
標本化技術によるデジタルアート作品の可能性について -実在性を濾過して残滓を強調するための方法-

Study of The Possibility Digital Art Works by Sampling Technology -A Method for Filtering Reality and Emphasizing Remnants-

熊谷 武洋*

KUMAGAI Takehiro*

(摘要)

本論文は、立体形状標本化技術によるデジタルアート作品の可能性について述べるものである。自然由来の素材を用いて積極的に自然美を再構成するという盆景芸術は、標本化技術によるデジタルアート作品と通底する点がある。そこで本研究は、標本化技術を用いてデジタル編集された形状と自然な形状美と融合のための方法について検討した。

キーワード：デジタルコンテンツ、3D スキャン、盆景、3DCG

(Abstract)

This paper describes the possibility of digital art works by three-dimensional shape sampling technology. Bonkei art, which actively reconstructs the beauty of nature using materials derived from nature, has a point in common with digital art works using sampling technology. Therefore, this study investigated a method for fusion of digitally edited shapes and natural shape beauty using sampling technology.

Keywords: digital contents, 3DScan, bonkei, tray landscape, 3DCG

1. はじめに

この研究全体の目的は、デジタル盆景における新しい表現方法および鑑賞態度の確立である。

前段となる研究においては、標本化およびVR化によるデジタル盆景について考察と実証制作を行ってその可能性を示した[1]。

その成果を踏まえ、次段として従来の盆景作品の単なるVR化に留まらず、デジタル化やVR化といった制作過程や鑑賞方法の特徴や特性を積極的に援用し、盆景様式それ自体の芸術的枠組みを拡張することを企図した。

盆栽に代表される観葉文化の流れを汲みつつ自然由

来の素材を用いて積極的に自然美を再構成するという盆景の創作精神は、その点に限定して着目すると標本化技術によるデジタルアートとの親和性や共通性が高いと言える。

そこで、本論においてはその前提となる標本化技術の応用手法について考察を行った。自然が内包する外觀の形状要素をデジタル化された情報として継承しながら改編や加工を積極的に施し、自然の持つ形状美を積極的に変容せしめていくための方法について検討した。人体を標本対象とし、非破壊かつ可逆的な3DCGの編集方法により恣意的な要素を極力排除して個人の主観的感性に依存しない技術的必然による方法によって検証制作を行った。ともすれば矛盾するこの造形的

* 山口大学教育学部

Journal of East Asian Identities Vol. 6 March 2021 (pp. 31-44)

指向性を検証するために試作を行った結果、実在性の残滓を捉えたデジタル造形における新たな表現手法の可能性を得ることができた。この成果は、盆景作品における新たな造形方法や様式を創出する可能性を持ち得るだけでなく、個人の造形能力に依存しないという点において汎用的なデザイン教育手法として応用することが期待できる。次に研究内容における詳細について述べる。

2. 標本化技術と美学的観点

標本化技術を応用した作品やそれらの技法、そしてその技法を活用して制作することの芸術的態度、そしてサンプリングやコラージュといった広義での標本化技術を芸術的表現手法として活用することのモダニズム芸術論的な是非や意義については、十分に語られてきた。本論においてはそれらの文脈とは別にして純粋に表現技法としてコンピュータ・グラフィックス技術を積極的に活用し、自然のあるがままにバーチャル標本化されたものの残滓や残り香というべきものを捉え、そこに編集加工処理を加えて新たな視覚表現や造形的魅力を引き出しうるか、その実験や過程について考察するものである。

現在、標本化技術はデジタル技術によってコモディティ化した技術であり、技術自体には文化的地域的差異というものはない。また標本化技術自体の応用例や技術的背景は幅広いため、本論では芸術表現に应用することを前提として、その意味や在り方について限定して述べる。これまで筆者は自身の作品として標本化技術を用いたアート作品を制作しているが、これらの作品群においては非可逆的な方法を用いながら作者由来の発想等によって構成されたものである(図1、2)。



図1 「一所に座して揚棄する人」

芸術科学会誌 DiVA38 号表紙採用掲載



図2 「Artificial Consciousness」

北九州デジタルクリエイターコンテスト2019年 入選

よって本論では、標本化を表現手段として活用することに対し、より自覚的かつ限定的に捉えて言及する。標本化技術の意味を幅広くとらえらるゝとするならば、まずは複製技術が挙げられるであろう。一品ものの立体作品を、鋳物や樹脂等を用いて複製することは従来より行われてきた行為であるが、複製時の原型を自然由来かつ未加工の物体を選定したとすると、この時点である種の標本化であると言えよう。

存在性と虚実性の間を往還することで表出することのできる芸術的モチーフの在処は、従来より現代美術の系譜の中で探求されてきた。このような標本化の手法を用いた芸術作品として高い評価と一般的な認知を得た作品としては、1960年代から制作されたジョージ・シーガル (George Segal) によるアウトサイドキャストイング手法による一連の石膏像の作品がその代表格である[2]。

実在の人体による精密な立体造形物は、既に医学分野における解剖像や、映像分野における特殊撮影用途として既に存在していたが、ジョージ・シーガルの手法はシリコンゴム等を用いるのではなく、複製精度としては低い医療用石膏を意図的に直取りの材料として用いるというものである。液状石膏が巻かれた包帯に染み込んで凝固するときの表面の肌理や人体に這うような固い殻が独特の質感を醸すことに着目し、人体表面の質感を細部にわたって残している内側の部分ではなく荒い質感の外側の部分を造形素材として積極的に利用することにより、この方法はアウトサイドキャストイング手法と呼ばれた (なお後期作品においてはインサイドキャストイングによる作品も制作され、さら

に石膏の上から絵具によって着色が施される作品もあった) [3]。

しかし、この方法は難度の高い方法である。人体の各部位毎に貼り付けられた石膏を丁寧に剥がし、断片化した欠片をまた人体の面積分それぞれつなぎ合わせてようやく複製が完成するのである。複製と言えば原型から型をとって複製する無発泡ウレタン樹脂を用いたレジンキャストのようなインサイドキャストイング手法のイメージを抱きがちであるが、アウトサイドキャストイング手法による複製化の場合、根気と手間だけでなく創意工夫も必要となる作業である。3mm程の厚さにもなるこの医療用石膏を表現として効果的に用いるために、どの部位にどんな強弱で何枚使用すればよいかという判断や作業には多くの経験や技能を要するものであり、まさに創作活動そのものであった。その結果、表面の粗い肌理が、精度の低い表面の上に付加されることにより、逆にそれが物理的な実在性を削ぎ落とし原型の持つ要素だけを抽出する作用を発揮し、単なる複製や標本化に留まらず、普遍性を備えた芸術作品の表現方法として成立した。このように既にこの時点で標本化技術と表現手法の関係は、芸術的意味合いにおいて意識され了解されていたと言えよう。なお、筆者は標本化技術を用いて同様の制作コンセプトによって3DCG作品の実験制作を行った(図3)。



図3 アート表現のための標本化技術による実験作品

3. 標本化と創作行為

標本化という行為自体がすでに具象化である。標本化の時点で抽象されている状態は存在しない。そして抽象や捨象を行うには積極的に手を加えなければならない。しかし、可能な限り作為の及ぶ範囲を狭ばめさせたい、できることならなくしたい、というのは矛盾である。矛と盾が衝突する寸前、つまり矛盾となりえない領域とはどこなのか、この問題意識はこの点に帰着する。

それでは、矛盾となりえない領域を見出すためにはどのようなアプローチや方法論、評価の観点が在り得るのかを次に検討した。

デジタル制御による立体スキャニングやデジタルスチルカメラ技術の萌芽は1970年代には既に存在していたが、未成熟な途上の技術であったこともあり芸術分野においての応用例はほぼ皆無であった。標本化技術を使って芸術作品を直接制作するという意味では、光学式カメラによって得られた撮像結果を現像してトレースするロートスコーピングや紙焼きして素材として用いるコラージュ作品などが相当するであろうが、これらのアナログ方式による標本化技術は、測定採取した記録情報を直接再編集可能な状態にすることができないので、本論の主旨や定義とは異なるものとして除外することにする。

そこで、他分野における類例と比較しながら検討し、同じ芸術分野である音楽におけるデジタル楽器の音源方式に着目した。これらデジタル楽器の音源方式変遷による標本化技術の流れを概観し、標本化とそれを素材として加工するというある種の矛盾をはらんだ相補的關係性の中に新しい表現の様式と可能性を見出した。

あくまで楽曲を制作するための機器における要素技術ではあるが、標本化することによって得られた情報に対して、如何に編集加工を行い、新たな表現となし得るかについて指標を与え方向性を示唆するものと考えて考察の対象とし、そこから端緒を得た。

楽音波形を電氣的に合成・制御する電子楽器としてのシンセサイザーは1960年代から1970年代に普及した。この時代では、電子的な物理特性を用いるアナログ方式が一般的であった。波形合成方法は鋸歯に代表される倍音成分を多く含んだ基本波形を濾過器で削り、倍音構成を変えていくといった減算加工による音源方式であった。この波形合成方式から生成される波形は、仕様上、倍音成分はどうしても単純な構成にならざるを得ず、複雑な倍音構成を有するアコースティック楽器の代用にはなり得なかった。しかし、従来の楽器にはない独特の表現力を有していたために、新しい楽音を奏でる楽器としてミュージシャンらに認知され名曲や名盤が誕生した。そしてアナログ方式のシンセサイザーが、隆盛を極めていた1970年代後半から1980年代前半にかけてデジタル技術があらゆる分野において飛躍的に進歩し、シンセサイザーの波形合成方法もデジタル方式に移行した。

アナログ方式における電子的な物理特性を利用し基本波形から倍音を減ずる方法ではなく、デジタル回路上で基本波形同士を加えたり乗ずるなどして数学的演算を CPU とメモリで行って波形を出力することが可能となった。

このデジタル方式による波形合成方法は、複雑な倍音構成を生成することが可能な半面、その制御が難しく、また複雑な倍音構成が、アコースティック楽器が有する自然な耳あたりのよい音に必ずしも合致するわけではなかった。しかし、楽音としてはアナログシンセサイザー同様に個性のある独特の表現力を有し、1980年代においては、幅広く普及し名曲や名盤が誕生した。

その一方で、アコースティック楽器の代用機能を有するシンセサイザーとしての潜在需要は依然大きく、既存楽器の波形を標本化し、それを任意のタイミングで発音する所謂サンプリングマシンがデジタル技術の進展とともに登場した。既に1960年代には、磁気媒体に音声を記録して機械制御を行うアナログ方式のサンプリングマシンは存在していたが、標本精度の低さや反応速度の遅延、維持管理といった点で限定的な用途に限られていた。

1980年代におけるサンプリングマシンは、雑音を含む自然音や楽音をマイク等の收音機器で波形を電気的に収録する点では従来の録音と同様であったが、その波形情報をデジタル回路で量子化してメモリに記録、鍵盤などの制御機器で音階をつけて出力する事が可能となった。

当初は、量子化精度が低くても実用性を保てるという理由により、打楽器をはじめとする雑音成分が多く音階出力を必要としない楽器が標本対象であった。

その後、デジタル技術の進展と共に後代において標本対象は、難度の高いピアノ等の打弦楽器に至り、アコースティック楽器の代用として多くの名曲や名盤を生んだ。

本来、精度の高い標本化成果は、必然的に技術的理想に基づく典型に集約されるものであるが、1980年代の黎明期においては限られたメモリ容量、用いた量子化技術の際により、製造会社ごとに大きな差異が生じた。この事は楽器としての個性を際立たせることとなり、これらの差異が楽器としての個性となったが、これらの周辺事情については別稿について述べたい。

このように標本化技術が黎明期にあつては精度の高い標本化を目指す一方で、標本化技術を合成技術の一過程と位置付けるといった方向性が検討された。

つまり、比較的荒い精度で標本化された波形を基にアナログ回路やデジタル回路を併用し、ハイブリッド方式による新しい楽音の合成へ活用するという新しい指向性を持ったシンセサイザーの開発である。

これらのハイブリッド波形合成方法においては、12bit 量子化によって得られた実在波形が有する倍音構成を維持しながら、包絡線の編集や倍音の濾過処理を加えるというものである。つまり、波形の音響的特質を残しながら、用途に応じて聴感上の特性を柔らかくしたり鋭くしたり、発音の時間的変化を任意に制御することを可能とするものであった。

ピアノのような音ではあるが、実在のピアノではない。その点では架空のピアノであるが、実在のピアノ以上にピアノらしい音、あるいはピアノのような何かの音、という新しい音が標本化技術から合成された。機種によっては、12bit から 6bit まで段階的に精度可変が可能であった。精度が荒い場合であっても音によっては、聴感感覚的に独特の質感に変質し、音楽的表現手段となり得る場合もあった。そのため、未知の音を探求するために意図的にビットレートを下げて標本化する手法などが試みられることもあった。

1980年代後半から1990年代初頭にかけて登場したこの方式は、デジタル技術の更なる進展およびコスト減の影響を大きく受けた。本来、過渡的な技術としての位置づけであったため、このようなアプローチの技術的発展は閉ざされ、標本化技術は本来の目的である既存楽器や実在音源の高精度サンプリングおよび楽音発振器として発展した。そして高精度かつ実用性の高い音源ライブラリが完備され、未知の音の探求という需要自体が低減し、90年代後半には新規的かつ温故知新的な音楽的潮流の隆盛により途絶した。しかし、このハイブリッド波形合成方式がもたらした標本化に由来する実在性を積極的に改編することによる存在感を備えた架空の音を合成するという手法は、大きな示唆や観点をもたらすものだと言えよう。

ハイブリッド波形合成方法自体は、当時の技術的境界による過渡的な代用技術の一つではあるが、このように、実在性が備える実体の「らしさ」を源泉とした美的表現というものはジョージ・シーガルの一連の作品群と通底する点を見出せる。

標本化という行為自体がすでにある種の具象化であり標本化が本来技術的に目指すべきものは精緻な実在性の記録と再現である。その点で加工を加えない事、後処理の必要性のないことが標本化の理想である。

しかし、この標本化の意味と目的を存在性の軌跡や痕跡と捉え、積極的に編集加工を施すことにより、標本化という技術が前提にありながら、指向性は対極にある表現方法として成立しうる可能性と萌芽を見出すことが出来る。それ自体そのものではなく、生の実体を観察し、そこから実在性の根拠を見出し、その切り口から捨象などの変遷を経由して本質に至る円環状の経路は、実在性の残滓を不純物がなくなる寸前まで濾過しつつ人為によらない技術的必然に基づく処理を施し、その特徴を鮮鋭化することである。

本論においてはこの作用を抽象化と定義する。本来の抽象化は、残すこと、削ることを意味するが、本稿では具体性とは異なる方向性から要素を加える行為を積極的抽象化と捉え、抽象化という用法には他の要素を添加することも含めるものとする。

その意味と定義において、抽象化とは表現行為の原初の段階であり、物自体が有する形象を表象化する瞬間点にあたる。これらの考察から、評価に際しての指標および観点として以下を得た。

- 編集過程は非破壊かつ可逆性を有する
- 編集の際の値や手続きは変数にて定義する
- 実在性を損なわずに保持しつつ、その要素を維持する
- 抽出した実在性を積極的編集によって強調拡張する
- 美的感覚に照合し、何らかの興味や関心を誘起する

次にこれらの指標および観点にも基づいて、実在する物体を標本化し、それらについて積極的な編集加工を施し成果としていくための過程について考察を進め、検証のための試作品の制作を行った。

4. 検証のための試作制作

作業工程の計画として以下のワークフローを検討、策定し検証のために試作品の実作業を行った。

- (1) 題材の選定
- (2) 標本化手段の選定
- (3) 標本化実作業
- (4) 加工編集処理

次にこれらの工程について述べる。

4.1 計測方法の選定

前提が盆景の題材であることから 標本化を行う必然として、以下の項目を可能な限り満たすものが適切であると考えた。

- 自然物：岩、草木、岩場等
- 人工物：四阿、人家、農機具等
- 生物：人間、家畜、野獣等
- その他：歴史や伝説、想像上の人工物や生物

標本化を行う必然として、以下の項目を可能な限り満たすものが適切であると考えた。

- 形状の適度な複雑性と多様性を有するもの
- 光を反射せず表面形状や模様肌理があるもの
- 被標本化物体の状態制御が行いやすい物体であるもの
- 標本化技術以外の方法では作成や再現の難度が比較的高いもの

これらの項目から候補として灌木と人体が候補に残ったが、今回は人体（人間）を最終的に選定した。灌木に比し、形状が高い典型性を有しており、人体を立体対象と見立てた場合の美術造形的な可能性や多様性が高いという判断である。

しかしながら、盆景作品において人物・人間はあくまで景観に添える点景・添景物という位置付けであり、自然の雄大さと対照化するためのものとするのが暗黙の了解であり作法とされている。例えばそれが歴史上の人物であっても、盆景という様式上、モチーフとして主体にはなりえないことは、作例から明らかである（図4）。明治34年に刊行された盆景制作の指南書[4]においては、動物や建物について陶製や銅製の既製品

を用いるか自作すべしとの記述があるが人物に関する言及はない。昭和 10 年に刊行された盆景指南書[5]においても同様に点景・添景物の紹介にとどまるのみである (図 5)。

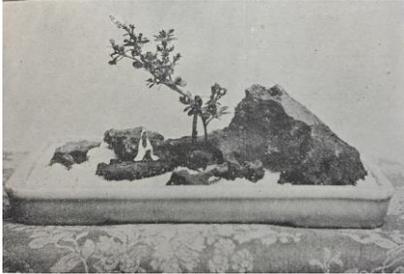


図 4 作者不明 (日本)「雪舟の山水景」(江原梅松(春夢)等、『盆景盆石盆山盆庭秘訣図解』)



図 5 「既製品による点景・添景物」(篠原 柏庭 『盆景』)

しかし、盆景は園芸の一分野である盆栽とは異なり、時代と共に大きな変遷を経て今に至っている。そして時代意識を色濃く反映しながら伝統的な盆景作品が継承される一方で多彩かつ多様な作品形態を盆栽や盆水、盆石と比して幅広く備えている。そして現代においては盆景と言う名は冠せられていないものの、現代的な盆景作品としてジオラマ造形作品が一つの美術ジャンルとして確立し定着しつつある。そうした中、大きさの差はあれ人体造形の表現題材上の重要性は作品テーマによっては極めて高いものになってきている。多様かつ多彩なジオラマ造形作品シーンにおいては、人体が表現題材として高い重要性を占める作品は少なくない。近世における兵棋演習の駒を起源とするナポレオン戦争時代を主な意匠題材にしたホワイトメタル製ミリタリーフィギュアによる戦場ダイオラマ作品などはその好例である。

現代におけるその身近な例としては、食品玩具の類ではあるが、2020 年にリリースされた海洋堂の

miniQ 河鍋暁斎 画鬼盆景シリーズが挙げられる (図 6)。

小さな台座の上に浮世絵師河鍋暁斎の作品に登場する奇異なキャラクター達を立体造形化して乗せた樹脂製品である。このような形式は、模型分野においてはミニジオラマの意として「ビネット (vignette)」と称されている。しかし、モチーフが古来のものであるため、宣伝の効用を意図して盆景という言葉を用いていることは明らかである。

本事例における盆景という言葉の用法はオーセンティックな盆景の定義から言えば多少乖離しつつも、盆景が本来的に備えている語義から言えば間違いではない。むしろ、新しい盆景様式の多様性を拡張しうるものであるとさえ言える。そして、盆景と言うものが現代においても絶え間なく変遷していることの証左であり、近い将来においては盆景とは東洋風の意匠要素や歴史的な来歴を有する題材であれば、その由来がアニメ・漫画分野問わずフィギュア主体のビネット全般のことを盆景と称する時代が到来することは十分にあり得るのである。



図 6 miniQ 河鍋暁斎 画鬼盆景 全 5 種 (KAIYODO 公式 HP より転載)

このように従来的な盆景芸術においては自然の雄大さと対照化するための添え物であった人体が、現代的なジオラマ作品のみならずオーセンティックな盆景作品においても題材としての新しい意味を付与され、物理的な体積は大小によらず作品主題として大きな位置を占めるであろうと思われる。今回人体を選定するの

は標本対象として条件が合致することに加え、作品題材としての可能性を見越したことも理由の一つである。

次なる選定項目としては、姿勢である。人体における姿勢は数多くあるが、標本化を前提とした場合、以下の項目を考慮して最適な姿勢を選出する必要がある。

- 性別に依存せず人体のとり得る典型的な姿勢である
- 計測中の誤差を最小限にし、動作として安定する
- 正面から見て左右対称である
- 加工編集の成果確認を行いやすい

これらを考慮し、胡座姿勢を選定した。

4.2 標本化手段の検討

標本化手段の検討については、様々な計測方法があるが、今回はアート用途ということを考慮し、コストや運用の実現性の点を選定の際の重要項目とした。よって標本化手段の候補としては、スキャンの種類はフォトグラメトリと深度センサーの二種に大別して検討した。

4.2.1 深度センサーとフォトグラメトリ

深度センサーの有効性については筆者の先行研究によって用途別にその特徴や優位性を明らかにした[6]。前段の研究である VR によるデジタル盆景においては、各種条件を考慮してフォトグラメトリを用いてその効用を確認し活用した。

今回の用途・目的では、標本化したデータをポリゴン変換して直接処理を多段的に加えることから、以下の項目を考慮する必要がある。

- 過剰なジッターノイズ発生を最小限化する
- 局所的な解像度よりも面の連続性が維持された輪郭精度を優先する
- RGB 情報による高精度なテクスチャ情報は不必要
- 坐位姿勢の人体が計測対象であるため長辺 150 cm 程度である

これらの成果を比較し、本稿における最適な方法について検討した。

フォトグラメトリにはない深度センサーの優位性として、標本対象が最大 30 cm~10m までの比較的小さいものであれば物体表面の幾何的形狀の連続性を捉える性能は深度センサーの方が上回る。そして、直接測距を行うためセンサー範囲内の物体の正確な大きさを測ることが可能である。よって主に表面形状の連続性の高い物体や人工物などの計測に適している。しかし、赤外線照射によるセンシング方式であるため、屋外環境や反射する物体の計測は精度が著しく低下する。よって、自然光の直射のある日中の屋外での利用は不向きである。しかし、IR 波長の変更やセンサーデバイスなどの改善により日中下においても使えるようになった機種もある。

一方、写真測量技術から発展したフォトグラメトリは、大きさに制約を受けず対象物の性質に制限がない。

特徴抽出を処理するに十分な情報が写真画像として記録されているのであれば対象物の大きさに依存しないが、あくまで二次元情報からの推測によるので距離の実測値はもたないため、正確な大きさは計測できない。写真画像から RGB 情報を得るため、写真画像が高解像度であればそれに比例して高品質なテクスチャを得られ、標本精度は高く見える。しかし、テクスチャをはがした場合には、面の連続性は破綻することが多く、比較的小規模な物体の場合、その幾何的形狀の再現性は深度センサーに比して劣る場合が多い。とはいえ、その不定形な様がアウトサイドキャストイング手法を彷彿とさせ、これもまた一つの表現方法として別途検討したい(図7)。

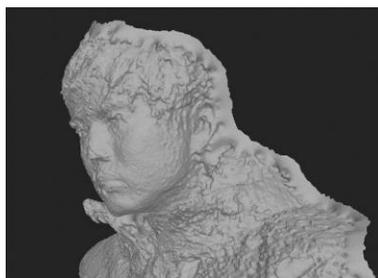


図7 フォトグラメトリ処理による人体頭部のメッシュ形状

加えて、フォトグラメトリはそのアルゴリズムの原理上、オブジェクト表面に多くの肌理やテクスチャが豊富に存在していなければならない。このことから、フォトグラメトリは本来の用途である 5m 以上の比較的広域空間や大規模な自然景観の測量用途に適していると言え、今回の目的のように積極的な後処理を前提とした用途には適さないと考えた。

よって本稿においては、人間サイズが対象であることを踏まえ、フォトグラメトリの最大の優位性である対象物の大きさに依存しないという点や高解像度のテクスチャ生成は利点として作用しないことを考慮し、計測範囲の物体ならば比較的高精度で計測可能であり、ノイズや誤差が生じにくい深度センサーを計測手段として選定した。

4.2.2 深度センサーの選定

深度センサーにもさらに複数種類があり、計測方式で大別すると赤外線を照射し反射させて形状を測定するステレオビジョンによる非接触赤外線照射方式や、近年では、iPad pro 等にも搭載されている LiDAR 方式のセンサーも普及してきている。LiDAR とは「Light Detection and Ranging」の略語であり、小波長の光で距離を測定する技術のことである。よって太陽光などの影響を受けることはなく精度も比較的高い。ただし普及価格帯の LiDAR 方式のセンサーが解像度が低いため、小サイズの物体の計測には適さない。

検討すべき項目は複数があるが、今回の目的と用途を考慮し、計測方式を問わず以下に示す項目を選定項目とした。

- 深度解像度：

深度にも解像度があり、最小計測精度がある。最小ピッチは機器にもよるが、一般的には 15～20cm 以上のオブジェクトをスキャンすることが理想的とされている。
- RGB 解像度：

今回の用途には物体表面の色情報は必要としないが、アート作品制作用としては重要な項目である。
- フレームレート：

高ければそれだけ精度は高くなるが、データの肥大化、機器の大型化にも繋がる。より重要なのは最低フレームレートである。スキャン姿勢は、手持ちによる人力であるため、最低限 15FPS は必要である。
- 最小最大深度距離：スキャン範囲：

画角が広いと狭い部屋の中など有利であるが、広角レンズ特有の歪みや歪みが発生することになる。補正機能は備えられているが、万能ではなく限界もある。補正処理

が行われると局所的に形状の整合性が採れない場合も出てくるため、スキャン範囲は利便性と精度とのトレードオフである。

そこで今回は、深度センサーの代表的な三機種を購入して検証を行った（図 8）。



図 8 深度センサー各種

AZURE Kinect(上)、D415(中)、Structure Sensor Mark II (下)

- ① Intel RealSense Depth Camera D415
- ② Occipital Structure Sensor Mark II
- ③ Microsoft AZURE kinect

それぞれの実用性や性能の違いについて比較して調査・検討した。

① Intel RealSense Depth Camera D415

2018 年にリリースされた二基の深度センサーと RGB センサー IR 投射器を搭載している。比較的狭い視野角であるため、対象サイズが小さいものを比較的精密に計測する際に適している仕様であり人体のスキャン用途としては適していると言える（表 1）。同メーカーからは LiDAR 方式の L515 もリリースされている。別の機会にて試験を行いたい。

表 1 D415 諸元

RGB 解像度	1920 x 1080
深度解像度	最大 1280×720
フレームレート	最大 90 fps
最小最大深度距離	0.3 m-10m
FOV (H×V)	70×45
その他	ローリングシャッター

② Occipital Structure Sensor Mark II

2019年に発表され2020年にリリースされた
 深度解像度が1280×960ピクセル

スキャン範囲が20cm近距離から可能であり、最大範囲は5mであるため、室内の小物から屋外にある物体まで幅広く一般的な用途に使える。

また、屋外の直射日光下であってもスキャン機能が動作する仕様である。実際に検証したところ、通常の深度センサーであれば、認識しない直射日光下の物体もスキャン可能であった。当該スキャナーはiPadに装着し、wifi接続によってPCと同期し、処理はPCのGPUにて行う。内蔵のIMU（ジャイロスコープと加速度計）により、オブジェクトトラッキング精度が高まり、スキャンする際の人間側の動きに自由度が得られた（表2）。

表2 Structure Sensor Mark II 諸元

RGB 解像度	1920 x 1080
深度解像度	最大 1280×960
フレームレート	最大 30 fps
最小最大深度距離	0.2 m-5m
FOV (H×V)	60×46
その他	屋外対応、IMU 登載

② Microsoft AZURE kinect

2019年7月に海外でリリースされ2020年に国内販売開始された比較的最新機種である。人体の姿勢を追跡したり、その時間的推移のデータをキャプチャするなど豊富な処理機能を有しているが、今回はキネクトの深度センサー機能を用いた3Dスキャンの機能について評価する。本器は、TOF方式を採用している。TOFとは、Time Of Flightのことであり、光を投光器より投射し照射光と反射光の位相差から奥行きを計測する方法である（表3）。

表3 Azure Kinect 諸元

RGB 解像度	3840 x 2160
深度解像度	最大 1024 x 1024
フレームレート	最大 15-30 fps
最小最大深度距離	0.25m-3m
FOV (H×V)	75-120×120度
その他	IMU 登載

比較検討した結果、良好な成果を示した Azure Kinectを選定した(図9)。

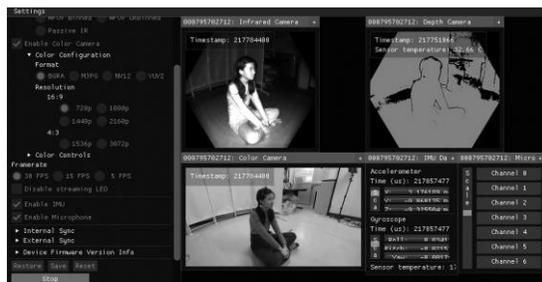


図9 Azure Kinectによる空間認識の状態

4.3 標準化

次にデジタルコンテンツとしての盆景の作成手段やその仕様について述べる。

4.3.1 モデリング方法

まず、3DCGとしてモデル形状を得る場合、大きく以下の三つに大別される。

- **ダイレクトモデリング** :
人間がマウスなどの入力デバイスを使用して形状生成を行う人型モデリング
- **パラメトリックモデリング** :
数値造形アルゴリズム等を用いた関数式による手続き型モデリング
- **サンプリング** :
実形状からの計測データに基づいて形状生成を行う標本型モデリング

今回の目的は自然由来を旨としているため、今回はサンプリングによる方法のみによって造形を行う。

次に標準化の項目について述べる。

4.3.2 データ精度

本稿における標準化作業の主たる目的は、精緻な計測を目的とするのではなく素材としての標準化である。よって、標準化のデータ精度は、5mm程度とした。

次に標準化されたデータの形式について述べる。

4.3.3 データ形式

深度センサーを用いた標準化における取得データ形式にはポイント・クラウドとポリゴンの二つに大別さ

れる。ポイント・クラウドとは3次元空間内にて座標値を持った点の群れである。ポリゴンとは点、線、面によって構成される三角形を最小構成単位とする多角形群である。アート表現としてポイント・クラウドが用いられる事例は少なくないが、今回は種の可逆的な非破壊処理を行うため、必ずポリゴン形式でなければならず選択の余地はない。なお、ポイント・クラウドからポリゴンへ変換は可能である。

4.3.4 色情報

今回の目的はあくまで形状の取得と変形加工である。色情報は、その処理過程内で欠落あるいは変質し、情報としての意味や価値は低減し、やがて損失する。よって表面の拡散反射光を RGB 値として取得する処理は行わないものとした。ダイレクトモデリングによる恣意的な要素の付加やモデファイヤによる形状操作、シェーダによる固有色や質感の調整といったこれらの編集作業は作品化へのための積極的な人為的創作表現手段と捉え、本稿では考察対象外とする。

このようにして、ベースとなる形状を Kinect によって計測し、スキヤニング処理ソフトウェア Recfusion によってポリゴンメッシュ化した (図 10)。



図 10 Recfusion による標準化データ処理画面

4.4 形状の加工編集処理

当初は TouchDesigner によってオリジナルツールを開発する方法も検討したが、処理動作の安定性確保と本論の主旨は要素技術開発ではないため、実績のあるオープンソースの統合型 3DCG ソフトウェアである Blender2.9 を用いた。

4.4.1 編集方針と観点

Blender2.9 上で、標準化したポリゴンデータに対して以下の観点に立脚して可逆かつ非破壊処理を行った。

- 実在性を損なわずに保持しつつ、その要素を維持する

- 抽出した実在性を積極的編集によって強調拡張する
- 美的感覚に照合し、何らかの興味や関心を誘起する

このように編集処理においては、連続性、同一性を保持せしめるとし、再現性を高めるための後処理は一切行わない。

オリジナル形状に対してダイレクトモデリングによる面や頂点の追加は行わない。また処理操作を行う領域についても同様に意図的な局所選択は行わず、非破壊・可逆性を一貫した。

2次元画像処理におけるアフィン変換のように非破壊・可逆的であるということは、可能な限り、作業者の経験や感覚などを介入・介在させずに、感性に依存しない技術的必然性から生まれる表現結果のみを得るということである。その意図するところは、いかなる処理が加えられても自然美の潜在的な美観を保持し、人工でありながら人為ではない表現性を得るためである。また、こうしたアプローチは、ホワイトボックスによるプロセスベースであるため発想の基点の共有化や、デザイン教育におけるメソッドの確立や教材開発に寄与するものと考えられる。

4.4.2 事前処理

高精度高ポリゴンの形状は、負荷が大きいだけでなく、過剰な解像度の場合では、これらの処理が美的感覚上、無効になることが判明した。

拡大したり、あるいは 3D プリンタ等によって物体化する際に、等倍以上にする際には効果的であると予想されるが、今回の目的においては効果を期待できないため、共通の事前処理としてポリゴンリダクションと平滑処理を施した。このことにより、ポリゴンメッシュ化の際のばらつきを抑え、メッシュの粗密の分布の偏りを少なくし全体の均質化を行うことができた。

今回のような積極的な加工処理はポリゴンつまり多角形メッシュが細かいと効果は表れにくく、メッシュが適度な解像度を保ち比較的均一かつ粗密感である場合に最大の効果を得られることを予備作業にて確認した。高精度と低精度の選択的である方が標準データとしての優位性はあるが、機器のコスト面や表現上の有用性から言えばむしろ普及機の方が、表現としての可能性が高いことが分かった。このことは 80 年代のデ

デジタル制御の電子楽器黎明期に通ずる点があると言える。このような工程を経て原型形状を標本化した(図11)。



図11 リダクション処理結果の比較

350万ポリゴン(左)、15万ポリゴン(中央)、1.2万ポリゴン(右)

4.4.3 適用処理

次に適用する処理である。処理内容には、大きく分けて以下の4種に大別される。

A 輪郭に作用する処理

- α ポリゴンの再配置を行う処理
- β ポリゴンの再構成を行う処理

B 表面に作用する処理

- α ポリゴンの再配置を行う処理
- β ポリゴンの再構成を行う処理

輪郭に作用する処理とは、積極的な加工によって別の形に変形させることである。球が円錐になれば位相幾何学的には同質形状と言えるが、美的主観においては、球と円錐は別物であり、その程度にまで異なる性質を持たせることを目的とする処理である。表面に作用する処理とは、形状の輪郭は維持されるが、表面の形状を局所的な加工によって別の形に変形させることである。再配置は、ポリゴンデータ量は変化しないか、変化するとしても形状の性質は保たれる処理である。再構成は、新規の表面情報と空間座標値が加わり新たな形状要素が付加され、ポリゴンデータ量も大きく増加する処理である。

A 輪郭に作用する処理

- α ポリゴンの再配置を行う処理
- 代表的な処理：平滑化、ノイズ化

A 輪郭に作用する処理

- β ポリゴンの再構成を行う処理
- 代表的な処理：格子状化、押出化、包括化、リトロジー化

B 表面に作用する処理

- α ポリゴンの再配置を行う処理
- 代表的な処理：形状近似化、凹凸化、角度平滑化

B 表面に作用する処理

- β ポリゴンの再構成を行う処理
- 代表的な処理：点・辺・面の独立化および分割化

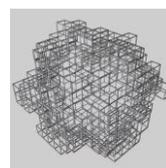
基本原型形状について上記の組み合わせ処理によって得た成果を示す(図12)。



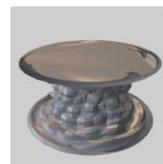
(a) 基本原型



(b) Aα 処理



(c) Aβ 処理



(d) Bα 処理



(e) Bβ 処理

図12 基本原型に加えた処理比較

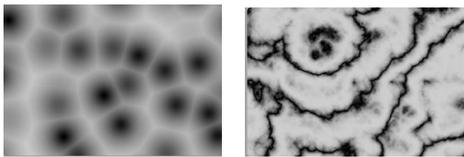
個々の処理結果は単純であるが、これらの処理を多段的、再帰的、局所的に任意領域に施すことにより、多彩かつ多様な表現が可能となる。

面を増やすためのサブディビジョン処理を加える際に、輪郭を維持するかしないかだけでも処理の結果は変化し、予測し難い結果を得る場合もある。

4.4.3 適用範囲

適用処理を行うには、その範囲を形状との関連性を持たせて有効に指定しなければならない。オブジェクト全体だけでは限らず局所的に部分選択の必要が生じる処理や、また多様な表現を試行するためにも適用範囲自体にもバリエーションがある方が望ましい。ランダムに行うだけでは効果が少ないが、ダイレクトオペレーションは行わない方針である。そのため、処理範囲については、ボロノイ図やフラクタルノイズ、パーリンノイズなどプロシージャルによって分散分布マップを生成し、それらを処理範囲とした(図13)。

同様にして作用の起点も選定についても、原型の原点もしくは最大値や中間値といった必然的に得られる座標のみを用いた。



(a) ボロノイ図 (b) フラクタルノイズ

図13 プロシージャル生成した8ビットスケール画像

4.4.3 適用結果

前述したように $A\alpha\beta$ 、 $AB\alpha$ といったこれらの処理方法は組み合わせ上、様々あり得ても美観的な点から無意味な処理になる場合や、可逆性を失う組み合わせも生じる。よって、表現として評価しうる処理の組み合わせのみを行った。ただし、適用する順序の組み合わせ、その適用領域の範囲、またそれに伴う下位処理の項目や変数値の組み合わせも含めると、限定化してもなお、その数は膨大なものになるため、全てを試行した結果を挙げることは不可能である。加えて適用結果同士の組み合わせに関して今回は一切行っていない。組み合わせることにより、造形としての多様性や表現性は高まるが、そのような段階はもはや創作行為の域に達することになるので、今回の目的には合致しないと判断し対象外とした。よって現実的な回数かつ有効な試行過程の中で 50 通りの作例を制作し、その中から本論の主旨に基づいて表現上有益だと評価できる結果だけを代表成果として選出した。これらの中に

は、積極的な創作行為によって得られたかのような形状も得られた(図14)。

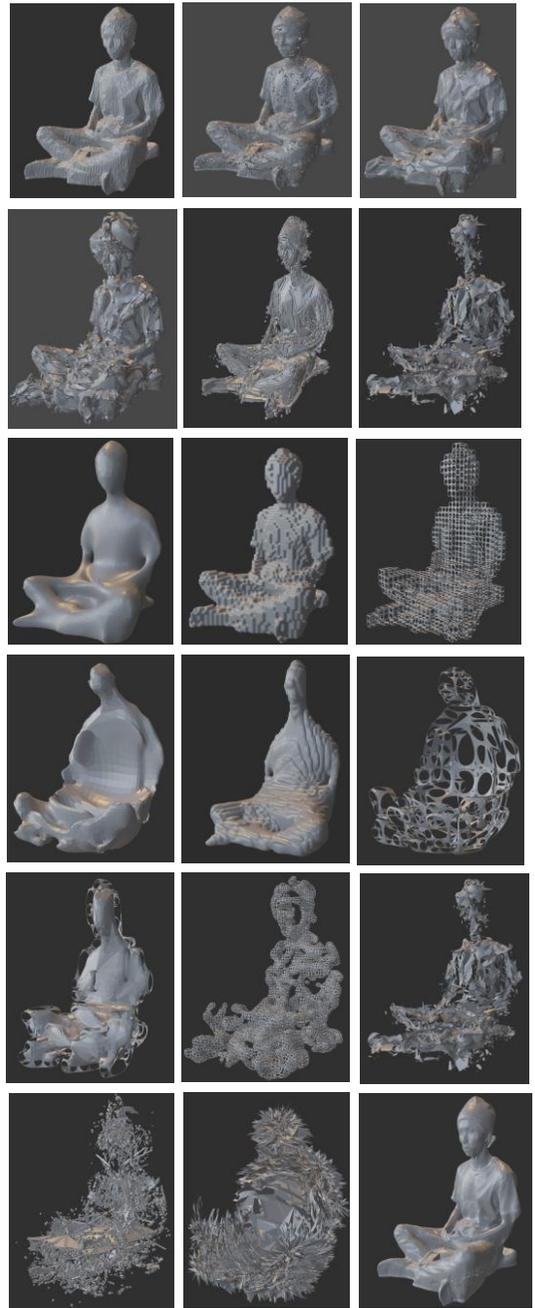


図14 代表成果一覧

そして、このようにして処理過程を複層的に施すことにより以下に示す表現上の傾向や指向性が明らかになった。

- 異質⇔同質の作用

本来の形状、特に輪郭等の形状の連続性や幾何情報の関係性を維持するか、積極的に改変していくか、という作用軸である。

- 複雑⇔単純の作用

手順が単純複雑という意味ではなく、本来の形状に対し、積極的に装飾性を持って幾何情報を付加するか、あるいは要素を集約し、表面の幾何情報を統合化するか、という作用軸である。むしろ単純化の方が形状によっては多くの過程が必要になる場合もある。

そこで、結果の関係を明確にするためにこれらの作用軸を上下左右の二軸のマトリクス図化し、その4つの象限に結果を布置した(図15)。

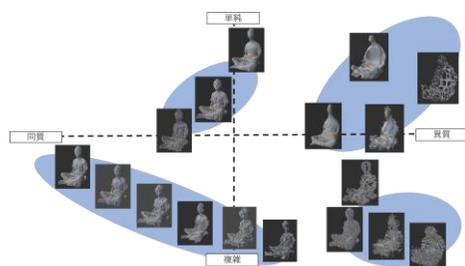


図15 ポジショニングマップ

これらの結果から、以下に示すことが分かった。

- 立体形状輪郭の重要性

表面や輪郭の形状を過度に複雑化すると異質化してしまう。このことから形状の輪郭は原型との視覚的な連続性を最も備え維持している要素であり、輪郭の再構成程度は重要な評価基準となる。

しかし、輪郭を面構成や幾何学情報が異なるほどに編集しても、人体形状由来であることが形状からの構成要素から認識されれば、異質化まではされずに原型との同一性が保持されることが分かった。

加えて要素が面単位で複雑に付加された場合でも、同様にして変質化することはあっても異質化までは至らず原型のバリエーションとして造形的な表現となり得る。

- 捨象の作用

表面や輪郭の形状を過度に単純化すると異質化してしまう点は複雑化と同様であるが、複雑化が無秩序化していくのに対し、単純化は原型自体の形状が持つ要素間の関係性が維持されれば、それが捨象化として作用し新たな造形的秩序を構成する場合がある。

そのような作用を期待する目的の際の原型の有無や標本化の必然性の検証については今後の課題であるが、現物が有する物理的実在性やフィジカルノイズといった人間の意識には通常立ち昇ってこない情報量が標本化によって獲得され編集処理を経てある種の美観として現出されていると考えられる。

- 変質と異質の境界

これらの試行により、立体物の場合は輪郭、比率、表面形状これらの何れかを無加工とすることにより原型との認識上の連続性を保持できることが分かった。換言すれば、全てを加工すればそれは由来不明の別の物体ということになる。音声合成の例で換言すると、倍音構成も包絡線も同時に変えてしまうだけでなく、生成された波形の倍音を更に後処理で濾過・付加したりを繰り返すということになる。それは由来に依拠しないということになるので、別の物体という帰結は当然ともいえる。ただしこのような形状の差異から誘引され意識化される主観上の比較は原型との比較が事前になされることによって成立する比較である。その意味では相対的な評価であることに留意する必要がある。

このように経験上、自明であったことが今回の検証試作によって改めて確認され、自然由来の形状情報にデジタル加工を施すことによる抽象化作用が新たな表現領域を拓く可能性を示すことができた。

そして表現として高い有用性があると予想される領域は、前掲したポジショニングマップ上における第1象限と第3象限であろうことが分かった。

5. まとめと今後の課題

今回の成果を経て以下の項目が課題点として挙げられる。

- 検証作業の機械代行化

形状形成においてはダイレクトオペレーション過程ではなく、全てパラメトリックであり可逆的かつ非破壊

であるが、DCCT(Digital Content Creation Tool)による検証試作過程におけるステップバイステップの工程は筆者自身によるダイレクトオペレーションである。

記述が膨大になるために全ての詳細と成果は割愛したが、このような検証試作作業は機械学習化によって機械代行させる技術的余地は十分にある。事実、代表的な DCCT である Houdini は、Unity と連携するエンジンを搭載し、Unity 上の強化学習環境 ML-Agents と連動し、単純な形状によるプロシージャルベースモデリングの半自動化が試みられている。

前述のとおり処理工程の理論上の組み合わせは膨大であり人力によるダイレクトオペレーションでは限界があるため、検証試行結果の判断は人間が行うとしても、その試行作業における創発的挙動をプログラムすることなく機械に代行させることは今度の課題でとして挙げられる。

●データの立体化

VR 作品としては前段の研究において有効性を得ることはできたが、手触りを伴う実体としての魅力を含めて作品として成立するかどうかを実際に 3D プリント出力によって検証を試みたいと考えている。

現段階において熱溶解積層方式による 15 cm 程度の出力試験作業を行っている。

●標準化題材の変更

今回は胡坐姿勢の男性像であったが、姿勢や性別に加えて付帯器具や衣装などの諸条件が変更された場合に、同様の成果が得られるかどうかについては更なる検証作業が必要である。

●定量評価

今回の処理工程の組み合わせ効果の判定部分については、筆者の主観性に依拠する点があることは否めない。そして成果についても真に美観を備えているか、作品として成立する萌芽や可能性を有しているかの判断を筆者の感性に依拠するだけでなく、客観的な定量評価によって判断する必要があると言える。

これらの事を今後の改善点および課題として取り組んでいきたいと考えている。

文 献

- [1] 熊谷武洋、“フォトグラメトリ技術による VR 盆景コンテンツの制作”、Journal of East Asian Identities (2020)
- [2] ジョージ シーガル、“講談社版現代美術シリーズ 11”、講談社 (1993)
- [3] フィリス・タックマン、“ジョージ シーガル”、美術出版社 (1990)
- [4] 江原梅松(春夢)等、“盆景盆石盆山盆庭秘訣図解”、博文館 (1901)
- [5] 篠原 柏庭、“盆景”、著成美堂書店 (1935)
- [6] 熊谷武洋、“アート系コンテンツ制作のための 3D スキャナー活用方法の研究”、山口大学教育学部研究論叢、第 67 巻第 3 部 (2018)
- [7] 熊谷武洋、“プロシージャル手法による VR コンテンツの開発”、山口大学教育学部研究論叢、第 68 巻第 3 部 (2019)
- [8] 日本盆景協会、“盆景 鑑賞と作り方”、編誠文堂新光社 (1979)

〈著者略歴〉

熊谷 武洋 (くまがい たけひろ)

1970 年大分県生。1993 年東京造形大学卒業、1998 年日本大学大学院理工学研究科博士課程所定単位取得後退学、2007 年九州大学大学院芸術工学府博士後期課程修了、博士 (芸術工学)。1998 年日本電気ソフトウェア(株)等を経て 2001 年より山口大学教育学部講師。現在、山口大学教育学部准教授。