

## 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で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

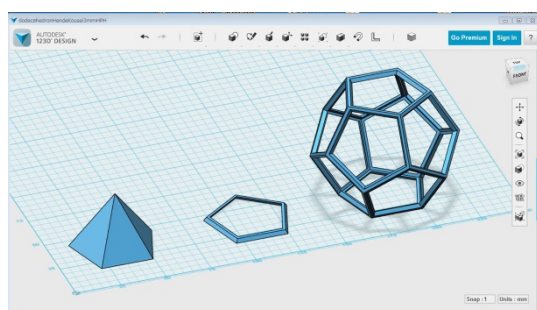
左から、それぞれ、正 4 面体、正 6 面体、正 8 面体、正 12 面体、正 20 面体を構成する角錐 1 個である。

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<sup>(13)</sup>。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。

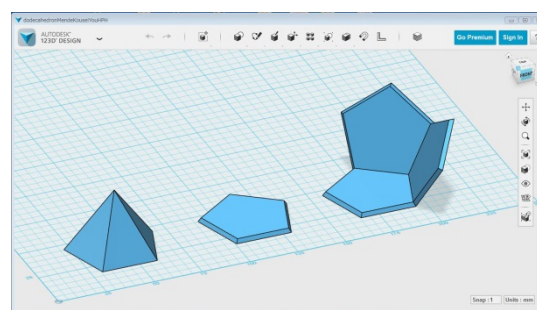
また、この角錐のデータを適当に加工して組み合わせることで、頂点と辺で構成された正多面体を作成することも可能である。正 12 面体の場合について、図Ⅳ－1－3 に、そのデータ作成画面を示す。

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<sup>(10)(7)(8)</sup>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<sup>(11)</sup>。

仁徳天皇陵（大仙陵古墳）は最大の方後円墳であり、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<sup>(14)</sup>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<sup>(2)</sup>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 3 mm 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 2 mm 程度であることや、触図作成のガイドライン等<sup>(1)(6)</sup>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指す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。

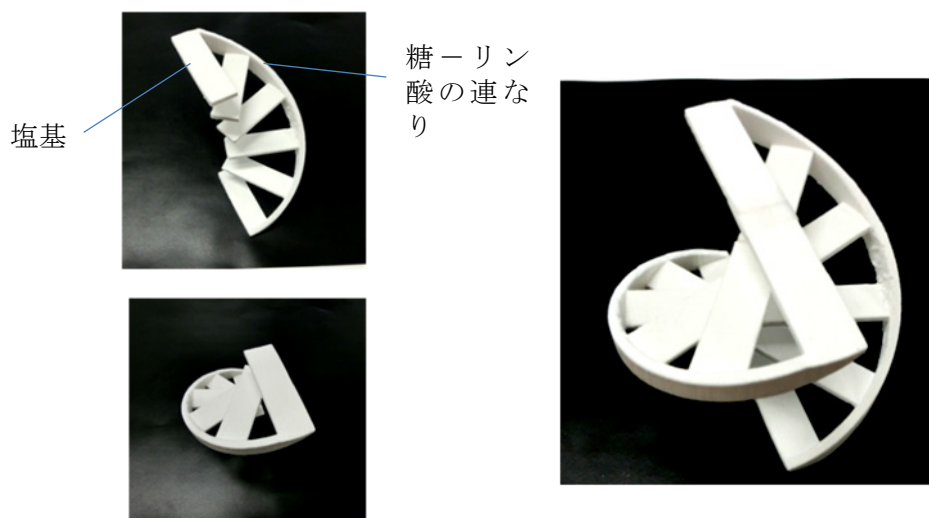
また、基にする世界地図を、世界の主要都市の所在地を白塗りの円で表し、それ以外の陸地の部分を明度を落としたグレーとすれば、主要都市の位置情報を示す立体地球儀を作成することができる。

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<sup>(4)</sup>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каろうじ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<sup>③</sup>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<sup>⑨⑫</sup>。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<sup>⑨</sup>。

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<sup>⑤</sup>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](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 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—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](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みたものである。



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

小惑星イトカワについては、元のデータのまま、長軸で 56mm の大きさを造形している。それでも、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 倍の大きさを作成した。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、触覚的には小さすぎるので、その幅が 3 mm 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 の大きさを、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。

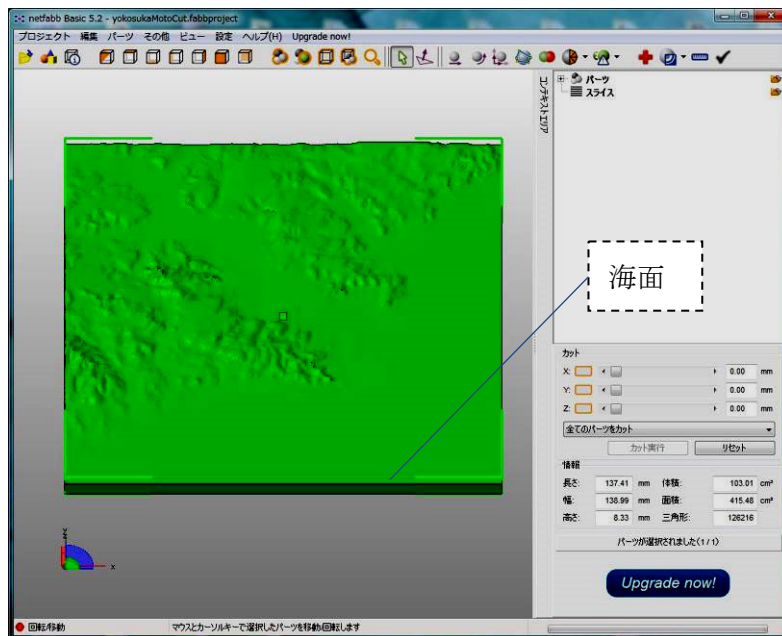
鎌倉の大仏についても、その衣紋（衣装の皺）等が分かりやすいように、1.5 倍に拡大して、体高で 102mm の大きさを造形している。

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。



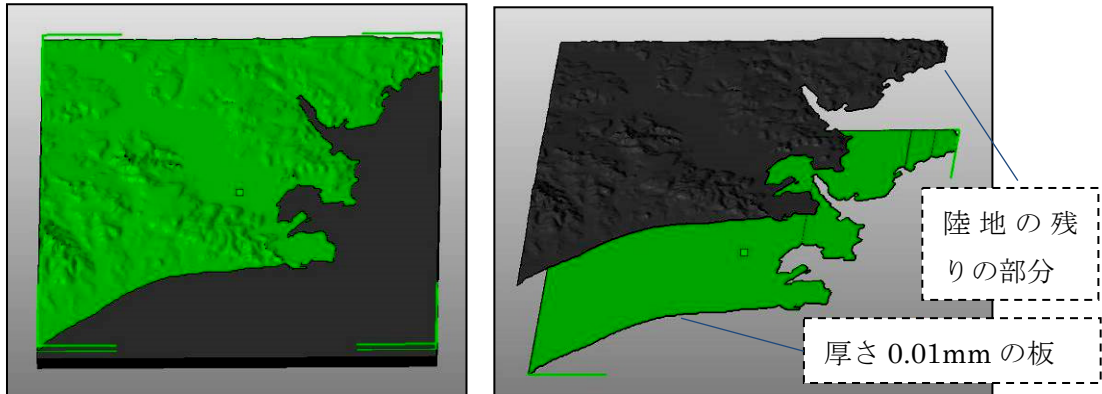
図Ⅳ－２－６ 立体地形図の元データ

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 1 mm～2 mm 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 1 mm～2 mm 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。

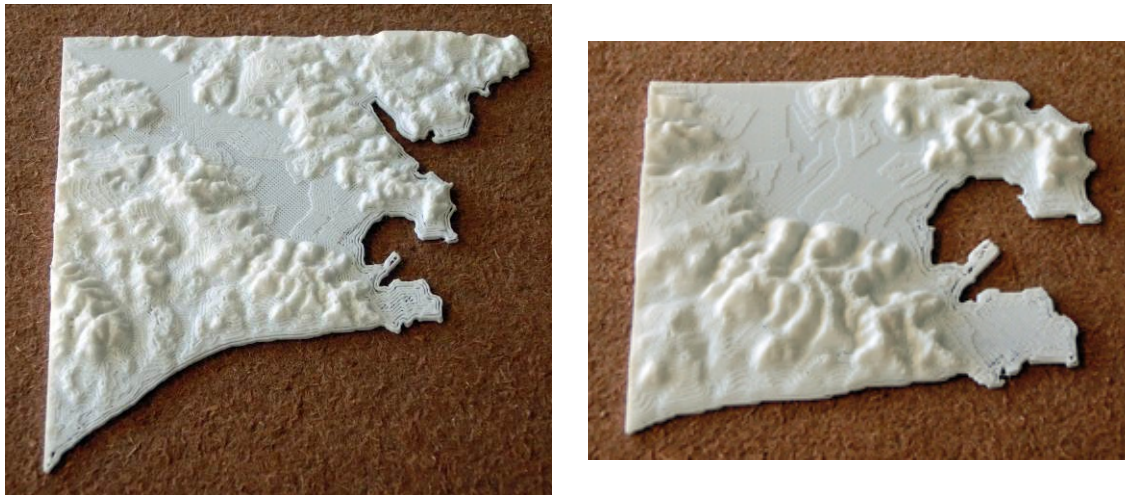
注3：同じ国土地理院の「基盤地図情報」サイト（<http://www.gsi.go.jp/kiban/>）上で公開されている、日本の標高データ（基盤地図情報数値標高モデル）からも、日本の各地域の立体地形図を作成することが可能である。ただし、この場合は、そのデータを3Dデータに変換する必要がある。また、変換したデータは厚みのない面のデータとなるため、3Dプリンターによる造形のためには厚みをつける必要がある。これらのためには、別途、データ変換や面の厚み付けが可能なソフトウェアが必要となる<sup>(3)</sup>。

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、触覚のみに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。

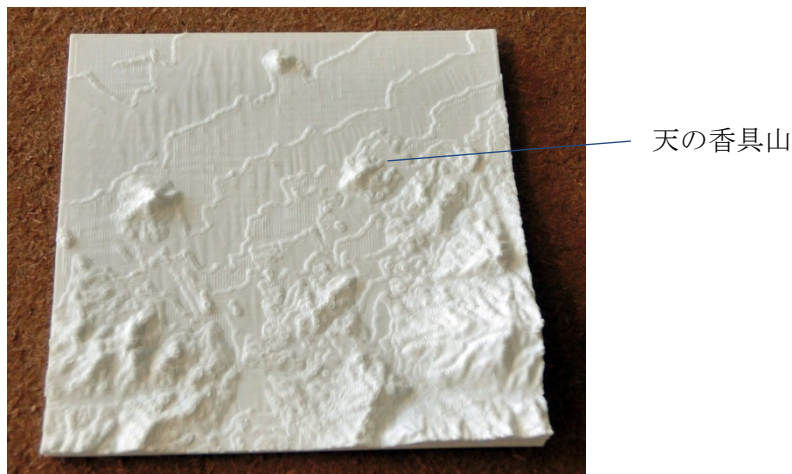
なお、ここでは、当研究所所在地近辺の立体地形図を示したが、例えば、全国の特別支援学校（視覚障害）所在地近辺の立体地形図を作成して、同校において活用することは、意義のあることであると考えられる。

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 2 mm であれば触覚的に明確に分かるとすれば、最高点が 3 mm の凹凸については、0 から 3 mm の間で 2 mm 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<sup>②</sup>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<sup>①</sup>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<sup>②</sup>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<sup>⑤</sup>には、その地形を示す鎌倉の地図が掲載されている。なお、そこでは、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<sup>(4)</sup>。

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。

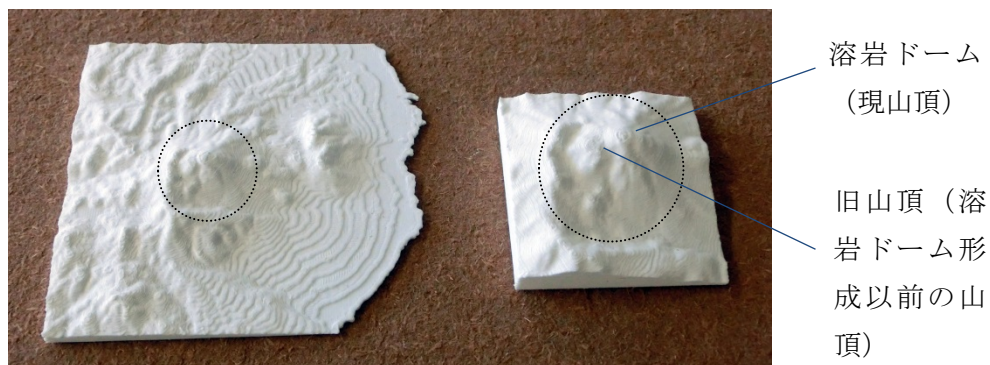
ここでの造形例では、火山の傾斜の仕方に意味があるので高さ方向の調整はしていない。もともと、山の地形図のように標高差が大きい場合には、前述のような、触って分かりやすいようにするための高さ方向の調整は必要ないようである。

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](http://asahi.com), 2010 年 9 月 9 日.
- (2)浜島書店 (2013). 新詳日本史一地図資料年表. 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、その情報を取る事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に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に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・縮小は一樣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

のその他、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てのことである。

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いくつかある場合は、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) <sup>(1)</sup>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に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う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5 mm 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)<br>Wide モード 17 inch (438.1 mm)<br>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)<br>Wide モード 15 - 22 inch (381 - 558.8 mm)<br>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)

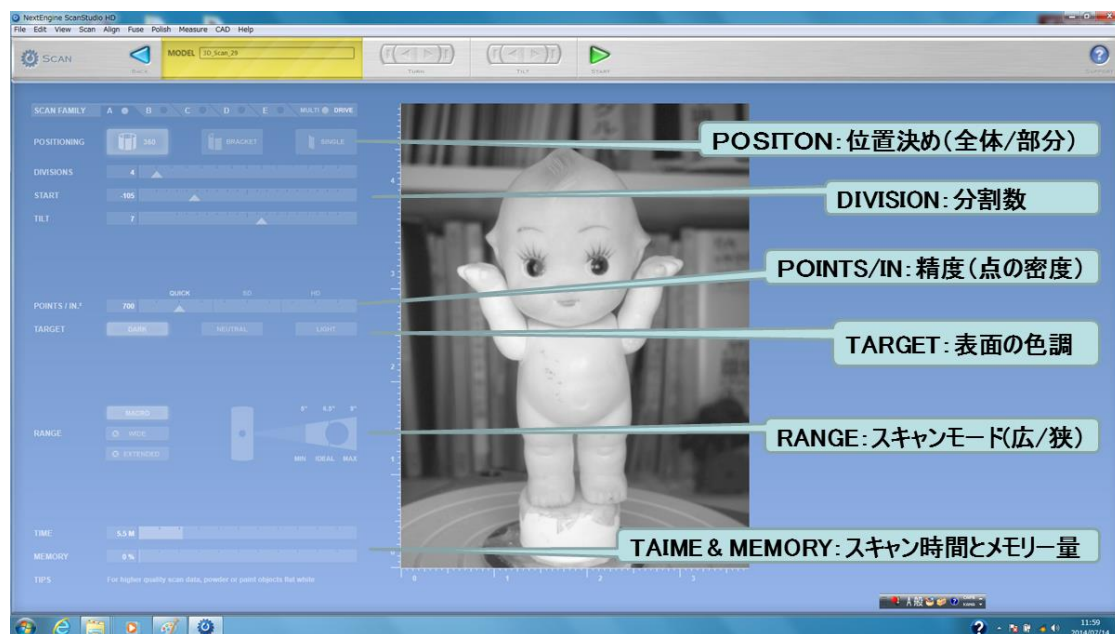
サイズ 224(w) x 277(h) x 92(d) mm

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。



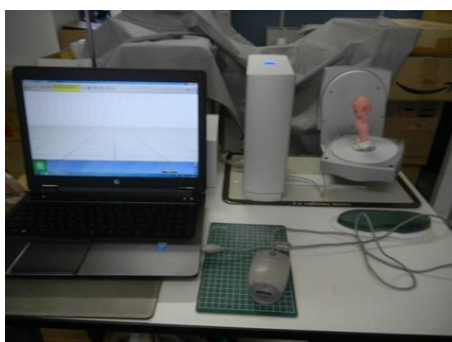


図 IV-4-2 3Dスキャン作業の例

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。

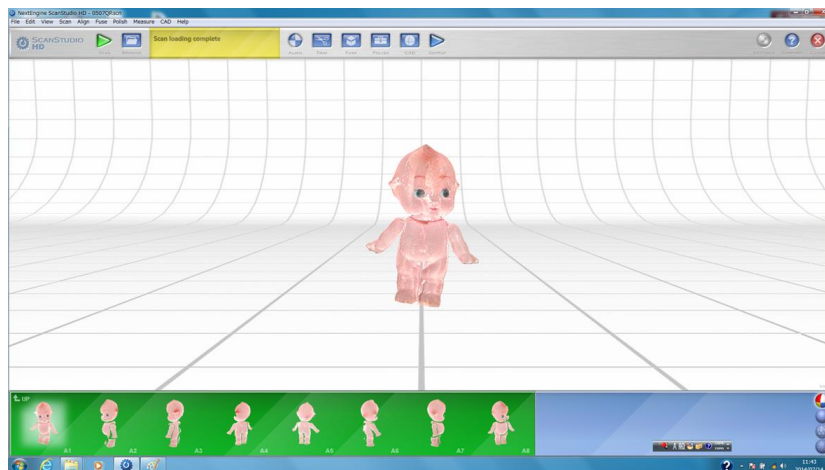
#### 穴埋め作業 (図IV-4-4)

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。

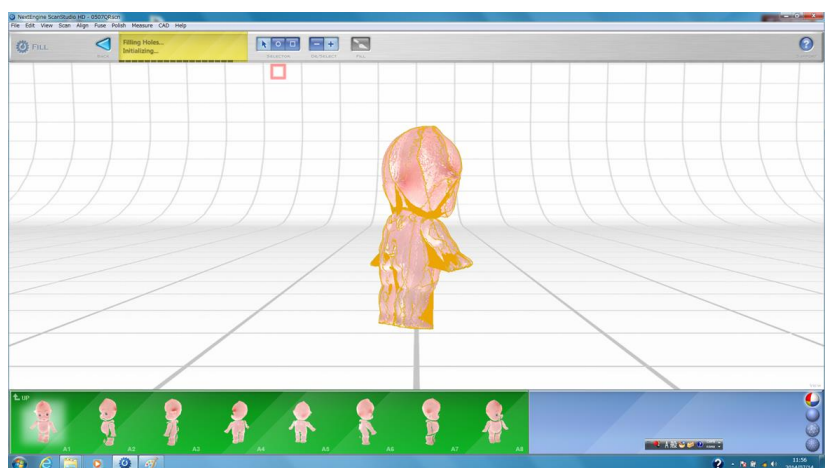
比較的小さな穴については、ソフトウェアに標準で用意されている「穴埋め機能」を利用する。しかし、大きな穴は一気に埋めることが困難である。そこで、大きな穴の部分には、「ブリッジ」の機能を用いて、穴のところどころに橋を渡して、穴の部分を小さくしてから「穴埋め機能」を用いて穴埋めをすることになる。オプションのソフトなどには、小さな穴をまとめて処理する機能を持っているので、その機能が利用できると作業の効率化を図ることができる。

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。

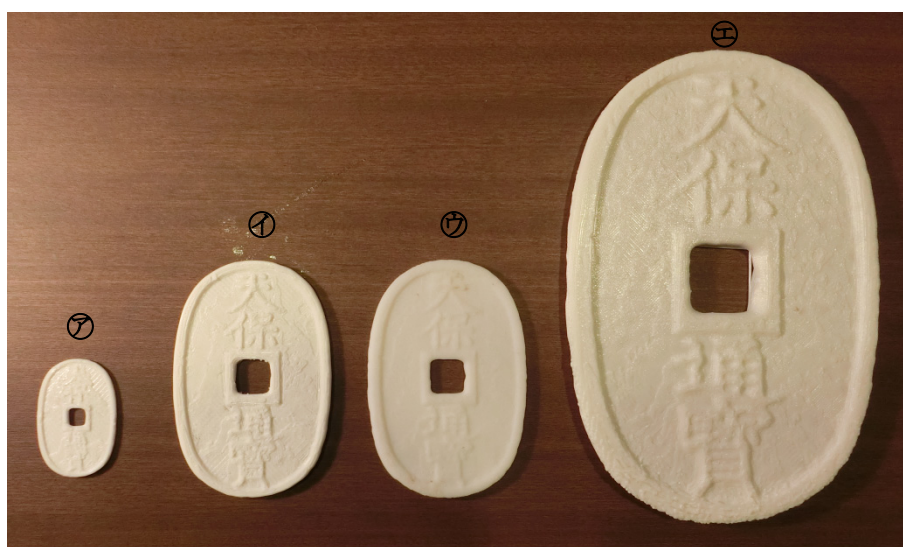
図Ⅳ－４－６は、このデータを基に３Ｄプリンターで出力した３Ｄ造形教材である。㉞は原寸サイズ、㉟、㊱は縦横２倍（面積４倍）サイズ、㊲は縦横４倍（面積８倍）サイズになっている。また、㉞、㉟、㊲は、Value 3 D MagiX MF-2000 で出力したも

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 「ルイブラリュ生誕 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)