

## Resonant Irregularities : 人の意図を超えた彫刻の自動生成を行う実験的手法の考察

安本匡佑<sup>1)</sup>(正会員) 井藤雄一<sup>1)</sup>(正会員)

1) 神奈川工科大学 情報学部 情報メディア学科

## Resonant Irregularities : Consideration of an experimental method for the automatic generation of sculptures beyond human intention.

Masasuke Yasumoto<sup>1)</sup> Yuichi Ito<sup>1)</sup>

1) Faculty of Information Technology, Kanagawa Institute of Technology,

{yasumoto, ito} @ ic.kanagawa-it.ac.jp

### 概要

この研究では、人間の意図が可能な限りはいらず機械が自動的に生成する彫刻を作るというコンセプトで、立体アートの制作方法を模索した。これは、メディアアートの一種であるグリッチアートと類似している。アナログの物理的な彫刻を、3D スキャナでデジタルデータとして取り込み、3D プリンタで現実世界に再度物理的な彫刻として出力する。その結果、オリジナルとは異なる彫刻ができる。これは一種のノイズであり、イレギュラであり、機械の性能の限界であり、人間が意図しない結果である。単にデータが劣化するのではなく、ある情報が失われ、新たにイレギュラな情報が追加される。それは、人が意図しないアブストラクションであり、クリエイションである。この一連のプロセスを何度も繰り返すことで、その特徴が強調されていき新たな彫刻を生み出し、そこに存在する美の可能性を探る。4つのモデル（既存の2つの彫刻作品、スタンフォードバニー、CADで作成したプリミティブな形状）、4種類のスキャナ、2種類の3Dプリンタを用いて、それぞれの特徴を明らかにした。

### Abstract

This research explored a method of creating three-dimensional art based on the concept of creating sculptures that are automatically generated by a machine without human intention. This is similar to glitch art, a type of media art. An analog real sculpture is captured as digital data by a 3D scanner, and then output as a 3D sculpture to the real world by a 3D printer. The result of this process is a sculpture that differs from the original. This is a kind of noise, an irregularity, a limitation of the machine's performance, and a result that is not intended by humans. The data does not just deteriorate, but some information is lost and some new irregular information is added. It is an abstraction and a creation that people do not intend. By repeating this series of processes over and over, I create new sculptures and explore the possibility of beauty that exists there. Using a total of four models (two existing sculptures, a Stanford bunny, and a primitive shape created with CAD), four different scanners, and two different 3D printers, we will reveal the characteristics of each.

## 1 はじめに

3D プリンタの技術は近年進化を極め、様々な形状や素材をほぼ無制限に作り出すことが可能になった。様々なタイプのプリンタが開発されており、細かな部品から住宅まで大小様々なオブジェクトの制作が可能となった。このことによって、近代のプロトタイピングや商品開発のスピードは増し、技術の発達に寄与していることは明らかである。

立体物をスキャンする 3D スキャナも発達している。様々なタイプのスキャナが登場しており、ターンテーブル式やハンドヘルド式で赤外線深度センサを用いたものが現在の主流である。非常に解像度が高いものと鉛筆で紙に文字等を書いたときに筆跡の凹凸までスキャンできる。また、反対に解像度の低いものとスキャンするオブジェクトの形状を正確に 3D データにすることが難しいことが多い。近年はスマートフォンに LiDAR センサが取り付けられたことにより、解像度の高いスキャンも手軽に実現でき、様々な分野で応用されている。また、センサが付いておらずともフォトグラメトリの技術を応用したスマートフォン用のアプリも登場して、手軽にスキャンできるようになったが、それらの簡易的なスキャンデバイスは先述した非常に解像度が高い 3D スキャナのような正確性はなく、本来は存在していない部分のデータが付加されたり、また逆にデータが欠損したりしてしまうことが多い。しかしながら、アートや情報メディアの表現において、存在していない部分や欠損したデータなどの、いわゆるノイズが有効に働いている例が多く見られる。それらの作品や表現はノイズが発生する理由やその意味を考察することで作品としての存在価値が生み出されていることが多い。そのことについては 2 章の先行事例で紹介する。

3D スキャンにて生まれるノイズを利用している試みがある。Miyako Atsuro による Object Resolution[1] である。これはバナナをスキャンして得られた 3D データを 3D プリンタにて出力し、それを更にスキャンして、プリント出力するという作業を繰り返す試みである。このことから「本物」と「偽物」が持つ価値について考えることが目的であると論じられている。この Miyako による試みでは、バナナをスキャンしたものが形を変えていく様子と、またそれが別のものに見えてくるという結

論が述べられ、将来的にさらに繰り返して実験をしていくという展望が述べられている。

著者らの経験によると、プリントされる立体物の出力形状は、プリンタの性能による出力誤差はもちろんのこと、スキャナの精度や誤差による 3D データの誤差やノイズが大きく関わっている。それはスキャナ毎に生成される 3D データが異なるということで、同一の立体物をスキャンしても、異なる 3D データが生成され、それをプリントすると異なる出力形状となる。著者らはそこにスキャナの個性が生まれ、繰り返すことで同一の立体物から多様な人の意図を超えた新たな価値が創造される可能性があると考えしている。その価値を体系的に論じることができれば 3D プリンタの技術に新規的なインパクトを与え、新たな技術の発展につながると考える。

そこで著者らは複数のスキャナを用いて同一の立体物に対して 3D データを生成し、そのデータを実際にプリントする。そして、プリントされた立体物に対して再度スキャンを行い、3D データを生成して再度プリントする。これは 3D でのコピーを繰り返すということである。コピーを繰り返すことで、スキャナ毎にどのような変化が起こるか実験と観察をするとともに考察する。

Miyako の制作では複数のスキャナでは試されておらず、スキャンとプリントの繰り返しによる変化のみに注目している。機材の違いによる検討はされていない。違いを検討することによって 3D プリンタやスキャナが人の意図を汲み取る限界を提示するとともに、機材が隠し持っているアブストラクションを明るみにし、それを利用することで彫刻の表現に新たな一手を生み出すと考えられる。

これらのことより、本研究では 3D プリンタとスキャナを利用して人の意図を超えた彫刻の表現技術の発展に寄与する実験例と制作例を提示して考察することで、どのような表現世界を開拓したかを論じることを目標とする。

## 2 関連研究

著者らの実験を遂行する前に、これまでに先行して制作や実験されている類似事例についていくつかカテゴリに分けて紹介する。



## 2.1 ループとフィードバック

画像や音声、データなどをループ的に使用してフィードバックによる変化を利用している作品を紹介する。Alvin Lucier による *I Am Sitting In A Room*[2] は、残響のある部屋にてマイクを使用し「*I Am Sitting In A Room*…」から始まる文章を朗読する。その音声を録音し、その部屋にてスピーカから再生する。そのスピーカから流れる音声を再度録音する。ここで収録される音は空間の残響も含んでいる。それを繰り返す事によって、その部屋の残響特性が強調されていき、繰り返すうちにオリジナルの音声は聞き取れないものへと変化していく。1970 年に Guggenheim Museum にて初演と記録が残されている [3]。最初は Lucier 本人の声だったものがコピーを繰り返すことによって、声や言葉、さらには言葉の意味も消去され、音が物理的な現象であることを意識させることで、音の意味合いを変化させる。コピーは劣化を生むのではなく、異なる表現を生み出すことを明確に証明する作品であると言える。

Patrick Liddell (ontologist) による *I Am Sitting In A Video Room*[4] は Lucier の *I Am Sitting In A Room* をオマージュした作品で、YouTube へアップロードした動画をダウンロードして、その動画ファイルを再度アップロードすることを繰り返す作品である。YouTube へ動画アップロードする際に行われる動画圧縮によりオリジナルの動画が一般的には気づかない程度に圧縮され、改変される。それを繰り返すことで圧縮の際の動画改変の特徴が強調され、最終的にはオリジナルの動画とは音声もふくめ大きく異なるものへ変化していく。普段では意識しない動画圧縮のシステムを意識させる。デジタル技術に進歩によって様々なものがコピー可能であることも意識させる。

これらの作品はコピーを繰り返すことにより普段は意識しないメディアそのものの特徴をあぶり出している。このことは著者らの実験におけるコピーを繰り返しながら変化を観察する点において重要な指標であると考えられる。

## 2.2 3D プリンタ関連 Related about 3D printer

3D プリンタと 3D スキャナを利用したループとフィードバックを利用した作品制作も試みられている。Miyako Atsuro による *Object Resolution*[1] は現在も進行中のプロジェクトである。デジタル画像が複数回コ

ピーされたときに生じる画像圧縮による劣化に着想を得て、果物のバナナに対して 3D スキャンを行い、その 3D データを 3D プリントで出力することによってバナナを複製する。これはもちろん樹脂で整形されたバナナであるが形状はまさしくコピーされている。そのコピーのバナナを再度 3D スキャンし、さらにプリントすることによってどのように形状が変化してゆくか考察している。このプロジェクトでは著者らが調査したところ、スマートフォンを利用したスキャナと一般的な積層方式のプリンタを使用していることが分かった。しかし、前章にて述べたが複数の機材による検討はされていない。環境や機材によって出力結果が異なることが予想され、複数の機材を使用した検証が望まれる。著者らの経験によると、例えば Matter & Form のスキャナでは欠損が穴埋めされオブジェクトが太くなる傾向があり、また Trnio では欠損がそのままとなり、オブジェクトが細くなっていく傾向が見られる。これらの点においてもコピーを繰り返すことでスキャナ毎の特性を明らかにできると考えられる。

David Bowen による *growth modeling device*[5] は玉ねぎの芽の成長をレーザースキャナでスキャンして芽の成長過程を 3D プリントしてゆく。24 時間毎にスキャンしてプリントされプラスチックのモデルとして残されてゆく。3D プリントによる時間の記録ともいえ、工業的存在である 3D プリントのアート表現として、またメディアのひとつとして捉えられることを意識させる。

Debra Thimmesch によるウェブ上での記事 *3D Printing Glitch Adds Meaning to Art Student's Sculpture*[6] は 3D プリンタで発生したトラブルをグリッチと捉え、これもアート表現のひとつであると論説されている。グリッチとは工業製品の電子的なミスやエラー、動作を停止しない程度の瞬間的な誤動作のことである。例えばカートリッジ式のゲーム機でカートリッジが完全に刺さっていないときなどにブロックノイズが現れてしまうことや、ヘッドフォンを PC やスピーカに抜き差しするときに発生するノイズ音などのことである。

これらの作品やプロジェクト、また論説は著者らの実験における 3D プリンタやスキャナの誤差やノイズの考察のための指標を示していると考えられる。

### 2.3 グリッチ関連 Related about 3D glitches

Iman Moradi らによる Glitch: Designing Imperfection[7] は主に画像のグリッチをアート表現とみなし、公募を経てまとめられた書籍である。この書籍のなかで Moradi は、グリッチはインクルージョンと呼ばれる異物が入ったダイヤモンドであると述べている。そのため、意図的でない自然発生的に現れたグリッチを pure glitch と呼び、意図的に作り出したグリッチを glitch alike と呼んでいる。逆に日本人のアーティスト ucnv はグリッチアート試論 [8] にて意図的なグリッチは、様々な技術の開発者的視点を持つことでアート表現として成り立っていると論じている。また Rosa Menkman は論文 The Glitch Moment(um)[9] の中でグリッチの技術的側面と文化的側面の関係をより明確にする必要があると述べており、グリッチの文化的価値を考察している。この論文ではグリッチ表現の詳しい説明がされており、グリッチについてはこちらの論文を参照されたい。

Thomas Ruff による jpegs[10] は Jpeg という現在最も使われている画像データのフォーマットである Jpeg 画像を扱った作品シリーズを収録した作品集である。jpegs はインターネット上で見つけることができる Jpeg 画像を 128 ピクセルの解像度まで画像を小さくし、最も高い圧縮率で画像データを圧縮する。その画像を再度拡大して表示する写真作品である。jpegs に掲載された写真は Jpeg フォーマット特有のブロックノイズが表示されグリッチ的表現の作品となる。これは、写真そのものの美と Jpeg 画像のフォーマット構造を顕にしてその構造の美に焦点を当てている。Miyako の Object Resolution では Jpeg 画像フォーマット特有のブロックノイズは画像の劣化と述べられているが、そこに異なる価値を Ruff は見出している。これらの作品や論説は著者らの実験におけるスキャンした誤差やノイズを含むデータを扱うことの考察のための指標になると考えられる。

これらの参考事例より、著者らの実験である 3D でのコピーを繰り返してオブジェクトの変化を観察して考察することは新規的な価値を生み出す可能性が考えられ、実験を遂行する必要がある。

### 3 制作方針

### 3.1 モデルの選定

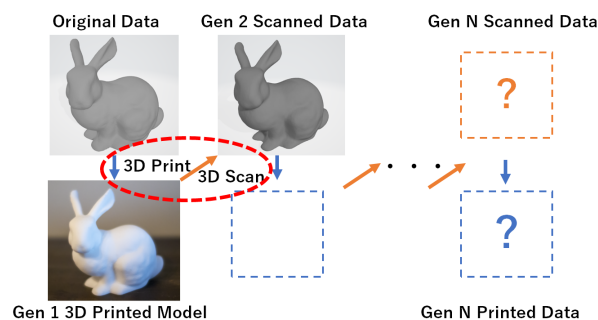


図1 制作フローと世代番号.

本研究では図1のように3Dプリントと3Dスキャンを繰り返し行い、最初の世代をGen1とし以降1試行終わるごとに世代番号を増やしていくものとする。対象となるモデルは、スタンフォードバニー、キューブ状のプリミティブな形状をベースとしたモデル、実物の彫刻であり複雑な形状を持つ“Winged Victory of Samothrace”と“Action in Chains”である。モデルの選定にあたっては形状によって結果に差が出ることを期待して複数の形状を選択した。スタンフォードバニーは丸みを帯びた形状であり、コンピュータグラフィックスのデモによく用いられるため知名度が高く追実験を行いやすいものとしてこれを選定した。“Winged Victory of Samothrace”は芸術性が高く、今回のコンセプトであるイレギュラーなノイズによる形状の損失あるいは創造、すでに腕や頭が欠如している形状が適していると判断しこれを選定した。3つ目のモデルは平面の集合で構成されるプリミティブ図形であり、使用する3Dスキャナの1つは水平な面のスキャンを苦手としていること、モデルは自立することが望ましいことを鑑みて、立方体をベースとして斜めに配置できるように一部をカットし、一部を中空としたシンプルなものを制作した。元の形状が立方体であるため、便宜上このモデルをキューブと呼称する。これらの3つのモデルに関してはデジタルデータを起点としており、比較のため4つ目のモデルは実物を起点とするために、日本の箱根彫刻の森美術館に存在している“Action in Chains”を選定した。

### 3.2 3D スキャンについて

デジタルとアナログを行き来することによって作者が意図しないノイズによって形状を変化させることが目的となるため、精度の高すぎる 3D スキャンはあまり望ましくない。一方であまりにも精度の低いものは世代を重ねる過程で生まれる差異を観察できず、一気に形状が崩れてしまう。そこで 3D スキャンの方式や機種によって差異が生まれることも期待して、4 つの 3D スキャナを用いて実施した。なおスキャン時に複数のシェルに分離した場合は最も大きいシェルのみを有効としてそれ以外のシェルは使用しないものとする。

据え置き型の Matter&Form は水平に設置されたカメラとレーザーによる標準的な 3D スキャナである。カメラが水平に設置されているため水平面のスキャンが得意であり、カメラは上下にしか動かず、3D モデルを配置した台のみが回転するため、角度によってはスキャンできない面が存在する。

SOL 3D は同様に据え置き型の 3D スキャナであるが、Matter&Form よりも新しいため精度が高く、黒いカバーで覆いスキャンをするため外光の影響を受け辛い。台のみが回転し、カメラはスキャン中は一切動かないが、モデルの位置や角度を配置しなおし複数のスキャンを行った後に自動でマッチングを行うことで精度向上を図るものであるが、今回の趣旨には合わないため、モデルを直立させたうえで 1 回のみスキャンを行う。

Sense 3D はハンディタイプの 3D スキャナで内蔵の深度カメラを使用する方式のものである。ハンディタイプのため撮影するたびに結果が異なり、撮影者の意図がある程度反映され、トラッキングロストによる失敗も多い。そのため本方式のスキャンに関しては複数回実施した上で最も正確にスキャンできたものを使用するものとする。

Trnio は iPhone アプリであり内蔵のカメラによる複数の角度からの撮影画像から立体を生成するものである。モデルの周囲を動くとき自動的にシャッターが切られて複数の写真を自動で撮影する。本方式も Sense 3D と同様にカメラによる動かし方によって結果に差異が生じるため、複数回の試行後に精度の高いものを使用する。

### 3.3 3D プリントについて

アナログの物理的な彫刻、3D プリントしたモデルを 3D スキャナでデジタルデータに変換する作業とデジタ

ルデータを 3D プリントによって物理世界に生成する工程を 1 世代とカウントし、この工程を繰り返す。3D プリントの特性上、プリントが失敗した場合は原型をとどめず大きく形状が崩れてしまう。また大きく 3D プリントすると積層痕が目立たず相対的に精度の高い物体の制裁が可能だが、プリント可能な 3D プリンタが少なく、プリント時間と費用が増加する。本制作では、高精度かつプリントの失敗をなくし、作者の意図が入り込まないように 3D プリントの工程を 3D プリントサービスである dmm. make に外注した。使用機材は粉末焼結方式では EOS の EOSINT P760、積層方式では XYZ Printing の PartPro300xT だが、図 2 に示すように一般的かつ安価な方式である積層方式では造形物に対して相対的に積層痕が大きすぎ、高性能の 3D プリンタにもかかわらずプリント乱れが大きかった。そのため本制作では粉末焼結方式のみを使用することとし、材質はナイロンで着色なしのものとする。



図 2 “Action in Chains” の Gen 1 のデータを積層方式 (左) と粉末焼結方式 (右) で 3D プリントした結果の比較、右の図は結果の差の激しい背中部分。

粉末焼結方式は高精度であるが、厚みが 1mm を下回るとプリント時に破損する可能性があり、ディテールに関しては 0.3mm が最小となっている。そのためオリジナルのデータをプリントした際にすでに第一世代でプリント失敗による破損が一部見受けられた。サイズを大きくすると解決可能であるが、コストとの兼ね合いもあるため今回は 1 度目のプリントでの出力は最大高さ 137mm 程度とした。これはサモトラケのニケのオリジナルのサイズの 4.5% の高さである。2 回目以降は 3D スキャンした際に実寸大でデジタル化されるため、同様の大きさになる。ノイズ等の発生により高さは変化するが、それに対しては制限を行わないものとする。

## 4 制作

本制作ではスキャナが作家であり、それぞれどのような特性を持っているか、そこに芸術性を見出せるかを明らかにすることが目的である。そのため可能な限り人の意図が入らない据え置き型の 3D スキャナを使用することが望ましい。まずモデルの差によって同一のスキャナでも差が出るかを確かめるために、スタンフォードバニーとキューブの 2 種類のモデルに対して SOL 3D でスキャンを行った。次に同一モデルでスキャナ毎の違いを確かめるため、“Winged Victory of Samothrace” に対して、SOL 3D, Matter & Form, Trnio, Sense 3D の 4 台でスキャンを行った。また、ハンディタイプの実験として“Action in Chains” に対して、Trnio と Sense 3D の 2 台でスキャンを行った。最後にスキャンのミス在意図的に発生させることで得られる結果を確認するため、“Action in Chains” に対して Sense 3D で 2 つの手法によるノイズの発生を試みた。

### 4.1 スタンフォードバニー



図 3 SOL 3D でスキャンしたスタンフォードバニーの世代ごとの形状の変化。

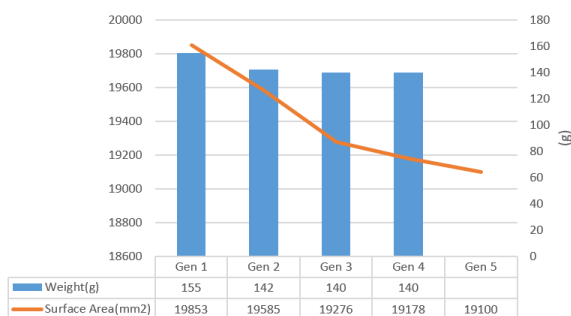


図 4 SOL 3D でスキャンしたスタンフォードバニーの世代ごとの重量、表面積の変化。Gen 5 はプリントしていないため重量のデータはない。

スタンフォードバニーは SOL 3D によりスキャンし、図 3 に示す通り 5 世代目まで試行を行った。最初のデー

タは MeshMixer のソフトウェアで生成した。重量や表面積の変化は図 4 に示すとおりである。世代が進むごとにディテールが失われていくが、元の形状がなめらかなため特徴的な変化が観察されなかった。底部に関してはスキャン台と接触しているためスキャンできず、ソフトウェアが自動で生成するためへこんだ形状となっていた。このため Gen 2 で急激に重量が減少している。同様にスキャン台に接する部分も上手くスキャンできず、徐々に足の部分が侵食されている。また初期に存在した耳のジャギーは徐々に滑らかになり、ローポリゴンゆえに見えていたポリゴン平面も同様に滑らかになり消えていった。Gen 3 以降大きな変化が見られなかったため試行を終了した。Matter & Form を使用したスキャンも試みたが、初回のスキャンで大きく形状が変化してしまったため世代は進めていない。

人が意図していない平滑化はより複雑なモデルを使用した際に新たな表現を生む可能性があると考えられる。

### 4.1.1 キューブ

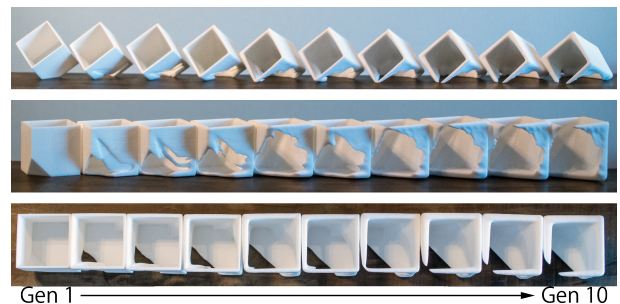


図 5 SOL 3D でスキャンしたキューブの世代ごとの形状の変化。それぞれ角度を変えて撮影した。

キューブは図 5 に示す通りに 10 世代目まで試行を行った。重量や表面積の変化は図に示すとおりである。世代が進むごとに内部が正確にスキャンできていないため厚みを増している。底面部分は徐々に削り取られていくが、全体の厚みが増えていくため、重量は増加傾向にある。さらに試行を進めた場合は底面から徐々に侵食していくため最終的には消滅すると予測される。底面に近い部分は厚みが不十分なためか、プリント時に造形できずに浸食されてできた模様が観察された。これ以上は新しい変化が期待できなくなったため 10 世代で試行を止めた。



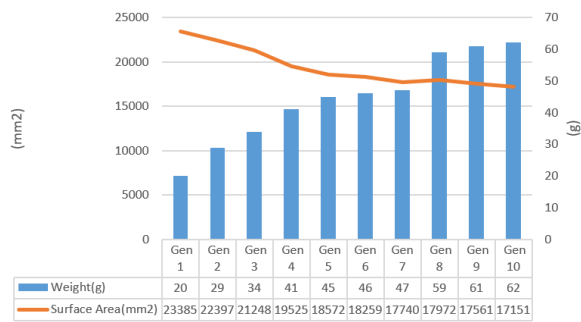


図6 SOL 3D でスキャンしたキューブの世代ごとの重量, 表面積の変化.

侵食されていく様子は繰り返すプリントという世界環境での新たな秩序のようにも感じられ, 新規的表現の可能性を持っていると考えられる. モデルによる差は SOL 3D が丸みと厚みを帯びる特性を持っているため, 複雑な形状, 無機的な形状で変化が出やすい傾向があると言える.

#### 4.2 Winged Victory of Samothrace



図7 左がオリジナルのデータ, 中央がポリゴン数を削減したデータ, 右が SOL 3D でスキャンした Gen 2.



図8 SOL 3D でスキャンした “Winged Victory of Samothrace” の世代ごとの形状の変化.

“Winged Victory of Samothrace” は SOL 3D, Matter & Form, Sense 3D と Trnio の 4 種類のスキャナを使用した. 元のデータは Web 上で公開されているデータを使用した (<https://www.thingiverse.com/thing:196038>). 元データは頂点数が 2836081, 三角形数が 3672162 と高精細だが, データ量が多すぎ 3D プリントが困難だったため, 図 7 の中央のように頂点数を 213170, 三角形数を 426344 まで削減している. これを第 1 世代として設定した.

4 種類の中では最も高性能な SOL 3D でも図 7 の右のように 1 度のスキャンでディティールの大半が失われ丸みを帯びている. 表面は滑らかで, 形状の変化は図 8 のように緩やかだが, 底面が徐々に削れ, 全体的に厚みを増し, 特に右の翼が分厚くなっていった. そのため全長は徐々に低くなりつつも図 9 のように重量が世代を経るごとに増加しているが, 表面積の増減は緩やかである. 使用したスキャナの中では高精度のため変化が乏しく, 特性が表れるまでに時間を要するが, 細かく変化が観察できる.

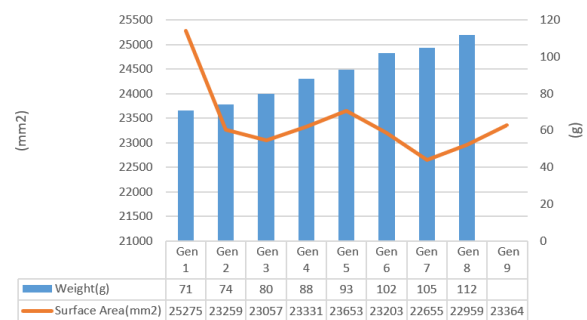


図9 SOL 3D でスキャンした “Winged Victory of Samothrace” の世代ごとの重量, 表面積の変化. Gen 9 はスキャンのみのため重量データなし.

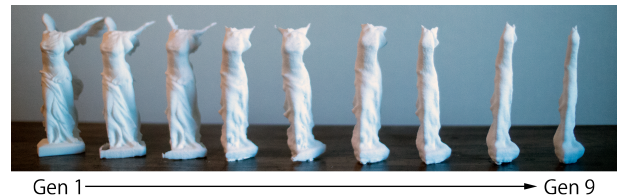


図10 Matter & Form を使用した “Winged Victory of Samothrace” の世代ごとの形状の変化.

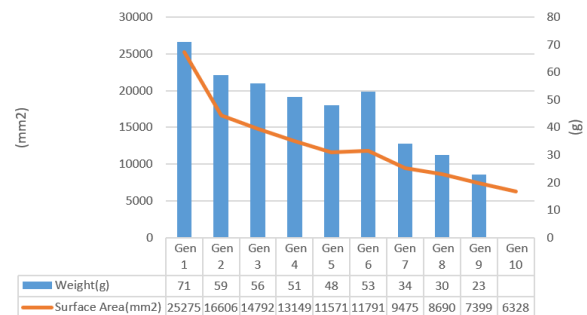


図11 Matter & Form でスキャンした “Winged Victory of Samothrace” 世代ごとの重量, 表面積の変化.

Matter & Form はスキャン精度及びメッシュ化の処理が不十分なためか、図 10 のように鋭いエッジは比較的に残存するものの、徐々にやせ細っていった。特にもともと厚みの薄かった翼部分はスキャンも上手く行えず、さらにプリント可能な厚みを下回るなどしてスキャンできてもプリントがされず徐々に欠損していった。足元の土台は水平に近かったため、初期段階でスキャンできずに欠けている。図 11 のように重量、表面積共に減少傾向にあり、このまま継続した場合は細くなり消滅すると予想できる。

しかしながら、消滅に向かっていく様子はプリントを繰り返すことによって生まれた各世代間の動きを感じさせ、Lucier の作品のように物事の特徴が研ぎ澄まされていく表現となっていると考えられる。Matter & Form の特性として、表面は細かな凹凸があり、形状は徐々にやせ細っていき、薄い部分から消失していくため、残った部分に細かく複雑な形状が発生する。



Gen. 1 → Gen. 6  
図 12 Sense 3D でスキャンした“Winged Victory of Samothrace”の世代ごとの形状の変化。

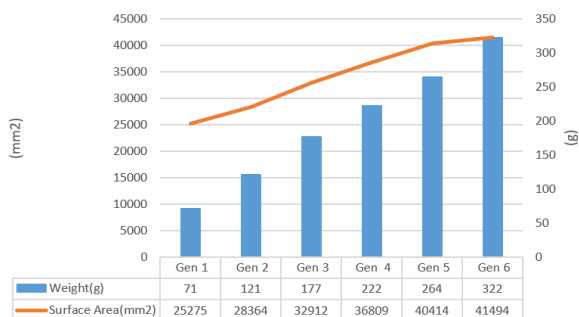


図 13 Sense 3D でスキャンした“Winged Victory of Samothrace”の世代ごとの重量、表面積の変化。

Sense 3D はハンディタイプでスキャン精度が低く、図 12 のように SOL 3D と同様に太くなる傾向があるが、表面は滑らかな部分と波打つようなノイズ、凹凸の激しい箇所が一部に存在する。図 13 に示すように表面積重

量ともに増加傾向があり、特に重量の増加が著しい。新しい変化が生まれてこなかったため、第六世代で試行を停止している。

上手くスキャンできていない部分に波状の凹凸が現れており、特にエッジ部分に現れやすい。このノイズ部分が次の試行で塗りつぶすように太くなることが繰り返され羽のエッジ部分が徐々に太くなっている。SOL 3D と同様の太く大きくなる特性だが、変化の速度が早いため特性が表れやすく、表面には滑らかな箇所と凹凸が混在している点で趣深い。ただし、ハンディタイプのため結果が安定せず、複数回スキャンを行い結果を比較して最も現在の形状に近いものを選出して次の世代のデータとしているが、人の主観がある程度入ってしまうという欠点がある。



Gen 1 → Gen 7  
図 14 Trnio でスキャンした“Winged Victory of Samothrace”の世代ごとの形状の変化。

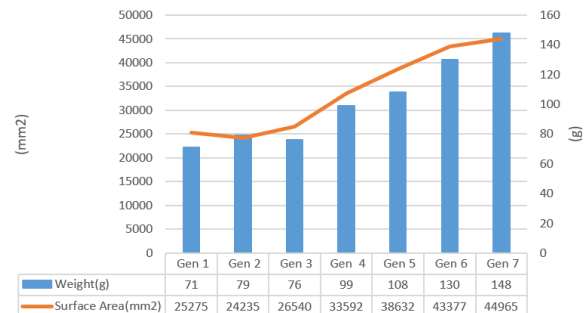


図 15 Trnio でスキャンした“Winged Victory of Samothrace”の世代ごとの重量、表面積の変化。

Trnio も同様のハンディタイプのものであり、スキャンが安定しないため複数回のスキャンを実行し、その中から最も変化の少ないものを次の世代のデータとして選出している。図 14 のようにエッジ部分に細かなノイズのような新しい部位が形成され、次の世代ではその部位のエッジにさらに新しい部位が形成されることが繰り返されている。表面は滑らかではなく、Matter & Form でスキャンしたものと似たような細かな凹凸が全面に存在

している。図 15 に示すように表面積・重量ともに増加傾向がみられるが、胴体部分の細かな凹凸が無くなり細くなる一方で、両翼が上下に広がっている。元の形が推測できる程度に抽象化され、その翼が広がっていく様子、あるいは翼が増えていくかのような変化は荘厳であり、奇しくもモチーフにマッチして趣深い。

4 つの中では最も複雑な変化をしており、単純に太く丸くなりながら大きくなるのではなく、平面を広げるように細かなノイズが集まりながら成長し、形状の大きな特徴を残して抽象化していく様は完成された彫刻作品のように美しい。人には作り難い変化であり、新たな表現の可能性が感じられる。

#### 4.3 Action in Chains

Aristide Maillol 作の“Action in Chains”は他のものと違い物理的な彫刻から Trnio で 3D スキャンした。元の大きさは高さ 213cm、幅 104cm、奥行き 95cm であるが、大きすぎるためプリントコストを鑑みて高さが約 12cm になるように縮小したものを使用した。これをもとに同一モデルでハンディタイプの 3D スキャナ 2 つの比較を行うため、図 16 に示す 1 世代目から分岐して図 17 のようにそのまま Trnio で継続したもの、図 19 のように Sense 3D を使用する 2 つのラインを試行した。

Trnio でスキャンしたモデルは徐々に細くなっていき、ディテールが失われて形状は単純化していく。表面は細かな凹凸があり、時折ノイズによる突起物の付加が観察された。“Winged Victory of Samothrace”と異なり、人がモデルのため鋭いエッジや極端に薄い部分がないためか、突起物の数自体は少ない。図 18 に示すように重量及び表面積の減少傾向はあるが、第 3 世代以降は変化少ない。足首や頭など細い箇所がより細くなっていき最終的に足の部分が細くなりすぎ、プリント時に破損して土台と本体の 2 つに分裂したため、これまでと同等の条件でのスキャンが続行不可能となった。そのためこの時点で Trnio による試行を停止した。

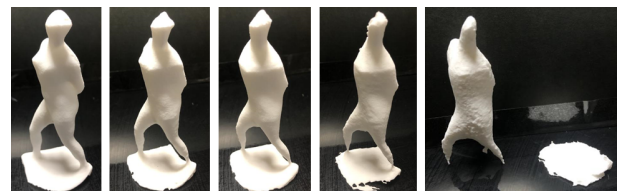
Sense 3D によるスキャンでは丸みを帯び太っていく様子が観察された。図 20 に示すように重量及び表面積に急激な増加がみられた。“Winged Victory of Samothrace”よりも第一世代のモデルが小さくスキャナの分解能が低いため、この増加速度は早く、形状の変化も如実に現れ、人であることは辛うじて認識できるが、オリジナルの形状が想像難い。同じモデル同じスキャナを使用

した場合でも、スキャナの分解能が低い場合はモデルの大きさが精度と形状の変化に大きな影響を及ぼしていることが分かった。

こちらのモデルでも世代が進むにつれ機材ごとの秩序が明るみになる過程を見られる。それぞれの秩序の違いを炙り出しており、表現の新たな可能性を見出すことができると考えられる。



図 16 箱根彫刻の森美術館に展示されている“Action in Chains”，それをスキャンしたデータ，プリントした Gen 1.



Gen 1 → Gen 5

図 17 Trnio でスキャンした“Action in Chains”の世代ごとの形状の変化。

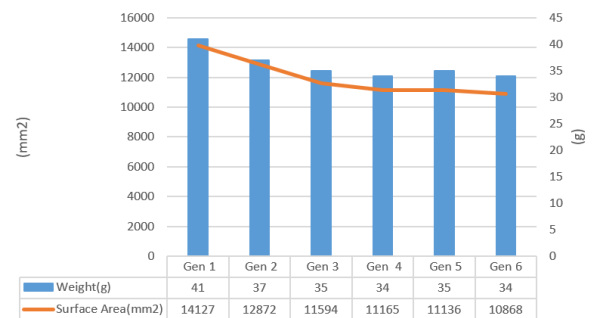
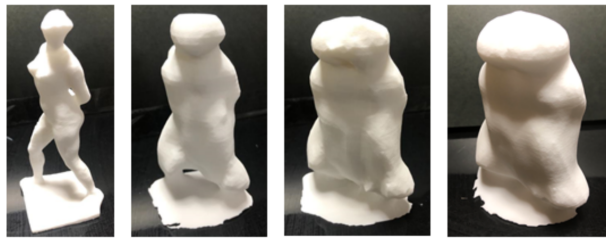


図 18 Trnio でスキャンした“Action in Chains”の世代ごとの重量，表面積の変化。





Gen 1 → Gen 4  
図 19 Sense 3D でスキャンした “Action in Chains” の世代ごとの形状の変化。

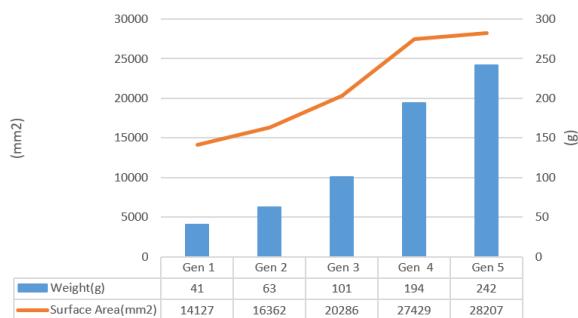


図 20 Sense 3D でスキャンした “Action in Chains” の世代ごとの重量，表面積の変化。

#### 4.4 意図的なノイズの発生

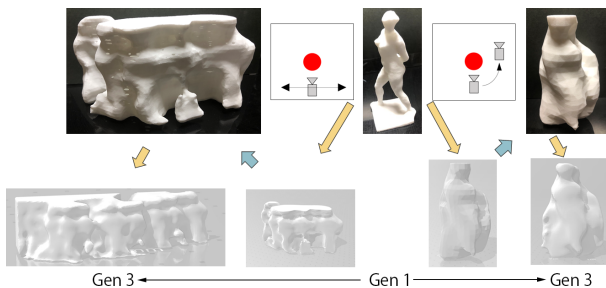


図 21 2つの不完全なスキャンによる “Action in Chains” の意図的なノイズの発生による形状の変化。

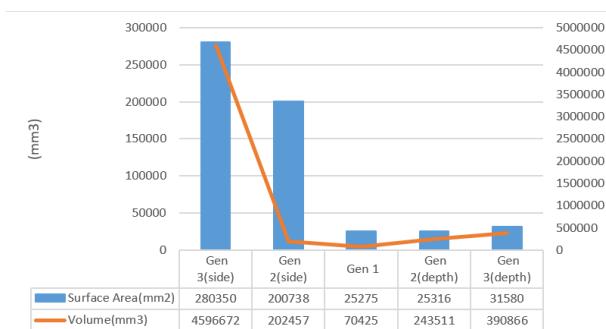


図 22 2つの不完全なスキャンによる “Action in Chains” の世代ごとの体積，表面積の変化。

ハンディタイプの Sense 3D によるスキャンでは人によってスキャンする箇所を制御でき、また不十分な状態でスキャンを止めることも可能であり、この場合はスキャン済みのデータをソフトウェアが解析して推定によるソリッド化が行われる。そのため意図的に元のモデルを大きく変化させることが可能となっている。そこで実験として図 21 のように 2 種類の手法で大きくスキャンエラーを発生させた。図 22 は 2 種類の手法によるモデルの体積と表面積の変化を表している。ここではモデルが大きくなりすぎているため、他のモデルと違い内部は空洞となっているため単純な重量比較が出来ないため、代わりにデータの体積を表記している。

1 つ目はモデル正面にスキャナを配置し、方向を変化させずに水平にスキャナを往復させた。この時側面及び背面はほぼスキャンすることができないため図 21 の左に示した歪んだ立体が生成された。さらにこの手法をもう 1 世代繰り返した結果が図 21 の左側の Gen 3 のようになる。1 度目に観察された変形の特徴が 2 度目にも表れている。本試行は 2 度目ですでにサイズが大きくなりすぎたため、ここで試行を停止した。

2 つ目の手法はスキャナを正面に配置した後にスキャナを固定してモデルを中心に 1/4 回転させた。この時点でスキャナはトラッキングロストを起こし、これ以上のスキャンが不可能となり、この状態でソリッド化を行う。本手法でも同様に部分部分に元のモデルデータの痕跡が見て取れるがやはり大きく変形したデータとなった。1 つ目と同様に Gen 3 のデータ作成まで行い試行を停止した。

意図的なノイズの発生をさせたモデルでは大きな変化をもたらすが、これは不完全なモデルをソリッド化するためソフトウェアによる形状の補完の結果であり、予測を超える形状に対する驚きはあるが、元のモデルから大幅に変形したものとなっている。故にオリジナルのモデルの持つ魅力が削がれ、徐々に変化していく面白さや繊細な美しさが存在しない。

## 5 考察

本研究は 3D スキャナと 3D プリンタの精度の低さを利用し、3D スキャンと 3D プリントを交互に繰り返すことによる立体物の変形による新たな立体彫刻の生成手法の模索を行った。特に今回は 3D スキャナによるデー



タ欠損を主体としており、モデルの形状、スキャナの種類による変形結果の違いが明らかになった。

3D プリントのコストを抑えるために小さなモデルでの試行だが、より大きなモデルの場合は相対的にスキャナの精度が高くなるためまた違った結果となるだろう。人の意図がなるべく入らないようにしており、自動的に生成される結果を享受することを主眼としていた。その意味では据え置き型のスキャナと外注による 3D プリントは十分に達成されているが、ハンディスキャナの場合は動かし方やスキャンした環境が十分に統一することが難しく、スキャンの段階でどうしても意図が入ってしまう。何度かスキャンを繰り返し、その中から元のデータと比較してなるべく変形が少ないものを選択するというルールを設定したものの、やはり環境やスキャンするオペレータといった要因で変化しうるものである。

スキャナごとに異なった特性を持つことが確認され、それはただの変化ではなく人の意図を超えた形状の創造の可能性が存在している。例えば“Action in Chains”の Trnio では徐々に特徴が失われつつも細くなってできた彫刻はジャコメッティ風の様相を呈し、それを並べてみたときに抽象化あるいは芸術性の創造のための試行錯誤の過程とも捉えることができるだろう。同一のモデルから複数のモデルが生み出される様は多様性を表現している。一方でスタンフォードバニーに対して行った SOL 3D によるスキャンでは変化が乏しく退屈なものであった、このプロセスが必ずしも興味深い結果をもたらすわけではない。



図 23 Trnio でのスキャンで生じる突起物の創造 (左) と Matter & Form での浸食していく欠損 (右)

“Winged Victory of Samothrace” をオリジナルとす

る彫刻のスキャンでは、その特性が顕著に表れ形状の変化も興味深い。図 23 のように Matter & Form では羽がむしられていくかのように欠損が進み、Trnio では逆にエッジ部分にノイズとして新たな部位が生成されていく。どちらにおいても元の形が推定できるという意味において興味深く、それをスキャナごとに世代に沿って並べることでその形状の移り変わりは進化の多様性を表しているかの如く感じられる。



図 24 翼部分の虫食いのような欠損

さらに SOL 3D でスキャンしたモデルの最終世代を起点に Matter & Form によるスキャンに切り替え、同様に Matter & Form の最終世代を SOL 3D によるスキャンを繰り返すことで、両者が似通ってくるのかを検証した。その結果、表面の凹凸や形状変化の方向性は認められるが、これまでのスキャンで失われた情報が復元されることはなく、スキャンの順序も重要であることが確かめられた。また SOL 3D の最終世代に対して Matter & Form でスキャンした際に図 24 のようにこれまで見られなかった虫食いのような欠損が認められ、形状の変化にはさらなる可能性があることが示唆された。

これらの知見を活かし“Winged Victory of Samothrace”をモデルとしてこれまでに行った試行をベースに図 25 の作品の制作を行っている。これは単一の立体物ではなく、集合として見せることで、このプロセスによって生成されるオブジェクトの美しさだけでなく、変化のグラデーションや多様性に焦点を当てている。中央にオリジナルのモデルを配置し、Matter & Form, SOL 3D, Trnio と Sense 3D による造形を世代ごとに放射状に配置している。さらに Matter & Form の最終世代を SOL 3D で、SOL 3D の最終世代を Matter & Form でスキャンを行い、両者が近づきつつもこのラインが決して交わらないことを表現している。

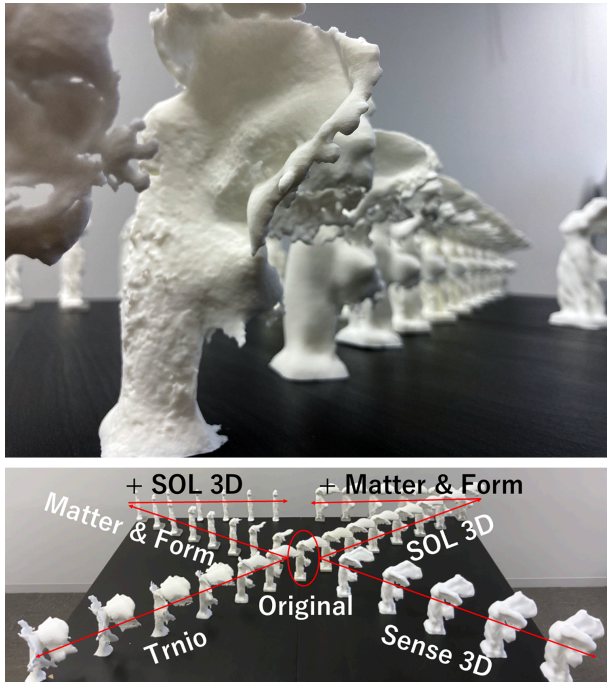


図 25 “Winged Victory of Samothrace”をベースに試行を繰り返し制作したメディアアート作品

## 6 まとめ

本論では Lucier らを参考に繰り返しコピーを主たる手法とする芸術表現とコピーによる劣化をひとつのグリッチ表現と捉え、それらの表現を利用した 3D プリンタとスキャナによる彫刻作品の制作実例を提示した。その結果、制作の実験では各スキャナによってアブストラクションの違いを見出すことができた。求める出力によってスキャナを使い分けることの有意性を見出すことができたと考える。また、そのスキャナ毎の特徴を基に著者らによる彫刻作品 “Resonant Irregularities” を制作することができた。このことにより新たな彫刻作品の制作手法のひとつを提示できたと考える。

スキャナ毎の特徴を見出すことは Lucier の I Am Sitting In A Room で提示された、残響音から様々な空間での音というメディアの物理特性を明るみにする行為と同様と言える。Lucier の I Am…では空間の残響特性が明るみになるが、演奏する場所や外部からのノイズ、聴衆の人数などが毎回異なり変化の過程と結果は予想できない。本研究でも各スキャナの出力の特徴を明るみにすることで、スキャンする行為の中に予想ができない人

の意図を超えた領域があることを意識させる。このことで科学と芸術の融合であるメディアアートの新たなひとつのあり方も提示できたと考えられる。

本研究では彫刻の自動生成がひとつの目的であるので、スキャンの対象は彫刻を主たるものとした。しかし、Miyako が対象としたバナナについては彫刻とは異なる面白みを生んでいると感じられる。そのため、彫刻以外の物も今後は実験・制作の対象となっていくべきであろう。

## 参考文献

- [1] 都淳朗. なぜ 3d プリンターを使ってバナナの解像度を下げたのか: コピーによる個性の喪失と獲得. [https://note.com/3\\_8\\_5/n/nfba962041f60](https://note.com/3_8_5/n/nfba962041f60), 2020. 参照: 2021-06-28.
- [2] Alvin Lucier. I am sitting in a room, 1993.
- [3] ontologist. Video room 1000 complete mix – all 1000 videos seen in sequential order! <https://youtu.be/icruGcSsPp0>, 2010. 参照: 2021-06-28.
- [4] Andrea Miller-Keller. *Alvin Lucier: A Celebration*. 2012.
- [5] David Bowen. growth modeling device. <https://www.dwbowen.com/growth-modeling-device>, 2009. 参照: 2021-06-28.
- [6] Debra Thimmesch. 3d printing glitch adds meaning to art student’s sculpture. <https://3dprint.com/59131/3d-printing-glitch-sculpture/>, 2015. 参照: 2021-06-28.
- [7] Iman Moradi, Ant Scott, Joe Gilmore, and Christopher Murphy. *Glitch: Designing Imperfection*. Mark Batty Publisher, 2009.
- [8] ucnv. グリッチアート試論. <https://ucnv.stores.jp/>, 2019. 参照: 2021-06-28.
- [9] Rosa Menkman. The glitch moment(um). <https://issuu.com/instituteofnetworkcultures/docs/glitchmomentum>, 2011. 参照: 2021-06-28.
- [10] Thomas Ruff. jpegs, 2009.

安本 匡佑



2010 年東京藝術大学大学院映像研究科博士後期課程修了。博士（映像メディア学）。2011 年より東京工科大学メディア学部助教。2015 年より神奈川工科大学情報学部情報メディア学科助教。2017 年より同大学准教授。メディアアーティストとして近年では「The Light Shooter」「参式電子弓」「CUBISTA」等の作品を制作。

井藤 雄一



2014 年中京大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻博士後期課程修了。博士（メディア科学）。その後、中京大学工学部メディア工学科にて助手 1 年と助教 4 年を勤め、2019 年より神奈川工科大学情報学部情報メディア学科講師。これまでに Prix Ars Electronica 07 Interactive Art 部門、MEC Award 2015 等で作品が入賞している。