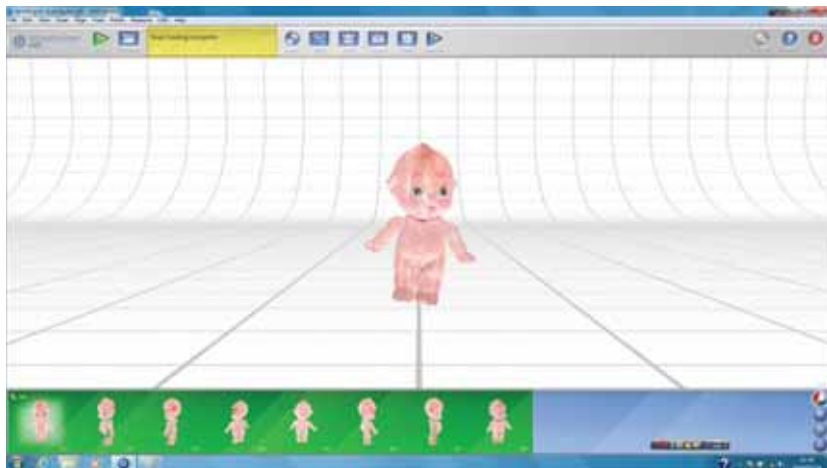
穴埋め作業 (図IV-4-4)

穴埋め作業は、スキャンの工程では取得することができなかった空白の部分(穴)を埋めていくことである。

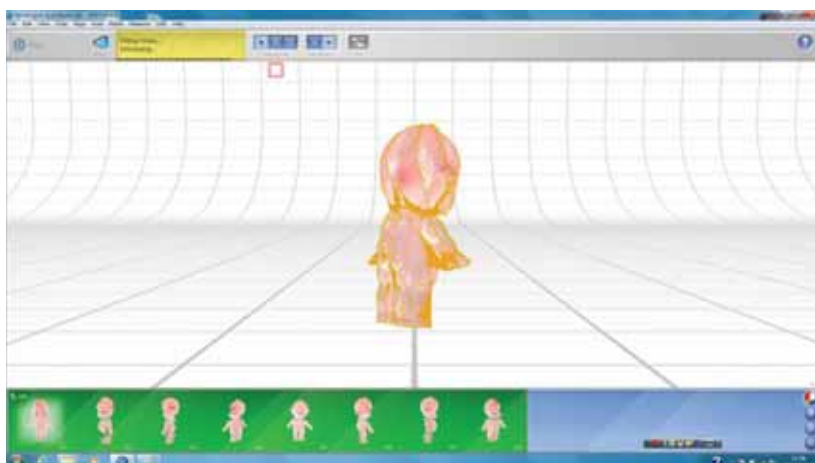
比較的小さな穴については、ソフトウェアに標準で用意されている「穴埋め機能」を利用する。しかし、大きな穴は一気に埋めることが困難である。そこで、大きな穴の部分には、「ブリッジ」の機能を用いて、穴のところどころに橋を渡して、穴の部分を小さくしてから「穴埋め機能」を用いて穴埋めをすることになる。オプションのソフトなどには、小さな穴をまとめて処理する機能を持っているので、その機能が利用できると作業の効率化を図ることができる。

こうしたプロセスを経て、対象物から3次元データを取得することができる。スキ

ャナーの利用にあたっては、スキャン作業後にもデータ修正等に手間がかかるので、スキャンする対象物について、しっかり吟味しておくことが大切だと言える。



図IV-4-3 データの位置合わせ



図IV-4-4 データの穴埋め作業

(4) スキャンデータと3D造形

図IV-4-5、図IV-4-6に「天保通寶」を例にスキャンデータと3Dプリンターで実際に出力した教材例を示した。

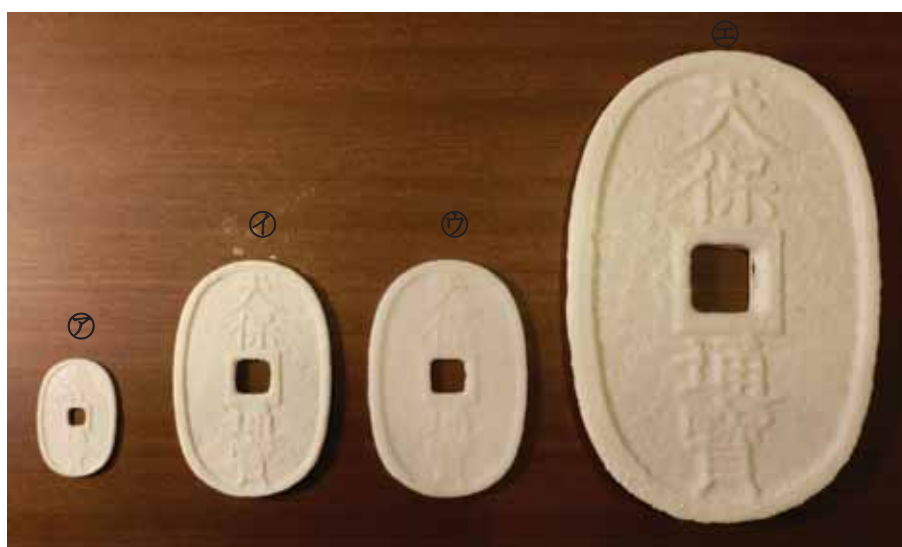
「NextEngine HD Pro」スキャナーを用いてデータを取得したが、スキャナーの精度を確認するために、データの補正は最低限にとどめている。「天保通寶」の文字が視覚的にはっきり読み取れるレベルでのスキャンができています。

図IV-4-6は、このデータを基に3Dプリンターで出力した3D造形教材である。㉞は原寸サイズ、㉟、㊱は縦横2倍（面積4倍）サイズ、㊲は縦横4倍（面積8倍）サイズになっている。また、㉞、㉟、㊲は、Value 3D MagiX MF-2000で出力したも

のである。㊦は AFINIA480 で出力したものである。客観的な検証に至っていないが、視覚障害の成人の触察では、㊦、㊧、㊨では、表面に書かれている「天」、「保」の字形を読み取ることができた。㊨では「通」の読み取りが可能であった。「寶」は㊨でも細部の判別が難しかった。



図IV-4-5 天保通宝の実物画像と3次元データ
左は実物画像、右は取得した3次元データの画像である。



図IV-4-6 3Dプリンターで造形した「天保通宝」教材
左から実物サイズ、4倍サイズ、16倍サイズ

図IV-4-7は、ルイブライユ生誕200年を記念して、米国で発行された記念コインである。これについて、両面の3次元形状をスキャンし、IV-4-8に示すように縦横2倍で造形した。表面に描かれている人物像を詳細に捉えることは困難であったが、顔が描かれていることは理解することができた。さらに大きく拡大して造形することにより、ルイブライユの顔面の詳細や裏面の子どもが点字を読んでいる画像をとらえることが可能になると思われる。



図IV-4-7 「ルイブライユ生誕 200 年 記念コイン (米国)」



図IV-4-8 3Dプリンターで拡大造形したコインの表面 (左) と裏面 (右)

(5) 視覚障害教育における3Dスキャンデータの活用の可能性

硬貨などは触覚的に識別して日常生活でよく利用している。しかし識別のための触覚的手がかりは、縁の溝の有無や大きさ、重さ、中央の穴の有無などであって、硬貨の両面に描かれているデザインの詳細な内容は把握できていなかった。視覚障害教育の現場でも、硬貨が識別できることに重点が置かれ、絵柄などについてはブラックボックスのままで特段の配慮はなされてこなかった。一般の教科書には多くの図版が掲載されているが、点字教科書ではほとんどが削除されるか文章での説明に置き換えられてしまっている。硬貨の例のように触ることはできても、たしかなイメージを持つことが困難な教材も多かった。こうした教材の中には、3Dデータ化して触認知の特性を考慮してデータを修正加工した上で、3D造形することにより、触認知が可能な教材として提供することが可能となるものも少なくないと思われる。

文献

(1)大内 進 (2008). 視覚障害教育のための3次元 CAD を活用した2次元画像の立体的翻案に関する研究. 科学研究費補助金研究成果報告書.

(大内 進)

V 3Dプリンター出力触察立体教材の評価

第Ⅱ章では、視覚障害教育における立体教材の重要性について述べた。第Ⅲ章では普及タイプの3Dプリンターによる立体教材作成法について整理した。第Ⅳ章では、実際に視覚障害教育用の触察立体教材の試作について紹介した。

本章では、本研究の目的の一つである3Dプリンターで作成した造形物の触察用立体教材としての活用という観点から造形物の評価を試みる。

研究計画では、3Dプリンターで出力された造形物がデータ通りのサイズで形成されているかどうかを検証することをめざしていた。しかし、異なったFDM方式3Dプリンターで試作した造形物の寸法をメジャーで測定したところ、顕著な誤差は認められなかった。むしろ、試作品の比較では、表面の滑らかさや凹凸の出具合、触覚的ノイズとなるバリなどの有無などが、機種によって異なっていることのほうが目立っていた。視覚障害教育用触察立体教材の作成という観点からは、むしろそうした造形精度について検証することが実際的であると判断した。そこで、本調査では、触覚の活用を前提とした視覚障害教育用触察立体教材の造形という観点、及びこうした新技術をできるだけ教育現場でも有効に活用していくための情報を提供するという観点から、利用可能なFDM方式の3Dプリンターを用いて出力した造形物における面情報、線情報、点情報のとらえやすさを確認した上で触覚による立体的な形状の判別のしやすさについて比較検証する。

1. 目的

触覚活用を前提とした視覚障害教育用触察立体教材という観点から、現在市販されている普及タイプの FDM 方式 3D プリンターで出力した造形物について、手指の探索による立体的形状のとらえやすさを比較する。

2. 方法

手指の探索による立体的形状のとらえやすさを比較するために、現在市販されている普及タイプの FDM 方式 3D プリンターを用いて同一の 3 次元データにより評価用造形物を作成し、それらを一対比較法により面、線、点の触覚による情報入手においてノイズが少なく、立体的形状がとらえやすいものを回答させた。

(1) 調査対象

本調査の対象は特別支援学校（盲学校）小学部 4 学年、6 学年の点字を常用している児童 10 名である。調査に際しては、保護者、本人に同意を得た。

(2) 造形に用いた 3D プリンターと樹脂素材

造形に用いた 3D プリンターと樹脂素材は以下の表のとおりである。

表 V-1 評価に用いたプリンターの機種と樹脂素材

3D プリンター機種	用いた樹脂素材	
MF2000（ムトーエンジニアリング）	ABS	PLA
AFINIA H480（Microboards Technology）	ABS	PLA
Replicator 2（MakerBot 社）	なし	PLA

(3) 実験材料として造形に用いた 3 次元データ

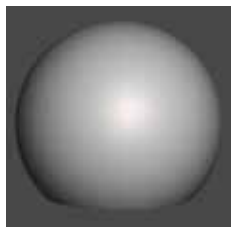
全体的立体形状をとらえるためには、面情報、線情報、点情報が手がかりとなる。面情報という観点から球面と平面が含まれる立体を用意した。平面が含まれる立体については、立体形状の複雑さという観点から正 4 面体、正 20 面体の 2 種類を用いた。

また、面の凹凸の状態の表現力という観点から、点字の形状を造形することにした。点字については、プリンターの出力精度を確認するために通常のサイズのものと同拡大したサイズの 2 種類を造形した。具体的な仕様は以下のとおりである。

なお、点字の凸表示については、同じデータで横置きと縦置きで出力したところ、横置きの場合は、点字の凸が明瞭に表示されにくかったため、縦置きで出力したものを採用することにした。

材料① 球

直径 50mm の球。安定させるため下面をフラットにカットした形状にしたデータ。局面の出力状況の比較に用いる。



材料② 正 4 面体

1 辺 64mm の正 4 面体のデータ。平面及び線（辺）の出力状況の比較に用いる。



材料③ 正 20 面体

1 辺 42mm の正 20 面体のデータ。平面及び線（辺）の出力状況の比較に用いる。



材料④点字（1.5mm 径）縦置き

50mm 四方の板にサイズの直径が 1.5 mm の点字を 6 点配列した「**⠠**」(め) を 1 文字記し、縦置きにデザインしたデータ。点の出力状況の比較に用いる。



材料⑤ 点字 (2.5mm 径) 縦置き

50mm 四方の板にサイズの直径が 2.5 mm の点字の「⠠」(め) を 1 文字記し、縦置きにデザインしたデータ。点の出力状況の比較に用いる。



(4) 3Dプリンターでの出力

上記 3D データを FDM 方式 3D プリンター 3 機種で出力した。素材は、ABS 樹脂、PLA 樹脂の 2 種類で出力することを原則としたが、Replicator 2 は、PLA 樹脂にのみ対応しているため、ABS 樹脂では造形できなかった。

各 3D プリンターで実験材料を出力するにあたって、以下の条件を統一した。

サポート：用いない。

ラフト：有に設定する。

z 軸の造形ピッチ：0.2mm に統一する。

各プリンターで造形した触察実験材料の画像を図 V-1 から図 V-5 に示した。











AFINIA H480 ABS (I)	MF2000 ABS (II)	AFINIA H480 PLA (III)	MF2000 PLA (IV)	Replicator 2 PLA (V)
				

図 V-1 各プリンターで造形した触察実験材料「球面」

AFINIA H480 ABS (Ⅰ)	MF2000 ABS (Ⅱ)	AFINIA H480 PLA (Ⅲ)	MF2000 PLA (Ⅳ)	Replicator 2 PLA (Ⅴ)
				

図V-2 各プリンターで造形した触察実験材料「正4面体」

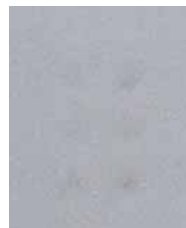
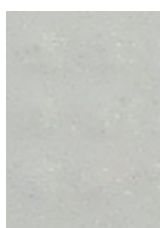



AFINIA H480 ABS (Ⅰ)	MF2000 ABS (Ⅱ)	AFINIA H480 PLA (Ⅲ)	MF2000 PLA (Ⅳ)	Replicator 2 PLA (Ⅴ)
				

図V-3 各プリンターで造形した触察実験材料「正20面体」

AFINIA H480 ABS (Ⅰ)	MF2000 ABS (Ⅱ)	AFINIA H480 PLA (Ⅲ)	MF2000 PLA (Ⅳ)	Replicator 2 PLA (Ⅴ)
				

図V-4 各プリンターで造形した触察実験材料「点字 2.5mm 径（縦置き）」

(全体の画像では、凸の状態が不明瞭なため⦿の部分のみ拡大して示した。)

AFINIA H480 ABS (Ⅰ)	MF2000 ABS (Ⅱ)	AFINIA H480 PLA (Ⅲ)	MF2000 PLA (Ⅳ)	Replicator 2 PLA (Ⅴ)
				

図V-5 各プリンターで造形した触察実験材料「点字 1.5mm 径（縦置き）」

(全体の画像では、凸の状態が不明瞭なため⦿の部分のみ拡大して示した。)

(5) 手続き

各3Dプリンター及び素材で5種類の実験材料を出力した。それぞれの種類について、機種あるいは素材の異なる2つの実験材料をランダムに組み合わせて、机上に提示した。それらを手指を使って観察してもらった。立体的形状がとらえやすい方を選択させた。その際、面についてはどちらの方が滑らかに感じるか、線については辺の部分がどちらの方がスムーズな直線としてとらえられるか、また点についてはどちらの方が立体の頂点としてとらえられるかという観点を示しバリや突起などのノイズの有無も確かめるように教示した。作業時間に制限は設けなかった。両者を触察後、どちらの方が立体的形状や触情報をとらえやすい造形物であるかを総合的に判断して、その結果を口頭で回答してもらった。併せて、触り心地について印象を尋ねた。

3. 結果

(1) 球

球状の造形データによる各プリンターでの造形材料の触察評価の結果は表V-2に示したとおりである。Replicator 2を用いてPLA樹脂で出力した造形材料が最も好評であった。ついでAFINIA480のPLA樹脂、ABS樹脂が好評であった。MF2000による造形評価はPLA樹脂、ABS樹脂のいずれも低かった。

表V-2 球の評価結果

	AFINIA H480 ABS (I)	MF2000 ABS (II)	AFINIA H480 PLA (III)	MF2000 PLA (IV)	Replicator 2 PLA (V)	評価 (良い)
AFINIA H480 ABS (I)		9	6	9	4	28
MF2000 ABS (II)	1		4	4	2	11
AFINIA H480 PLA (III)	4	6		9	1	20
MF2000 PLA (IV)	1	6	1		2	10
Replicator 2 PLA (V)	6	8	10	8		32
	12	29	21	30	9	

(2) 正 20 面体

正 20 面体の造形データによる造形材料の触察評価の結果は表V-3に示したとおりである。Replicator 2 を用いて PLA 樹脂で造形したものが最も好評で、AFINIA H480 の ABS 樹脂で出力した造形物が次いで好評であった。MF2000 の PLA 樹脂による造形は特に評価が低かった。

表V-3 正6面体の評価結果

	AFINIA H480 ABS (I)	MF2000 ABS (II)	AFINIA H480 PLA (III)	MF2000 PLA (IV)	Replicator 2 PLA (V)	評価 (良い)
AFINIA H480 ABS (I)		9	7	9	3	28
MF2000 ABS (II)	1		6	7	1	15
AFINIA H480 PLA (III)	2	3		5	2	12
MF2000 PLA (IV)	0	2	2		0	4
Replicator 2 PLA (V)	6	8	8	9		31
	9	22	23	30	6	

(3) 正 4 面体

正 4 面体の造形データによる造形材料の触察評価の結果は表V-4に示したとおりである。AFINIA480 の ABS 樹脂で出力した造形物が最も好評であった。ついで Replicator 2 の PLA 樹脂による造形が続いていた。MF2000 の造形評価は ABS 樹脂、PLA 樹脂ともに低かった。

表V-4 正4面体の評価結果

	AFINIA H480 ABS (I)	MF2000 ABS (II)	AFINIA H480 PLA (III)	MF2000 PLA (IV)	Replicator 2 PLA (V)	評価 (良い)
AFINIA H480 ABS (I)		10	6	9	6	31
MF2000 ABS (II)	0		4	8	0	12
AFINIA H480 PLA (III)	3	6		7	4	20
MF2000 PLA (IV)	0	1	1		0	2
Replicator 2 PLA (V)	4	8	6	9		27
	7	25	17	33	10	

(3) 点字 (1.5mm 径) 縦置き

径が 1.5mm の点字パターンの造形物の触察評価の結果は、表V-5に示したとおりである。AFINIA480 を用いて PLA 樹脂で出力した造形結果が最も好評であった。ついで Replicator 2 の PLA 樹脂による造形、AFINIA480 の ABS 樹脂による造形が続いていた。この点字パターンでは、MF2000 の ABS 及び PLA による造形も同水準で高い評価を得た。

表V-5 1.5mm 縦の評価結果

	AFINIA H480 ABS (I)	MF2000 ABS (II)	AFINIA H480 PLA (III)	MF2000 PLA (IV)	Replicator 2 PLA (V)	評価 (良い)
AFINIA H480 ABS (I)		5	4	5	5	19
MF2000 ABS (II)	5		4	3	7	19
AFINIA H480 PLA (III)	6	6		8	4	24
MF2000 PLA (IV)	5	7	2		4	18
Replicator 2 PLA (V)	5	3	6	6		20
	21	21	16	22	20	

(4) 点字 (2.5mm 径) 縦置き

点字の一点の直径が 2.5mm 縦の点字パターンの造形データを出力した造形物の比較結果は表 V-6 に示した。これは、Replicator 2 による PLA 樹脂での造形が最も好評であった。AFINIA480 による PLA 樹脂素材の造形が次に好評であった。MF2000 の PLA 樹脂による造形物の評価が最も低かった。

表 V-6 2.5mm 縦の評価結果

	AFINIA H480 ABS (I)	MF2000 ABS (II)	AFINIA H480 PLA (III)	MF2000 PLA (IV)	Replicator 2 PLA (V)	評価 (良い)
AFINIA H480 ABS (I)		5	4	5	4	18
MF2000 ABS (II)	5		3	7	5	20
AFINIA H480 PLA (III)	6	7		6	3	22
MF2000 PLA (IV)	5	4	4		2	15
Replicator 2 PLA (V)	6	5	7	8		26
	22	21	18	26	14	

4. 考察

AFINIA H480、MF2000、Replicator 2 という 3 機種 of FDM 方式 3D プリンターで出力した造形物の立体的形状のとらえやすさについて、触察用教材という観点から比較した。

(1) 形状について

曲面の滑らかさ、触り心地の良さという観点からは、Replicator 2 (Maker Bot 社) を用いて PLA 樹脂で出力した造形結果が最も好評であった。MF2000 の造形評価は ABS 樹脂、PLA 樹脂どちらの素材の場合も低かった。

平面の滑らかさという観点からは AFINIA480 で ABS 樹脂を素材として用いたものが最も好評であった。AFINIA480 では、水平面、垂直面の平坦さという点で顕著な差がなかったことも高得点の要因だと思われる。Replicator 2 の場合は、平面は滑らかであったが、垂直面の出力にばらつきが目立った。MF 2000 は、粗さがめだち、垂直面の表現力は 3 機種中最も粗さが目立った。

以上のことから、Replicator 2 は局面の出力が得意であり、AFINIA H480 は平面や

辺（線）が明瞭な造形物を出力できるといえる。MF2000 はバリがあったり、本来平面であるところに歪みがあったりするなど安定感に欠けるところがあった。これらの点が低い評価に至った大きな要因であると思われる。

（2）点字の「⠠」の造形について

点字の「⠠」の造形結果については、本研究で使用した3種の装置と素材では、AFINIA480のPLA樹脂を素材として用いたもの、Replicator 2のPLA樹脂を素材として用いたものが好評であった。この造形については、MF2000の評価も低くなかった。ただし、これはデータを縦置きにして出力した場合の結果である。通常のように横置きにしてデータで出力した造形では、「⠠」と触知する事が困難なものが多く、今回の対象とすることができなかった。FDM方式3Dプリンターでの点字利用の可能性について点字文字列や点字による文章などの出力状況や出力方法の影響などの面からその精度について、さらに丁寧に検証していく必要があるといえる。

（3）造形樹脂素材について

ABS樹脂とPLA樹脂を造形材料として用いた。樹脂の違いが触察に及ぼす影響については比較対象が少ないこともあり、今回の結果から明言することはできないが、以下に本調査内でわかったことを記す。同一機種での評価を比べると、AFINIA480の場合は、ABS樹脂の方が評価は高い傾向が認められた。MF2000でも、どちらかというともABS樹脂の方が触り心地という点では評価の高い傾向が認められた。他方、Replicator 2はPLA樹脂に特化した機種であるが、AFINIA480と同水準で高い評価を得ていた。ABS樹脂とPLA樹脂では溶解温度等が異なるなど特性に違いがある。どちらの樹脂も用いることができる機種も多く出回っているが、機種によって得意とする造形材料が異なっていること、樹脂の切り替えの際の設定の変更が造形結果に影響してくることなどに留意する必要があることを示している。

実証に用いることができた機種は、計画していた機種数よりも少なくなってしまうが、3機種を比較しただけでも機種や用いる造形材料によって、立体的な表現や触り心地が異なっていることが明確に示された。このことは、触察教材作成を目的として3Dプリンターを導入する場合は、納入前に出力サンプルで形状や触り心地について、十分に検証する必要があることを示している。

視覚的な印象と触覚的な印象は似ている面もあるが、実際に触れてみないと確認できないところもある。より簡便に確実に検証する方法を開発していくことが必要だといえる。

（4）まとめ

FDM方式3Dプリンターは、すでに50種類以上の機種が市販されている。本調査

で用いた機種は限定されているものの、触察立体教材という観点からみると、3Dプリンターによる造形物の精度は一様ではなく、そのとらえやすさも異なっているということが示された。明確な結論を得るためには、さまざまな条件での多角的な分析がさらに必要であるが、視覚的にも面の滑らかさや線の凹凸の状態などが、機種によって異なっていることは明白であった。視覚障害教育機関でこうした機器を納入するにあたっては、形状等を十分に吟味してその選択を慎重に行う必要があることを示している。また、こうした情報を教育機関等で単独で得ることは難しい。メーカーから示されている性能だけでなく、実際の出力の結果からその性能が判断できるような情報を提供する仕組み作りが必要だといえる。

本調査は、同一のデータで出力しても、プリンターごとにその造形精度が異なっていることを確認することを最優先課題としており、3Dプリンターの性能を比較評価し、優劣をつけることを目的としているわけではない。企業の積極的な取組などにより、視覚障害教育機関等での3Dプリンター導入への関心が高まってきていることもあり、今後触察教材作製を目的として3Dプリンターの導入が進んでいくものと思われる。機器選定にあたって配慮すべき点を示す事ができた点で、本調査は小規模なものであったが、めざしていた目的は達成することができたといえる。

2009年にFDM方式の特許が公開されたことにより、廉価な3Dプリンターが登場することになった。しかしながら、FDM方式のプリンターは、造形精度が低いこと、造形に時間がかかることなどの制約も多く、学校教育機関で利用する機器としては必ずしも望ましいとはいえない側面もある。2014年にはより精度の高い造形が可能な「レーザー焼結法」の特許も公開されており、FDM方式以外の方式による普及型プリンターの開発も進んでいく事が予想される。FDM方式についてさらに検証を進めるとともに、FDM方式以外のプリンターの開発状況についても情報を収集し、触察教材作製という観点から実証的な研究を進めている必要があると思われる。

文献

- (1)American Printing House for the Blind (1997). Guidelines for Design of Tactile Graphics. <http://www.aph.org/edresearch/guides.htm>. (2014年12月1日閲覧)
- (2)Eric Gaba (2008). File:Tissot indicatrix world map equirectangular proj.svg. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tissot_indicatrix_world_map_equirectangular_proj.svg. (2014年12月1日閲覧)
- (3)Robert Johnston (2010). Planetary maps. <http://www.johnstonsarchive.net/spaceart/cylmaps.html>. (2014年12月1日閲覧)
- (4)Mirela Kahrimanovic, Wouter M. Bergmann Tiest, Astrid M. L. Kappers (2011). Discrimination thresholds for haptic perception of volume, surface area, and weight. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73, 8, 2649-2656.

- (5)日本盲人社会福祉施設協議会点字出版部会点字地図記号委員会（1984）. 歩行用触
地図製作ハンドブック. 日本盲人社会福祉施設協議会.
- (6)金子健, 大内進（2005）. 点字教科書における図版の触図化について一触図作成マ
ニュアル
- (7)YAHOO!JAPAN（2013）. さわれる検索.
Sawareru.jp/report/1/（2014年10月1日閲覧）

（大内 進・手嶋吉法・山田毅）

VI 総合考察および結論

1. 総合考察

本研究は、3Dプリンターの活用による、触覚の活用を前提とした視覚障害教育用触察立体教材の造形の在り方を検討するために、千葉工業大学工学部と当研究所が平成25年度及び平成26年度に、共同研究「3D造形装置による視覚障害教育用触察立体教材の評価に関する実際的な研究」として実施したものである。

本研究では、触覚活用を前提とした視覚障害教育用触察立体教材という観点から、現在市販されている普及タイプの3Dプリンターで出力した造形物について、その触覚活用面から客観的な評価を行い、3Dプリンターによる立体教材に関して、触覚活用を前提とした教材としての活用の可能性や課題点を明らかにすること、またそのことを通して、実際の教材作成に当たっての配慮すべき点や工夫が望まれる点などを提案するとともに、3Dプリンターによる造形物の作製手順に関して教員向けにわかりやすいガイドブックを開発することを目的として取り組んだ。

これらの目的を達成するための、以下のような方法で研究を遂行し、報告書はこの枠組みに沿って取りまとめた。

(1) 研究の前提として、視覚障害教育用の触察立体教材の意義と活用方法について知見をまとめる。

(2) 3Dプリンターを用いて視覚障害教育用の触察立体教材を作成する手順と作製プロセスでの留意点や工夫すべき点について整理する。

(3) 普及型の3Dプリンターによって視覚障害用の触察立体教材を試作することを通して、その作成方法や作成及び活用上の留意点等についてまとめる。

(4) 現在入手可能なFDM方式の普及型3Dプリンターを用いて出力した造形物の面、線、点等の基本的な形状に関して、触覚的な判別のしやすさについて検証する。

(5) 以上の知見や検証結果などを踏まえて、3Dプリンターによる造形物の作製手順に関して教員向けのわかりやすいガイドブックを作成する。

第I章では、本研究の背景、目的、方法及び本報告書の構成について述べた。

第II章では、視覚障害教育における立体(3次元)教材の意義について述べた。これは、方法の(1)に対応している。視覚障害がある当事者のグッドプラクティスを例示することにより、触察用立体教材は視覚障害教育において大変重要な教材であり、積極的に活用していく意義があること、触察用立体教材の作成や利用に際しては、触覚活用の特性を考慮する必要があること、触察力が向上してくると、触覚活用により豊かな情報を取得することができるようになるが、それは日々の経験の積み重ねの結果であり、視覚障害教育においては触察活用の向上を目指した指導法や指導内容の工夫が必要であり、また積極的に触覚を活用する環境を整えることも大切になってくることなどを具体的に明示した。

第Ⅲ章は、研究方法の（２）に対応しており、視覚障害教育用触察立体教材の開発を前提として３Ｄ造形法について概説した上で、これから学校教育現場に普及していくと思われるＦＤＭ方式による３Ｄプリンターの特性と活用上の配慮点について詳説した。具体的には、ＦＤＭ方式のプリンターは、簡便に３Ｄ造形できる装置であるが、造形精度や造形サイズなどに制約がある事、触覚教材としての使用に耐えうる造形をするためには、データの作成から吟味しなければならないこと、またできるだけ触察において違和感を生じさせない造形上の工夫点などについて述べた。

第Ⅳ章は、実際に３Ｄプリンターを使って視覚障害教育用立体触覚教材を試作し、具体的な教材の作成方法及び作成上の工夫点や留意点を紹介した。全般的な配慮事項として、その教材の目的に対応して、必要な情報が取得できるように、教材の大きさ、複雑な形状等に対して配慮しなければならないこと、触覚の解像度は視覚に比較して低いので、細部の情報を取る必要がある場合はより大きなものにする必要があること、複雑な形状のものについて、その細部の情報が不要な場合はより単純化して造形すること、立体物の場合は水平方向の大きさや複雑さだけではなく、高さ方向の大きさや複雑さについても配慮する必要があること、立体物の触察の仕方に対応した教材を作成する必要があること、複数の事物の大きさを比較する場合は、同じ拡大率をとる必要があること、などを示した。

また、インターネット上から取得できる３Ｄデータについては、一般に晴眼者の利用を前提とするものであるため、立体にしたからと言って必ずしも触覚教材として適当ではないと思われるものや３Ｄデータとして不備なものも含まれており、吟味が必要であることについても述べた。

３Ｄ教材として、より細部の情報を提供する必要がある場合は、元の立体形状を示しつつ、目的とする細部を含む部分を抜き出し、その部分を拡大して示すことが有効な場合があること、すべてが同一の大きさで示すことができない場合は、いくつかのグループに分けて、それぞれに基準を設けて、間接的に大小を比較する方法が有効であることも示した。

複雑な形状の教材については、触覚的に分かりやすいより単純化した教材で概要を理解した上で、複雑な形状の認知へと発展させていくこと、その場合、教材の拡大も合わせて考慮することなどについても具体例を挙げて示した。

平面的な触図と立体物では、触察の仕方が異なっているところがある。触図では平面上に手指を動かして情報を取得するが、立体的な形状では、手指で包む、指でつまむ、指で挟む等の手指の使い方や凹凸のある場合は、隙間や窪みに指先を入れて観察するということもある。教材の形状から、様々な手指の使い方を想定してできるだけ豊かな触察ができるように配慮することの重要性についても述べた。

以上から、本研究の目的（２）及び（３）について取り組むことができたのではないかと考えている。

第Ⅴ章は、方法の（４）に対応しており、研究目的の（１）に関わる内容である。さまざまな３Ｄプリンターが市販されるようになってきているが、造形精度や造形物の表

面の触感などが、機種によって異なっており、触覚教材を作成するという観点からは、各プリンターの特性を十分に理解して選定する必要がある事を実験的な手法で示した。

限られた機種であるが、同一の3Dサンプルデータを用いて、造形作業を行い、出力した試験教材を実際に視覚障害児童に触察してもらい、造形物の立体的形状のとらえやすさ、触り心地などについて確認した。わずか3種類の機種と2種類の材料での比較であったが、触覚活用に耐えられる造形ができる機種と推奨するには至らない機種がある事が認められた。これらの結果を踏まえて、学校等への機器の導入に当たっての留意点をまとめた。本研究では、3Dプリンターの優劣をつけることを目的とするものではない。触察用立体教材を作成するという観点から、触察上違和感がなく、また事後の仕上げ作業の手間もかからない造形ができるプリンターが望ましい。こうした観点から同一のデータを使って出力した場合の機種間の異同について検証を行った。限られた研究期間であったこともあり、多くの機種について比較検討できなかった点が反省点として挙げられるが、限られた機種であっても、造形の状態が異なることを明確に示すことができたことは、今後の機種導入に役立たせることができるものと思われる。

第II章から第V章までの内容を整理して、視覚障害教育に携わる教員向けの「視覚障害教育用触察立体教材作成のための3Dプリンター活用ガイドブック」を別冊としてまとめた。これは、研究方法の(4)に対応し、研究目的の(4)に掲げたものである。

本ガイドブックでは、触察用立体教材を作成するという点に焦点をあて、視覚障害教育に携わる教職員を主な対象として、基本的な内容を平明に記した。一般的な3Dプリンターの使い方を解説することを目的としていないため、3Dプリンターや3Dスキャナーの使用法については、詳説しなかった。3Dプリンターを利用するに当たっては、3Dデータの用意が不可欠である。データの入手方法としては、3DCADソフトや3DCGソフトの利用による自作、3Dスキャナーからの取得、インターネット等から完成したデータの取得が主なものである。研究計画では、3Dスキャナーの活用を掲げていたが、ガイドブックでは、データの自作やインターネットからのデータ活用についても基本的事項を紹介した。

今後、視覚障害教育の分野で3Dプリンターを活用した教材作成が普及してくることが予想される。できるだけ適切な教材を作成し、活用してもらうために本ガイドブックが活用されることを望んでいる。

2. 結論

(1) 検証した機種は限定的であったが、触覚活用を前提とした視覚障害教育用触察立体教材という観点から、普及タイプのFDM方式3Dプリンターで出力した造形物について、その触覚活用面から客観的な評価を行う手法を示し、造形の基礎として、面、線、点の造形状態から触察教材としての適否に関する基本的な情報が得られることを確認できた。

(2) 3Dプリンターによる触察立体教材の造形に関して、高精度の造形が期待できないFDM方式の3Dプリンターによる造形でも適切な機種を選択すれば、触覚活用を前

提とした教材としての活用が可能であることが認められた。今後さらに、さまざまな機種について形状やサイズの異なる教材を造形し、丁寧な検証を行っていく必要がある。

(3) 実際に教材を造形することを通して、触察立体教材を、3Dプリンターを用いて作成するにあたっての基本的な工夫点や課題点を示すこともできた。学校現場では、対象の児童生徒のニーズや教科等の特性等が多様であることを考えると、今後、それに対応して、触察立体教材作成にあたっての配慮点や工夫点について、さらに検討する必要があると思われる。

(4) 3Dプリンターによる造形物の作製手順に関して教員向けにわかりやすいガイドブックを開発するという目的は達成することができたと考える。しかしながら、現場の教員がより利用しやすくするためには、実例をより多く示すとともに、具体的な活用事例も示していく必要があると思われる。

研究体制

1. 研究代表者

大内 進 (企画部 客員研究員)

2. 所内研究分担者

金子 健 (企画部 総括研究員)

3. 共同研究の相手方

千葉工業大学

4. 研究分担者

手嶋 吉法 (千葉工業大学 教授)

5. 研究協力者

渡辺 泰成 (千葉工業大学 講師)

豊田 航志 (成蹊大学工学部 助教)

山田 毅 (筑波大学附属視覚特別支援学校 教諭)

おわりに

本研究は、視覚障害教育における触覚活用を前提とした3Dプリンターによる触察用立体教材の作成と活用に焦点をあてて、千葉工業大学手嶋研究室と共同で取り組んできた。

この数年、急速にFDM方式による3Dプリンターの開発が進み、特別支援学校等でも納入可能な価格帯で市販されるようになってきている。企業等の活動などの影響もあり、視覚障害教育の学校現場でも大きな話題の一つになっている。

盲学校等にこうした機器が導入され、これまで具現化することが困難であった触察立体教材が、一人一人の児童生徒のニーズ等に応じて提供されるようになることは大変望ましいことだといえる。しかしながら、昨今の状況は、ブームに流されているような感じがしないわけでもない。こうした機器は、何でも造形できる「魔法の箱」ではない。視覚障害教育用の触察立体教材作製という観点からは、造形される教材については、触覚特性に応じたその形状等へ配慮や工夫が必要であり、質感などの属性についても十分吟味することが必要となってくる。FDM方式の3Dプリンターは、高性能の機種に比べて造形の精度や造形のサイズなどの性能面での制約があることも否めないことから、より慎重に3Dプリンターでできることとできないこと、してよいこととしてはいけないことをしっかり見極めて対応していく必要がある。

本研究では、こうした観点に立って、3Dプリンターの活用方法について整理するとともに、3Dプリンターで造形した教材を触覚活用の観点から検証して、その利用の可能性や配慮すべき点について検討した。十分とは言えないが、FDM方式による3Dプリンターの特性とそれを踏まえての視覚障害教育用触察立体教材作成における配慮点及び活用上の留意点について整理、検証し、その成果を「視覚障害教育用触察立体教材作成のための3Dプリンター活用ガイドブック」としてまとめることができた。

これらの内容は、3Dプリンターが広く学校現場に普及する前に必要とされる情報であると考えられる。また、立体教材は、視覚障害の有無にかかわらず活用できるものであることから、本報告は視覚障害教育のみならず、特別支援教育全般、さらには通常の学校での教育においても有用と思われる内容も含まれていると考える。今後、3Dプリンターの導入が進んでいくものと思われるが、いささかでもその活用の参考になれば幸いである。

本報告書及びガイドブックをお読みいただき、忌憚のないご意見をお聞かせいただくと幸いです。

謝辞

最後に、本研究において3Dプリンターの活用法について、さまざまな知見や情報を提供していただいた千葉工業大学教授手嶋吉法先生ならびに3Dデータの作成や造形法に関してアドバイスいただいたケイズデザインラボの原様、井出様はじめスタッフの

皆様に感謝申し上げます。また、研究を推進する上で協力いただいた研究協力者の皆様、貴重な情報を提供して下さった筑波大学附属視覚特別支援学校山田毅先生、森嶋政晴先生、佐東真由子先生ほか諸先生方にも感謝申し上げます。

研究代表者 企画部客員研究員 大内 進

共同研究

3D造形装置による視覚障害教育用立体教材の評価に関する実際的研究
平成25年度～平成26年度

研究成果報告書

研究代表者 大内 進

平成27年3月

著作 独立行政法人国立特別支援教育総合研究所

発行 独立行政法人国立特別支援教育総合研究所

〒239-8585

神奈川県横須賀市野比5丁目1番1号

TEL : 046-839-6803

FAX : 046-839-6918

<http://www.nise.go.jp>



リサイクル適性[Ⓐ]

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。