

# 苔を活かした日本型「土」3D プリンティングによる社会環境彫刻の試み

## Attempt of Sculpture for Social and Biological Environment by Japanese Style "Soil" 3D Printing Utilizing Moss

松木 南々花<sup>1</sup>, 名倉 泰生<sup>2</sup>, 知念 司泰<sup>1</sup>, 大村 まゆ記<sup>3</sup>, 田中 浩也<sup>1</sup>,

青木 竜太<sup>4</sup>, 青山 新<sup>4</sup>, 伊藤 光平<sup>5</sup>

Nanaka MATSUKI<sup>1</sup>, Yasuo NAGURA<sup>2</sup>, Moriyasu CHINEN<sup>1</sup>, Mayuki OMURA<sup>3</sup>, Hiroya TANAKA<sup>1</sup>,  
Ryuta AOKI<sup>4</sup>, Shin AOYAMA<sup>4</sup>, Kohei ITO<sup>5</sup>

<sup>1</sup>慶應義塾大学環境情報学部, <sup>2</sup>慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科, <sup>3</sup>慶應義塾大学総合政策学部,  
<sup>4</sup>METACITY, <sup>5</sup>株式会社 BIOTA

<sup>1</sup>Faculty of Environment and Information Studies Keio University, <sup>2</sup>Graduate School of Media and Governance Keio University, <sup>3</sup>Faculty of Policy Management Keio University, <sup>4</sup>METACITY, <sup>5</sup>BIOTA Inc.

### 【要約】

本研究は土材料を使用した建築スケール 3D プリンティングの分野において、日本の温暖湿潤な気候特性を活かした展開可能性を探究するものである。同分野の世界的な先行事例の分布を見ると、殆どが乾燥地域に位置している。湿潤な気候は材料の乾燥速度などの面で不利であることがその一因であるが、一方で多様な生態系の醸成には好条件である。この点に着目し、土と苔を組み合わせた社会環境彫刻を制作した。彫刻はひだ状に造形された赤玉土と籾殻、加えて表面の苔から構成され、苔の環境的特性を最大化するように内外が設計されている。内部には森林から採取した土壌を投入し、この彫刻を都市空間に設置することで、森林の持つ潜在的状態を都市に移植することを試みた。この一連のプロジェクトを「Bio Sculpture」とし、これまで2回行ってきた展示の概要を述べる。

キーワード: 建築スケール, マテリアル, 土, 苔, 都市

### 【Abstract】

This study explores the possibility of utilizing Japan's warm and humid climate in the field of architectural-scale 3D printing using soil materials. Looking at the distribution of precedents in this field worldwide, most of them are located in arid regions. This is partly due to the fact that a humid climate is disadvantageous in terms of the drying rate of materials, but on the other hand, it is a favorable condition for fostering a variety of ecosystems. Focusing on this point, I created a socio-environmental sculpture that combines soil and moss. The sculpture consists of folds of red clay, rice husks, and moss on the surface, and is designed inside and out to maximize the environmental characteristics of the moss. The interior is filled with soil collected from the forest, and by installing this sculpture in an urban space, we attempted to transplant the latent state of the forest into the city. This series of projects is called "Bio Sculpture", and the following is an overview of the two exhibitions that have been held so far.

Keywords: architectural scale, material, soil, moss, urban

### 1. 序論

建築スケール 3D プリンティングの分野で土材料を使用している事例は多く見られる。イタリアの3Dプリンタ開発会社であるWASPは、地元の土壌をマテリアルとしてTECLAと呼ばれる住宅のプリントを実現した[1]。スペインの大学であるInstitute for Advanced Architecture of Catalonia(IAAC)は、地元の材料から作られた粘土を使用して環境調節を目的とした壁を製作した。これは年間の日射や風向などに対して最大限の効果を発揮するようにパラメトリックに設計されている[2]。アメリカサンフランシスコのEmergingObjectsは、粘土と水と麦わらを混ぜた伝統的な材料を用いてキャビンや窯を製作した[3]。

先行事例の分布を見ると、以上のようにほとんどが

砂漠気候や地中海性気候などの乾燥した地域で行われていることがわかる。(図1)これは土と水を混練した泥というマテリアルが、コンクリートのように科学反応によってではなく、水分の蒸発によって硬化するものであるからだと考えられる。日本は大部分が温暖湿潤気候であり泥を材料とした3Dプリントには造形の面から不向きである。一方で、土の塊を放置するだけで苔などの植物が繁茂する(図2)といった特性を持つ。これは設置したものが次第に環境と馴染むとも捉えられ、周囲の環境に負荷を与えないというメリットが考えられる。

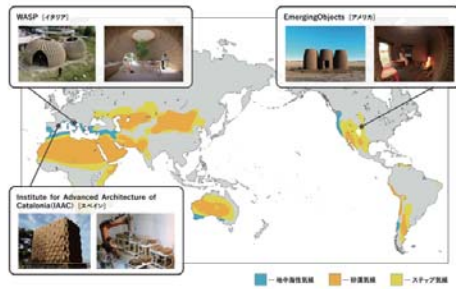


図 1. 事例の世界分布と気候区分



図 2. 屋外に放置した土から植物が生える様子

## 2. ArchiFAB NIWA

本研究は当研究室の所有する建築 3D プリンタ「ArchiFAB NIWA」を用いている(図 3)。ArchiFAB NIWA は 30m<sup>2</sup> の造形範囲を持つ世界最大規模のウインチケーブル式 3D プリンタである。フレームのスケールを自由に変更でき分解が可能で、可搬性が高い。出力機構はマテリアルエクストルージョン方式で、モルタルポンプによって土を主体とした自然素材を出力している。

以上の特徴から、ArchiFAB NIWA は地域ごとのサイトスペシフィックな介入によって、生態系や社会コミュニティに働きかけるデザインが可能であると考えられる。



図 3. ArchiFAB NIWA

われわれが使用しているポンプはホース径が 63mm であり、積層の際には、一層高さ 15mm の値で積み上げている。直径 500mm 高さ 500mm の円筒を出力するの

に必要な時間はおよそ 90 分である。

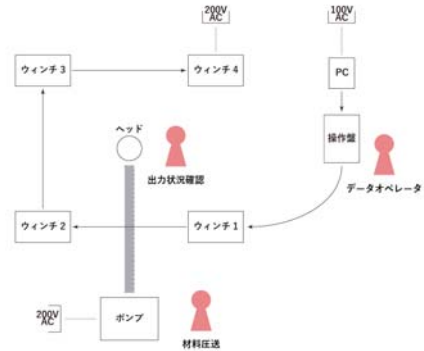


図 4. ArchiFAB NIWA システム図

## 3. Bio Sculpture

Bio Sculpture は、複数の自然素材にデジタル技術で新たな構造と配列を与え、生態系の一部を作り出す「人新世」の社会彫刻を模索することを目的としたアートプロジェクトとして、田中浩也研究室と METACITY のコラボレーションによって開始された。

ひだ状に造形された赤玉土と籾殻、加えて表面の複数種類の苔から構成され、苔の環境的特性を最大化するように設計されている。内部には森林から採取した土壌を投入し、都市空間に移植することで、森の持つ潜在的状態を新たな環境下で可視化することを試みている(図 5)。



図 5. 彫刻の略図

なお、このひだ構造の造形は、Different Growth Model をモチーフとしたアルゴリズムにより、自由形状の面を任意の密度で均一に満たす様に生成されている。これにより苔を貼り付ける表面積が最大化される。

### 3-1 マテリアル

彫刻を構成するマテリアルとその詳細を述べる。

まず、ArchiFAB NIWA では赤土と藁を混合したものを出力している。

- ・赤土: 関東ロームから採取される粘土質で乾燥によって硬化する特徴を持つ土である。そのため、3D プリンタでの造形には適しているが植物の生育には不向きである。

- ・藁: 構造を強化するための骨材として使用する。藁、赤土、水を混合し発酵させると、藁の繊維が土の粒子に絡まって粘りを増し、割れにくく丈夫な素材となる。これは古くから土壁の製法としても用いられる手法である。

彫刻内部には、下層から順に赤玉土、籾殻、黒土、



森から採取した土壌を投入する。

- ・赤玉土:赤土を乾燥させて粒状に加工したものである。団粒構造を形成するため適度な保水性や通気性を持ち、構造に安定した水分供給を行う。
- ・籾殻:構造を支持する軽量の充填剤として機能する。土に混ぜることで通気性を付与するとともに、植物の根張りを良くする効果を持つ。
- ・黒土:火山灰土壌の表層の土と腐植が混合し堆積したものである。生物遺体が分解、腐植化されて生成される有機物を含み、保水力と保肥力に優れるといった特徴を持つため、植物の苗床となる。

上記 3 種のマテリアルで構成された内部環境は、最上部に投入する森の土に含まれる種子や微生物の生育に適した環境を構成する。

彫刻表面には複数種類の苔を配置する。後述の日照シミュレーションに基づき、彫刻の日向部分にはスナゴケ、半日向部分にはハイゴケを配置する。半日陰部分にはシッポゴケとタマゴケ、日陰部分にはホソバオキナゴケ、シノブゴケ、トヤマシノブゴケ、タチゴケ、コツボゴケを配置する。

これらの苔は高い保水力を持ち、環境変化に強い。乾燥しても枯死せず仮死状態に移行し分解されないため、二酸化炭素固定能力が他の植物よりも高いといえる。樹木のように施肥や剪定をする必要がなく、さほどメンテナンスを要しない。また、種類によって生育に適した日射量が異なるといった特徴を持つ。そのため、Bio Sculpture においては日照シミュレーションに基づいて日向から日陰まで段階的に造形物に苔を配置した(図 6)。

日照シミュレーションには 3DCAD「Rhinceros」の 1 機能である Grasshopper のプラグイン「Honeybee Ladybug」を用い、展示場所における積算日照量を採用した。

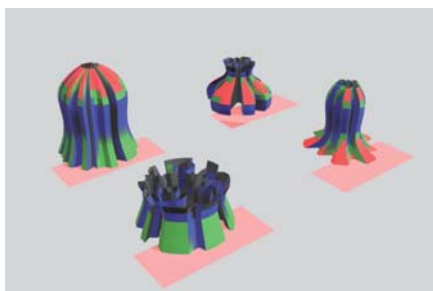


図 6. 日照シミュレーションに基づく苔の配置分布

## 4. 展示の実践

### 4-1 北九州未来芸術祭 ART for SDGs

北九州にて開催された「北九州未来創造芸術祭 ART for SDGs」では、彫刻 4 台に加えて ArchiFAB NIWA 本体も展示し、会期中に一台を出力した(図 7)。

4 台の彫刻には上段、中段、下段それぞれに環境センサー「SmartCitizenKit」[4]を設置し、温度、湿度、光量、二酸化炭素濃度などのセンシングを行い、光量と二酸化炭素濃度に相関を見ることができた。彫刻内最上

部には北九州の緑地から採取した土壌を投入したところ、会期中に複数の植物が発芽した様子を確認することができた(図 8)。また、展示終了後に 1 台を同施設内に移設し、常設とした(図 9)。



図 7. 北九州未来芸術祭 ART for SDGs での展示風景



図 8. 彫刻から発芽する様子



図 9. 常設した彫刻

### 4-2 生態系へのジャックイン展

千葉県にある日本庭園「見浜園」にて開催された「生態系へのジャックイン展」では、前述の ART for SDGs に対し、よりデータの収集とそのビジョンを提示する展示を行った。ドーム型のビニールテント内に彫刻 1 台とセンシングデータを表示するモニターを設置し、未来のラボを演出した(図 10)。展示終了後に同県内の遊休地に移設し、最長 2 年の長期経過観察を行っている(図 11)。隔週で彫刻内と彫刻周辺から土壌を採取し、マイクロバイオーム解析を行う。



図 10. 生態系へのジャックイン展での展示風景



図 11. 常設した彫刻

## 5. 今後の展望

### 5-1 マイクロバイオーム解析

土壌中には数百を超える細菌群集(マイクロバイオーム)が存在している。それらの複雑な群集構造を網羅的に同定し、変動性を推測するために、土壌中の細菌DNAにおいて保存性が高く、種の同定に用いられる16S rRNA 遺伝子領域をゲノムシーケンスする。

彫刻内と彫刻周辺から採取した土壌(図 12)は、植物や小石など粒度の高い物質をふるいにかけて除去した後、速やかに実験室のフリーザー(-30 度)にて保管した。

土壌から微生物 DNA を抽出し、PCR 法にて 460bp の V3-V416S rRNA 遺伝子領域を増幅し、ライブラリ調製を行った後に、次世代シーケンサ(Illumina Miseq)にてゲノムシーケンスを実施する。シーケンスデータは、株式会社 BIOTA [5] の解析プラットフォーム上で配列品質フィルタリングやエラー修正を実施したのちに、マイクロバイオームの多様性や組成を網羅的に解析する。

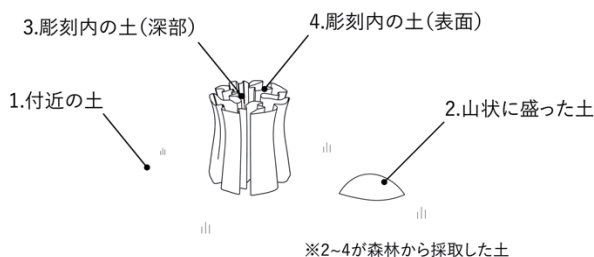


図 12. 土の採取箇所

### 5-2 都市空間への展開

生活環境における緑地の割合と住民の一般的な健康状態には、経済状況に関係なく正の相関があるという研究がある [6] [7]。また、アレルギー疾患や自己免疫疾患などの特定の症候群は、都市化の進行に関連しているといった研究も存在する。都市化に伴う衛生技術向上により微生物に触れる機会が減少するため人間の免疫系が不具合を起こすことが一つの要因である[8] [9]。

以上の観点からも、土壌に含まれる多様な微生物を効率的に都市に持ち込み、またモニメントとして住民とのインタラクションを生む Bio Sculpture は、新しい都市デザインのひとつとして活用される可能性がある。

その観点を踏まえて、今後は新たな形状を探索していく。微生物増殖の観点から考えると、彫刻内部の土壌を定期的に攪拌する必要がある。攪拌が可能であるというだけでなく、都市住民とのインタラクションを通して攪拌する行為に必然性が生まれるとより望ましい。加えて、都市のシンボルとなり長期にわたって愛される彫刻とするための形状を考慮する必要がある。

2 回に渡る展示実験の知見に加えて、リサーチやユーザー評価を通して新たな形状を考案し、都市空間への設置を目指していく計画である。

## 参考文献

- Alberto Chiusoli. “TECLA”. WASP. <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-tecla/>. (参照 2021-09-15)
- IAAC. “TERRAPERFORMA”. <https://iaac.net/project/terraperforma/>. (参照 2021-09-15)
- Joel Ferree. “At Home with Rael San Fratello”. Unframed - LACMA. 2020-11-23. [https://unframed.lacma.org/2020/11/23/home-rael-san-fratello?fbclid=IwAR0\\_VbAwWTKekpATeEPGYbHj6kyXHtBqbtgK\\_g3Zi4P8ABrrEmxYgELNSHU](https://unframed.lacma.org/2020/11/23/home-rael-san-fratello?fbclid=IwAR0_VbAwWTKekpATeEPGYbHj6kyXHtBqbtgK_g3Zi4P8ABrrEmxYgELNSHU). (参照 2021-09-15)
- Smart Citizen Kit. <https://smartcitizen.me/>
- 株式会社 BIOTA. <https://biota.city/>
- Maas J, Verheij RA, Groenewegen PP, et al. “Green space, urbanity, and health: how strong is the relation?”. *Journal of Epidemiology & Community Health* 2006;60:587-592.
- Groenewegen, P.P., van den Berg, A.E., de Vries, S. et al. “Vitamin G: effects of green space on health, well-being, and social safety”. *BMC Public Health* 6, 149(2006). <https://doi.org/10.1186/1471-2458-6-149> (参照 2021-09-15)
- Nicolaou N, Siddique N, Custovic A. “Allergic disease in urban and rural populations: increasing prevalence with increasing urbanization”. *Allergy*. 2005 Nov;60(11):1357-60. doi: 10.1111/j.1398-9995.2005.00961.x. PMID: 16197466. (参照 2021-09-15)
- Moises Velasquez-Manoff (原著), 赤根 洋子 (翻訳). (2014) 寄生虫なき病, 文藝春秋

## 謝辞

本研究は、JST-COI「感性とデジタル製造を直結し、生活者の創造性を拡張するファブ地球社会創造拠点(JPMJCE1314)」の支援を受けたものである。