

[招待論文]

デジタルファブリケーションと SDGs ファブシティ概念を中心として

Digital Fabrication × SDGs

Basic Concepts of “FabCity”

田中 浩也

慶應義塾大学環境情報学部教授

Hiroya Tanaka

Professor, Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

渡辺 ゆうか

慶應義塾大学非常勤講師

Yuuka Watanabe

Part-time Lecturer, Keio University SFC

Abstract: 「デジタルものづくり」の拠点として始まったファブラボの、存在意義の再定義が進められている。デジタルデータから「もの」がつくられるようになったということは、すなわち、ものの輸送がデジタルデータの転送に置き換えられるということであり、また地域のファブラボが身近な素材やリサイクル材を活用した地産地消を促すことは、循環型社会や自給自足型都市の流れに結実しつつある。単に「ものを増やす」のではなく、必要最小限の適量のものをつくりながら、まち全体の構成をリデザインしようとするのが、ファブラボが新たに掲げる方向である。本稿はその中心概念である「ファブシティ」について、SDGsとの関連において述べる。

The roles of Fab Lab (fabrication laboratory), originally known as “space for making things”, are in dynamic transitions now. Digital fabrication technologies realize direct translation between digital 3D data and physical object, then replace physical logistics as virtual transmission. Local Fab Labs are leading material recycling, self-sufficient city and circular economy. Fab Labs are not just targeting at making things, but targeting at appropriate production and social changes. In this paper, we describe “Fab City”, the next important concept of Fab Lab, in relationship with SDGs.

Keywords: デジタルファブリケーション、循環型経済、自給自足型都市
digital fabrication, circular economy, self-sufficient city

1 はじめに

筆者らは、2011年に日本初・アジア初のファブラボを鎌倉に設立した。3Dプリンタやレーザーカッター等の「デジタルファブリケーション」技術を一般市民にもアクセスできるように門を開いたファブラボは、「ものづくり市民工房」あるいは「まちの工作室」とも呼ばれ、鎌倉と筑波を皮切りに、多様な「ファブ施設」という形態で社会に広がっていった。その結果、カフェと一体化した「ファブカフェ」等日本独自の融合形が生まれ、過去8年間で日本国内での「ファブ施設」は100以上に増えている¹⁾。世界規模でも年々倍増し、各国に広がっていった結果、2019年1月時点で世界で、確認されているファブラボは1600拠点上となった（なお、ファブラボとは何かという基本的な解説²⁾³⁾⁴⁾および、SFCのデザイン教育におけるファブラボの効果については既報⁵⁾に述べたので、ここではこれ以上繰り返さない）。

デジタルファブリケーション技術が一定程度社会に浸透し、ファブラボの活動が落ち着きを見せるなか、ここ数年、世界中のファブラボで、2020年以降の次なる活動目標を模索する動きが活性化している。2018年5月にベトナム・ホーチミンで開催された「第4回ファブラボアジア会議」にて、SDGsの目標群がトップページに掲げられたことを皮切りに、2018年8月にはフランス・パリで「第1回世界ファブシティ・サミット」が開催された。このファブシティ・サミットでは、単なる「ものづくりのためのデジタルファブリケーション」という解釈を超え、「循環型社会・循環型経済を構築するためのデジタルファブリケーション」という、一段上の新しい社会的・環境的目標設定をめぐって、熱気ある議論が行われた。

ファブシティ・サミットの場合、日本初の「ファブシティ」として申請、認定を受けたのが鎌倉市である。鎌倉市は2018年にSDGs未来都市・自治体SDGsモデル事業（全国で10都市）にも採択されているほか、東京大学高齢社会総合研究機構を中心に「リビング・ラボ鎌倉」を設置している。またSFCのOBでもある面白法人カヤック代表取締役CEO 柳澤大輔氏は、地域とともに歩む新しい資本主義のかたちを模索して「カマコン」の活動を主導し、これまで進めてきた実践を「鎌倉資本主義」というコンセプトにまとめ、著書⁶⁾を上梓した（この本にはファブラボ鎌倉の紹介も含まれている）。

このような文脈のもと、本稿では「ものづくり」というよりも、広い視野である「循環型社会の実現」にその目標を移行しつつある、デジタルファブリケーションがこれから向かっていく方向性をまとめ、最終的に SDGs の文脈への接続を試みる。世界のファブシティの潮流を確認しつつ、鎌倉において進行中のプロジェクトも紹介し、これからのファブシティの行く末についても素描したい。

2 「ファブシティ」というコンセプト

2.1 Vicente Guallart による「The Self Sufficient City」の提案

「ファブラボ」というコンセプトは、米国マサチューセッツ工科大学ニール・ガーシェンフェルドによって 2005 年ごろに発案された。他方「ファブシティ」というコンセプトは、スペイン・バルセロナの IaaC (Institute of Advanced Architecture Cataluña) の学長 (当時) Vicente Guallart と教員 Tomas Diez によって 2014 年に掲げられた。IaaC はデジタルテクノロジーの活用を全面的に掲げた建築デザイン・都市デザインの先端大学院大学である。ヨーロッパで最初のファブラボを設立したことで知られるが、当初から「ものづくり」というよりも「住民参加型・都市デザインの新たな拠点」としてファブラボ

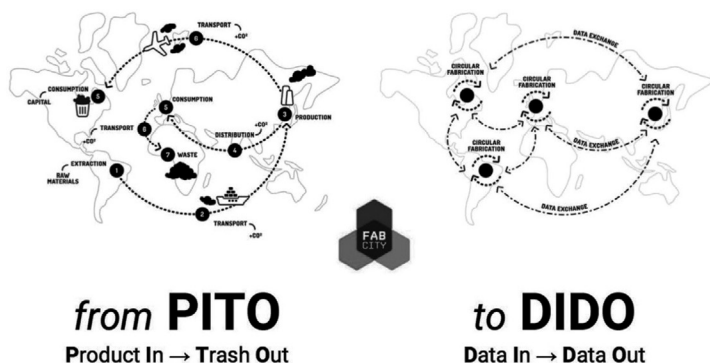


IMAGE 2 : «From PITO to DIDO». Source : Fab City White Paper.

ファブシティ型都市モデルへの転換
Fab City Whitepaper⁷⁾より

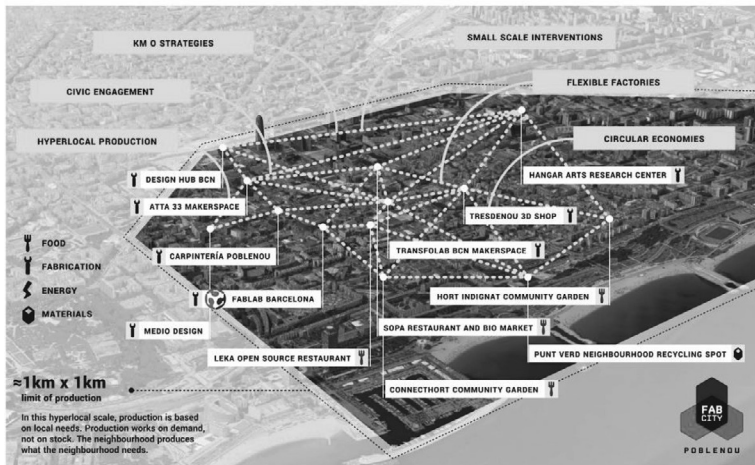
をとらえる視点を持っていた。2011年から2015年までバルセロナ市の都市整備に関するチーフプランナーとしても活動していた Guallart は、その著書「The Self Sufficient City —Internet Has Changed Our Lives But it Hasn't Changed Our Cities, Yet」において、新たな都市像として『「PITO (Product-In, Trash-Out)」型から「DIDO (Data-In, Data-Out)」型』への転換を述べた。

デジタルファブリケーションは、デジタルデータから「直接」ものを製造する技術である。ゆえに、生産にかかる限界費用はほぼゼロに近づく。すなわち、データさえあれば、必要な場所で、必要な時に、必要なものを、必要な人が、必要な量だけ生産する「適量生産」が実現する。これまでの、遠い国の工場で大量生産された「もの」が、二酸化炭素を排出しながら、長い距離を運ばれて輸入され、短期的な使用の後、近傍で廃棄されてゆくモデルを「PITO (Product In, Trash Out)」と呼ぶならば、デジタルデータがインターネットで共有され、ものが使用されるなるべく近くで、その土地の材料を用いて「製造」され、さらにその材料はリサイクル可能な状態となり循環するという新たなモデルは「DIDO (Data In, Data Out)」と呼ばれうる。現在では

THE FAB CITY PROTOTYPE

Poblenou Neighbourhood, Barcelona

A Fab City is a new urban model for locally productive and globally connected self sufficient cities that shifts how cities source and use materials by bringing back production to distributed and smaller scales. More production occurs inside the city, along with recycling materials and meeting local needs through local inventiveness. In Barcelona's Poblenou district, this model is being constructed through an evergrowing web of leaders, makerspaces and citizens.



1km 圏内スケールの、未来のファブシティのイメージ
Fab City Whitepaper⁷⁾より

まだ 3D プリンタ等の技術が発展途上であり、従来の生産工程に比べて品質と製造時間の面で追いつかないものの、3D プリンタが今後も着実に高速化・高性能化し、これまでの工業製品と遜色ない品質を持つようになった近未来には、こうした「ものの地産地消」の状況が顕れる可能性は大いにあり得る。このような技術革新を織り込んだ未来洞察として、オランダの大手金融機関の ING は、「3D プリンティング：世界貿易への脅威」⁸⁾と題されたレポートにおいて、2060 年までに世界貿易の 25% が結果として消失する可能性を具体的に考察している。Guallart は、こうした未来をポジティブに迎え入れるために、バルセロナ市の「ひとつの区にひとつのファブラボ」を整備することを提唱した。ここでのファブラボの役割は、単にものづくり愛好家の集まる場所というよりも広く、「a factory of goods, knowledge, collaboration, exchange and invention (もの、ナレッジ、コラボレーション、交換と発明の生産工場)」とされている。

2.2 Tomas Diez による「FAB CITY」の展開

Vicente Guallart がものづくりや製品開発の文脈ではなく、循環型社会と都市計画の文脈の上でファブラボの役割を再定義したことが端緒となり、それまではどちらかといえば「ものづくり愛好家」が運営・活動する場所であったファブラボに、自治体や公共セクターの人々が本格的に参加しはじめることになった。2014 年に世界ファブラボ会議がバルセロナ市で開催された際に、当時のバルセロナ市長がファブシティ宣言を行ったことから、この機運はさらに大きく高まった。「ファブラボ」を、「住民参加型の新たな都市デザインの社会実装拠点」と位置づけなおし、世界的に展開していく機運が生まれ、賛同する自治体によって、世界規模の情報交換ネットワーク「Global Fab City Network」が立ち上がった。バルセロナ、アムステルダム、パリ、ヘルシンキ、グローニンゲンなどのヨーロッパの主要都市から徐々に輪を広げ、ボストン、ソウル、プータン、ケララ、鎌倉と数を増やした Global Fab City Network は、2018 年「FAB CITY MANIFESTO」をまとめるに至る。そのマニフェストには、各都市の多様性を尊重しながらも、加盟している全都市が共通して目指していく方向を「10 の原則」としてまとめている。

FAB CITY MANIFESTO ファブシティ・マニフェスト

1 ECOLOGICAL (環境保全)

生物多様性を保護し、物質循環のバランスを取り戻し、そして天然資源を保持しながら、ゼロエミッションの未来を目指し、環境への責任に統合的にアプローチする。

2 INCLUSIVE (包括的である)

年齢、性別、所得水準および能力にかかわらず、コモンズ・アプローチの開発を通じて、公平で包括的な政策共創を推進する。

3 GLOCALISM (グローカリズム)

地域の文化やニーズに適応できるツールや解決策へのアクセスを提供するために、都市と地域間の世界的な知識共有を奨励する。

4 PARTICIPATORY (一般参加型)

すべての利害関係者と意思決定プロセスに取り組み、イノベーションと変革の責任を持つように、市民に権限を与える。

5 ECONOMIC GROWTH & EMPLOYMENT (経済の成長と雇用の創出)

社会的・環境的外部効果の徹底的な考察と汚染者負担原則の推進の結果として、21世紀に必要なスキル、インフラストラクチャー、そして政策枠組みの構築に投資することで、持続可能な都市経済成長を支援する。

6 LOCALLY PRODUCTIVE (生産的な地域)

生産的で活気に満ちた都市を築くために、循環型経済アプローチにおける地域のすべての利用可能な資源を、効率的で共有的に利用することを支持する。

7 PEOPLE-CENTRED (テクノロジーよりも人を中心とする)

都市が活気と回復力のあるエコシステムになるように、テクノロジーよりも人々と文化を優先する。自律走行車、デジタルツール、人工知能、およびロボット機器は、人々の幸福と期待に応えるものであるべきである。

8 HOLISTIC (全体的である)

持続可能で回復力のある、包括的な都市をすべての人々のために築くため、あらゆる次元での都市問題と相互依存関係に対処する。

9 OPEN SOURCE PHILOSOPHY (オープンソースの哲学を採用する)

イノベーションを促進して、都市と地域間の共有解決策を開発するために、オープンソースの原則を遵守し、オープンデータを重視するデジタル・commons・アプローチを推進する。

10 EXPERIMENTAL (実験的である)

ここに概説した原則を満たすために、私たちは、以下を含むがこれに限定せず、イノベーションの研究、実験と展開を積極的に支持する。たとえば、負担の少ないサプライチェーン、分散型の生産、再生可能エネルギーとスマートグリッド、持続可能な食料と都市型農業、原料のリサイクルと再利用、エネルギーと食料と原料のための持続可能な資源管理。

これらのコンセプトをもとに、2018年にはTomas Diezによって「FAB CITY —the mass distribution of (almost) everything—」が出版された(日本版は現在未翻訳である)。同時にFAB CITY WHITEPAPERというかたちで、政策パッケージが無償公開された。公開されたWHITEPAPERにおいて紹介された、今後のアクションプランの中心を占めるのが、下記に示す6層からなる、ファブの概念を中心とした都市の「フルスタック・モデル」である。これらの層を独立ではなく、すべてが連携した状態のままプロジェクトを進めることをその特徴であるとしている。

第1層(最下段): デジタルファブリケーション技術の分散インフラ化

人々やコミュニティ、ファブラボやメイカースペース、ハッカースペースといった施設、機械、道具などが広く展開する。

第2層: 「学び」の新しい形式

実際に行ってみる(つくってみる)ことを通じた学び、生涯学習の原則。ファブアカデミー、バイオアカデミー、ファブリカデミーといった遠隔分散型教育、STEAM教育とプロフェッショナル人材の育成。

第3層: 都市イノベーションのための分散インキュベーション

ビジョン策定、都市再活性化のためのオープンソーステクノロジー、「ファブとともに成長する」プログラムをファブラボネットワークのエンジンとして実施。

FULL STACK

The Fab City Global Initiative is envisioning and constructing possible urban futures by working at multiple and interconnected scales.

Cities Network

Shared metrics to evaluate progress towards self-sufficiency in cities. Policy-making, regulation, and planning for regenerative urbanization.

Platform Ecosystem for local needs

Project repositories for urban transformation. Distributed and decentralized repositories and value exchange mechanisms for global collaboration. Fab Chain, the blockchain project to enable distributed design and manufacturing.

Shared Strategies Adapted to local needs

Global programs for urban transformation related to local production and processing of food, energy, water, information, or other production systems. Implementation and deployment strategies by the Fab City Collective, Fab City Prototypes.

Distributed Incubation for urban innovation

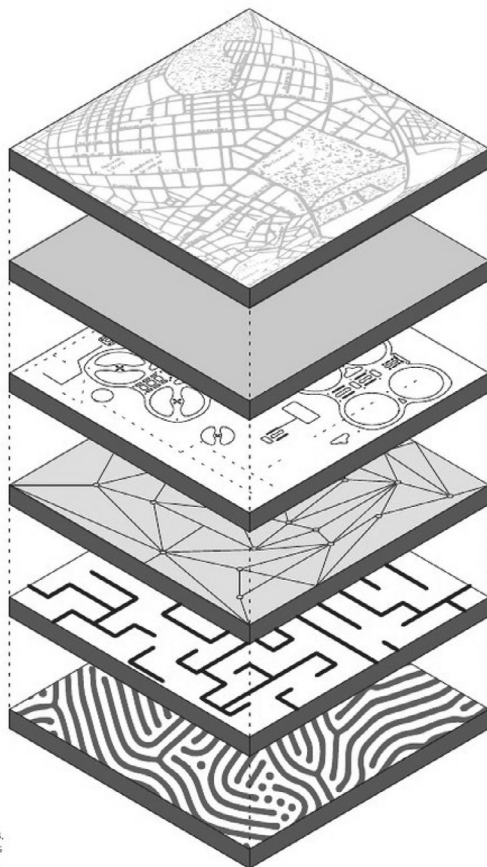
Engage the power of a distributed network of knowledge to envision, design and create open source technology for urban regeneration. "Grow with Fab" program as a distributed accelerator within the Fab Lab network.

New forms of learning

New skills to learn how to learn, learning by doing principles, lifelong learning basis. The Academy of Almost Anything (Fab Academy, Bio Academy, Fabricademy), STEAM education and professional training.

Distributed infrastructure for innovation in digital fabrication

People, communities, spaces (Fab Labs, Makerspaces, Hackerspaces), machines, tools. Thousands of spaces and communities already in place in every major and middle city in the world.



6層からなるファブシティのフルスタック・モデル
[https://fab.city/uploads/Fullstack\(27sep\).pdf](https://fab.city/uploads/Fullstack(27sep).pdf)

#	FAB CITY	country	category	area (km2)	population	density (/km2)	pledged in
1	BARCELONA	Spain	City and municipality	101	1,620,809	16,000	2014
2	EKURHULENI	South Africa	City	1,975	3,178,470	1,600	2015
3	CAMBRIDGE	MA, United States	City	18	105,162	5,700	2015
4	SHENZHEN	China	Sub-provincial city	2,050	12,528,300	6,100	2015
5	BOSTON	MA, United States	State capital city	232	685,094	5,463	2015
6	KERALA	India	State	38,863	33,387,677	860	2015
7	Georgia	Georgia	Country	69,700	3,718,200	54	2015
8	TOULOUSE	France	City??	118	479,638	4,100	2015
9	SOMERVILLE	MA, United States	City	11	75,754	6,900	2015
10	AMSTERDAM	Netherlands	City and municipality	219	851,573	5,135	2016
11	BHUTAN	BHUTAN	Country	38,394	797,765	19	2016
12	SACRAMENTO	United States	State capital and city	259	501,901	1,953	2016
13	PARIS	France	Commune and department	105	2,206,488	21,000	2016
14	OCCITANIE	France	Region	72,724	5,774,185	79	2016
15	SANTIAGO DE CHILE	Chile	City	641	6,310,000	9,821	2016
16	DETROIT	IL, United States	City	370	713,777	1,900	2016
17	BREST	France	Subprefecture and commune	50	144,548	2,900	2017
18	CURITIBA	Brazil	Municipality	431	1,908,359	4,062	2017
19	BELO HORIZONTE	Brazil	Municipality	331	2,502,557	7,563	2018
20	KAMAKURA	Japan	City	40	174,314	4,359	2018
21	PUEBLA	Mexico	State	534	2,499,519	4,678	2018
22	FAB CITY NATURE (VELSEN)	Netherlands	Municipality	63	67,738	1,513	2018
23	SOROCOA	Brazil	Municipality	450	644,919	1,432	2018
24	MEXICO CITY	Mexico	Capital	1,485	8,918,653	6,000	2018
25	SEOUL	Korea	Special City	605	9,838,892	16,000	2018
26	ZAGREB	Croatia	City	641	802,588	1,300	2018
27	OAKLAND	CA, United States	City	202	390,724	2,901	2018
28	AUVERGNE-RHÔNE-ALPES	France	Region	69,711	7,695,264	110	2018

ファブラボ鎌倉がまとめた、FAB CITYの都市と人口規模

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1073F0d6C1j3OqE4hA7HJfukpoplYRz-X1qdXpzPf7CA/edit#gid=55978289>

第4層：戦略をシェアし、ローカルなニーズに適応する

地産地消、食、エネルギー、水、情報その他の生産性と創造性のための都市トランスフォーメーション。ファブシティーコレクティブ、ファブシティープロトタイプによる実装と展開の戦略立案。

第5層：ローカルニーズのためのプラットフォームエコシステム

都市トランスフォーメーションのためのプロジェクトのレポジトリ。分散化され脱中心化されたレポジトリと、グローバルなコラボレーションのための価値交換のメカニズム構築。ブロックチェーン技術を用いたファブチェーンを開発する。

第6層（最上段）：都市のネットワーク

メトリック（物差し）をシェアし、都市のレジリエンスと Self-Sufficiency（自己充足性）への進み具合を互いに評価しあう。都市再生のための、政策立案、規制、およびプランニング。

なお主著者の田中は、2015年に総務省「ファブ社会の基盤設計に関する検討会」の座長を務め、検討メンバーとともに報告書「ファブ社会推進戦略 ～Digital Society 3.0～」を発表した。その中核的な提言として「ファブタウン構想」を掲げていたが、世界の FabCity 構想と方向性を同じくするものであった⁹⁾。

3 Global Fab City Network における具体的なプロジェクト

3.1 市民発ものづくりプロジェクト

Global Fab City Network ではまず、世界中のファブラボのプロジェクトの中で、循環型都市を目指す指向性を持ち、かつオープンソース化され、他の都市でも広く転用可能なものづくりアイデアを、レポジトリとして共有することを進めている。そこで、世界で共有され、分散的に展開している市民発の現在の代表的なプロジェクトとして、プラスチックごみに関連する「Precious Plastic」、都市農業と養蜂に関連する「Urban Farming and Beekeeping」、一人乗りモビリティに関する「Open Source Vehicle」、林業と国内木材の活用に関する「FUJIMOCK FES」の4つを挙げて紹介する。

3.1.1 Precious Plastic

循環型社会の構築のためにプラスチックごみに対する取り組みが世界的に増えてきている。オランダのデザイナー Dave Hakkens は、プラスチックごみを粉碎し、3D プリンタの材料として再利用するための独自の機械を開発し、その設計図をオープンソースとして広く公開している。

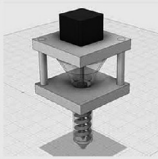
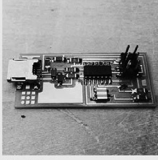
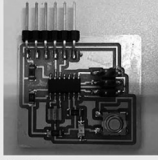
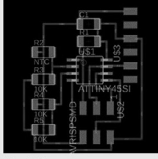
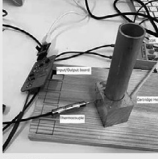


Dave Hakkens によるプラスチックリサイクル機械¹⁰⁾

日本でも、鹿児島などの島々では、海のプラスチックごみが深刻な課題になっている。鹿児島県南さつま市にある廃校になった小学校を改修して作られたダイナミックラボ（ファブラボ）では、上述の Precious Plastic の YouTube ページの翻訳や、機材製作、プラスチックごみから作られたプロダクト販売などに取り組んでいる。また神奈川大学平塚キャンパス内にあるファブラボ平塚でも、海辺のプラスチックごみを集め、溶かし、作品制作ができる工作機械が製作されデータや作り方も公開されている。

同じく海に面した鎌倉では、2018 年に鎌倉材木座・光明寺をメイン会場に 2 日間にわたって開催されたイベント「鎌倉 海のアカデミア」において、鎌倉在住のクリエイターを中心にアートイベントを開催する NPO 法人ルートカルチャーとファブラボ鎌倉の連携により、鎌倉材木座の海辺での採取物から 5mm 以下のマイクロプラスチックを実際に取り除くワークショップが開催された。作業をすることで、細かく粉碎されたプラスチックがどれだけ生態系に入り込んでいるかを体験し、実際に海で起こっている状況を理解することを目的としている。

daisuke.doyo Fab Academy 2018

assignments		final project footprint		about me	
Assignments					
					
Week1 Principles and Practices	Week2 Project Management	Week3 Computer Aided Design	Week4 Computer-Controlled Cutting		
					
Week5 Electronics Production	Week6 3D Scanning and 3Dprint	Week7 Electronics Design	Week8 Computer-Controlled Machining		
					
Week9 Embedded Programming	Week10 Molding and Casting	Week11 Input Device	Week12 Output Device		

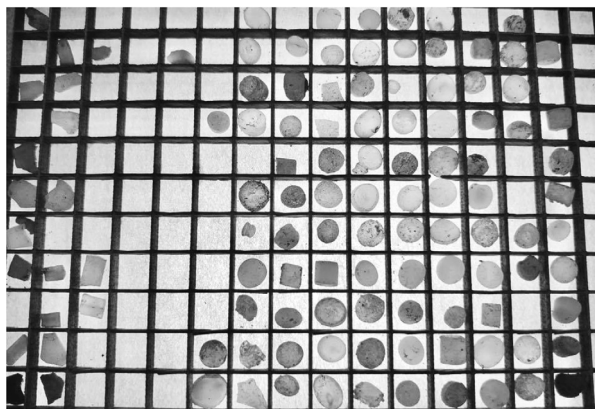
ファブラボ平塚、道用氏による作品：海のプラスチックごみから作品を作るための装置
<http://archive.fabacademy.org/2018/labs/fablabkamakura/students/daisuke-doyo/>

他方、このようにして回収されたプラスチックを、即 3D プリントの素材として利用できるかといえ、そこには技術的課題が存在する。まず、融点の異なる複数種類のプラスチックが混ざっている場合には、熱溶解が安定しない。また、「粒」の大きさが不揃いであるため、一定径のフィラメントが作りにくく、ノズル詰まりが頻繁に発生する。これらの理由により、3D プリント成功率は非常に低いままになっている。

筆者らの研究室では、この問題を緩和するため、通常の 3D プリントでこれまで良く使われてきたリール式の「フィラメント」ではなく、プラスチックを 3～5mm 程度の粒子状にした「ペレット」を用いた大型 3D プリントを開

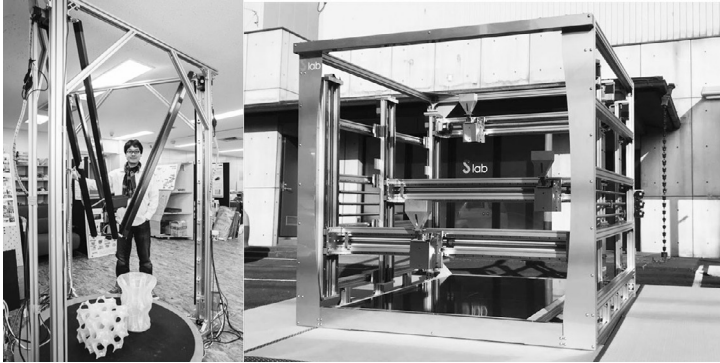


来場した子供達と一緒に、マイクロプラスチックをピンセットで採取する



レーザーカッターで作成された、5mm × 5mm のマイクロプラスチック格納ケース

発してきた。複数種類の材料が混ざった状態であっても、正しい温度と速度の設定値を見つけさえすれば、3D プリントすることは可能である。たとえば、使用済み歯ブラシをペレット状にした材料(テラサイクル社の提供による)から3D プリントを行ってみたところ、比較的シンプルな形状であれば次の写真のように造形することができた。しかしながら精度の問題は残っており、かつ複雑な形状は3D プリントできないなどの課題も多く残っている。Precious



筆者らの研究室で開発中のペレット式大型 3D プリンタ ArchiFAB I, II



使用済み歯ブラシペレットからの 3D プリント例
(田中浩也研究室 立川博行、秋元海人による)

Plastic のテーマに関して、今後は、3D プリント技術の向上を続けながらも、同時に、別アプローチとして、現在の品質と制約の中でも社会的価値を帯びうる応用先を、新領域デザインの課題として発見していく必要がある。

3.1.2 Urban Farming and Beekeeping

これまで「農地」を遠ざけてきた「都市」に、再び分散的に小さな農地を配する「都市農業」というコンセプトが世界的な運動となりはじめており、パリ、ロンドン、ニューヨーク、バンクーバー、ロッテルダムなど、ビルの隙間に市民農園が目立つ都市も増えてきている。日本でも、都市農業振興基本法が2015年に施行された。都市農業の主要な目的は、1. 新鮮で安全な農産物の供給、2. 身近な農業体験・交流活動の場の提供、3. 災害時の防災空間の確保、4. やすらぎや潤いをもたらす緑地空間の提供、5. 国土・環境の保全、6. 都市住民の農業への理解の醸成、の6点であるといわれる。しかし課題は、一般的に多忙を極める現代の「都市生活」と、自然を相手にする農業をどのように接続できるかにあり、そこにはIoTやロボティクス技術の応用が欠かせない。また、農業の特徴に品種や栽培法の多様性がある。こうしたローカルなニーズにテクノロジーで応えていくところに、ファブラボの役割を見出そうというプロジェクトがある。

世界のファブラボネットワークでは、家庭菜園サイズの畑を管理し、種植え、水やりから、画像認識による雑草の検出、雑草の駆除までを行い、リモート

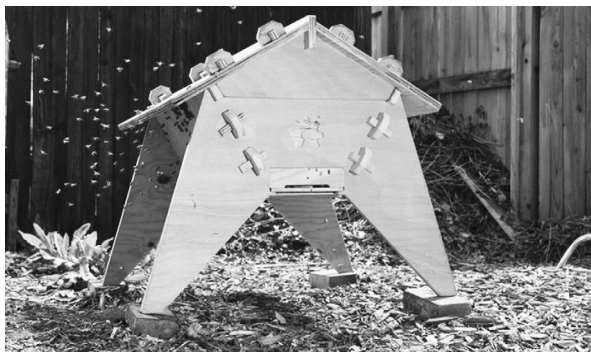


筆者の自宅の庭に設置されたオープンソース農業用 CNC “FarmBot”

制御も可能なロボット (Farmbot や LettuceThink) の導入が進んでいる。これらのロボットは市販の製品でありながら、同時に設計図がオープンソース化されており、育てたい作物の種類や、実験してみたい農法などに応じて、個人がソフトウェアとハードウェアのどちらをも改造することができる。国内ではファブラボ瀬戸内で実験が進んでいるほか、主著者の田中は自宅の庭に Farmbot を設置して 2018 年より栽培実験を行っている。

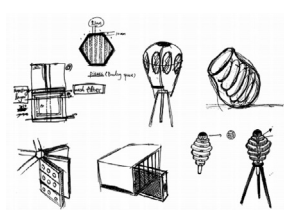
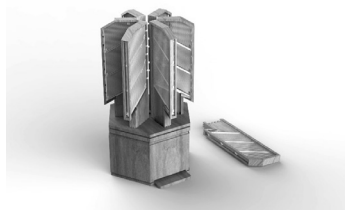
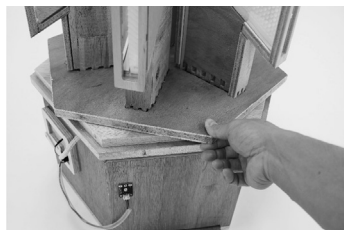
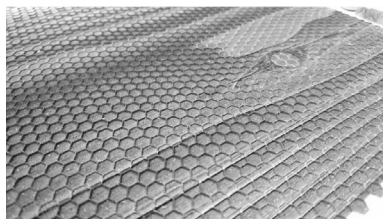
Farmbot では、3 次元的に移動可能な CNC フレームで種を植えるため、苗の位置が座標値 (x,y) データとして管理される。そして、それぞれの種に合わせた量の水を、プログラムされたタイミングで与えることができる。この特徴のため、小さな菜園であっても、多くの種類の野菜を同時に植えて、それぞれに精密な栽培を行うことができる。また、畑に生えてきた「緑」を、一定間隔で画像検出で読み取り、仮にそれがもともと記録されていた種の位置 (x,y) と異なる座標値であれば、「雑草」と判断し駆除することができる。Farmbot の様子はウェブカメラを用いて中継されており、外出先でも常に確認することができる。

Farmbot と併せて、野菜の受粉のためには蜂の存在が欠かせないが、都市で養蜂を行うためのキットとして、“Open Source Beehive” がファブラボ・バルセロナで作成され、公開されている。



ファブラボ・バルセロナによる Open Source Beehive

蜂もまた、地域によって胴サイズの大小があり、また設置場所に応じて箱のデザインにも工夫を凝らす必要がある。日本国内では国内の蜂にジャストフィットした Beehive Kit のデザインが田中浩也研究室の Rafael Chen によって試みられ、ベランダにも置けるモデルとして台湾でも広められた。



Beehive Kit (慶應義塾大学田中浩也研究室 Rafael Chen らによる)

3.1.3 Open Source Vehicle

ハードウェアの概要・設計・実装などの情報をインターネット上で公開するものを「オープンソースハードウェア」と呼ぶが、電気自動車のなかにもオープンソースハードウェアとなったものがある。そのうち、OSVehicle (現 Open Motors) は、ファブラボとも関連が深く、ファブラボに備わった機材 (木工用の CNC ミリングマシンなど) で座席やボディなどを自由に加工・変更ができるものとして設計された。日本国内では、このプロジェクトに刺激を受けた多摩市在住の倉本義介氏が、ファブラボ浜松等を訪問しながら、自作の電動車椅子 (ファブスクーター) を開発している。

倉本氏は実際にこのファブスクーターを日々使用されているが、ある日タイヤがパンクするトラブルに見舞われたという。そこで、田中浩也研究室では、軟質材料の 3D プリンティング技術を用いて、パンクのない「エアーレス・タ



OSVehicle



倉本義介さんによる自作の「ファブスクーター」

イヤ（空気を充填することなく、構造フレームと軟質素材で必要な弾性を確保したタイヤ）」をつくる研究を開始した。現在このタイヤは倉本氏によって実験使用中である。また、SFC の大前学研究室とのコラボレーションによって、自動運転車の外装を、3D プリントした柔らかい膜素材でインフレータブル（膨張可能）デザインとし、周囲の歩行者に安心感を与えるための研究開発を進めている。金属のフレームや木製のボディに、3D プリントされた柔らかい素材でタイヤや外装を与えることで、さまざまなデジタルファブリケーション技術が組み合わせられたヴィークルがつくられつつある。

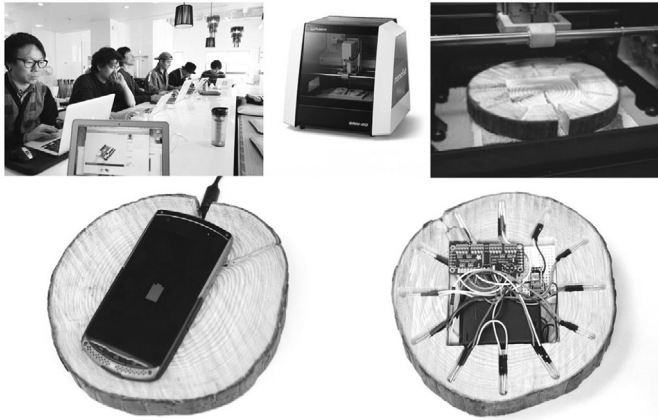
3.1.4 ファブラボ鎌倉による林業への取り組み

国土面積の約3分の2が森林である日本発の取り組みとして、木材関連のプロジェクトが世界から注目されている。ファブラボ鎌倉では、2012年より日本国内における自然学校の草分け的な存在「ホールアース自然学校」と現役の若手木こりの方々と連携した取り組み「フジモックフェス (FUJIMOCK FES)」を開催してきた。この取り組みは、富士山に出かけ、木材の間伐からデジタルファブリケーションを用いた試作品づくりまでを、参加者自身が体験し、自分たちで間伐、製材、制作、発表を行うものである。



富士山セッション：木材を切り出す様子

まず、富士山麓のヒノキの生態系をフィールドワークし、どの木を伐採すべきかから考えていく。現役の木こり、樹木医などが関わり、森の見方を伝える。なぜ森を管理するために木を切るかを理解していきながら、どのような生育状況なのかも説明を受ける。



鎌倉セッション：データ作成方法を学んでいる様子
制作作品：ワイヤレス充電木（実際に使用できる）

鎌倉セッションでは、伐採してきた木材をもとに、参加者はアイデア出しから、アイデアスケッチ、レーザーカッター、CNC ミリングマシンなどを使用するための 2D、3D デザインデータ作成方法を学習していく。持ち帰った間伐材の乾燥、製材、加工を行い作品を作り上げていく。

2012 年から始まったフジモックフェスには、これまでにのべ 170 名ほどが参加している。中にはこれがきっかけとなって起業に至ったケースもある。2014 年、会社を早期退職した金属加工を専門にしていた今西知宏氏は、本プログラムに参加し、伐採した木材を丁寧に観察していた過程で、割れない丸太の製造方法をデジタルファブリケーション技術を用いて発見した。特許取得後、今西氏は起業し「KinoWa」(キノワ) というブランドを立ち上げている。KinoWa の製品は、国内外の飲食店やケータリングで利用されたり、結婚式



フジモック フェスで作成された作品：<https://www.fujimockfes.org/works>

の引き出物などにも使用されている。2018年にファブラボ鎌倉を訪問したブータン王国の首相ツェリン・トブゲー氏にも、KinoWaの木皿が贈呈された。

フジモック フェスで今西氏が発見した製造方法は、北鎌倉の里山保全でも活用されている。北鎌倉で里山保全活動する北鎌倉湧水ネットワークと連携したプロジェクトとして、間伐材からお皿やお箸が作られ、「カマクラキコリス」としてブランド化され販売もされている。



KinoWa WEB サイト：今西氏が立ち上げたブランド オンラインから木皿を購入できる
<http://la-muga.com/>

鎌倉でも林業や里山を取り巻く環境は担い手不足などもあり、管理が行き届かず深刻な状況になりつつある。そうした状況に体験型のプログラムを通じて、興味を持つ機会提供を行っている。丸太スツールを作った参加者は、ワークショップをきっかけに北鎌倉の里山保全に興味関心を持ち、後日間伐した山に足を運びはじめている。このような林業関係のプロジェクトは、バルセロナでも「グリーンファブラボ」と呼ばれ、世界でもいくつか存在するが、



北鎌倉の里山から間伐材を切り出す様子



イベントの様子：「木と話そう」北鎌倉の間伐材で作る丸太スツールワークショップ

本格的な連携はこれからである。

3.2 ファブシティと連携する都市レベルの政策

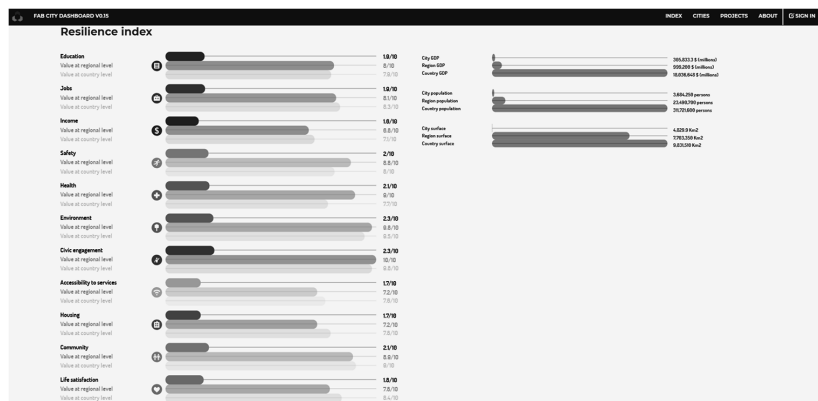
市民のものづくりプロジェクトが大半であったファブラボが、自治体や公共セクターとの接点が深くなったことで、大きな目的と方向性を合わせて都市レベルの大きな政策が展開する例も生まれ始めている(この点が、従来の「ファブラボ」と「ファブシティ」との質的な違いである)。バルセロナでは、バルセロナ都市生態学庁の主導で、「スーパーブロック」プロジェクトが進行している。車両による大気汚染と騒音を問題視するところから始まったこのプロジェクトは、グリッド状の都市の9つのブロックをひとつの「スーパーブロック」として定義し、自動車やバスなどはスーパーブロックの周囲の通りだけに制限、そのなかの通りは住民とその地域にあるビジネスに関連する自動車だけが利用できるよう制度を変更した。そうすることでスーパーブロックのなかの通りと交差点が、人々のパブリック・スペースとして利用されるようになる。そこには、遊具や、植生プランター、ベンチなどが新たに置かれ、市民の新たなアクティビティが発生する。これらの遊具や家具のなかにはファブラボ・バルセロナでつくられたものもある。また、このスーパーブロック

プロジェクトの効果自体が、住民参加型で議論が続けられている。市民と自治体それぞれの立場からの高度な連携であり、パルセロナ都市生態学庁はデータ・サイエンスを駆使してこれらの都市を科学的にモデル化することに取り組んでいる（データの活用については4章で後述する）。また、都市の公共空間という視点で見れば、パリで最も有名な公園「ラ・ヴィレット公園」のフォリー（小型建築物）のひとつにはFabLabが設置されており、2018年には期間限定ではあるが、ラ・ヴィレット公園で都市農業技術のデモンストレーションが行われた。都市のパブリック・スペースが市民に開放され、そこで新たな活動を市民が提案し、その活動を実現するために必要なアイテムがファブラボで制作される、という新しい連携が今後も期待される。

3.3 自治体間の連携によるアセスメント・プロジェクト

第2章で紹介した「フルスタック構想」の第6層（最上段）には、都市間ネットワークによる活動として、「メトリック（物差し）を共有し、都市のレジリエンスと Self-Sufficiency（自己充足性）への進み具合を互いに評価しあう」ことが掲げられている。

現在、ファブシティ・ネットワークに参加している都市について、OECDが公開している地域ごとの「ウェルビーイング」指標（Education、Jobs、Income、Safety、Health、Environment、Civic engagement、Accessibility to services、Housing、Community、Life satisfactionの11項目からなる）をそのまま採用し、一目で相互比較ができるようなインターフェイス「Fab City Dashboard (<http://dashboard.fab.city/>)」が実装されている。これはまだ初期の状態であり、最終的にはOECDの指標のみではなく、都市のウェルビーイングにかかわる独自のメトリック（物差し）が自治体や市民、ファブラボのコラボレーションのなかからボトムアップ的に生まれてくることが期待される。各自治体の公開するオープンデータや、IoTを用いた市民参加型のセンシングはそのための有力なデータソースになると議論がされている。この点については4章で述べる。



現在のFabCityDashboardのインターフェイス

4 ファブシティの今後の展開

4.1 SDGs とファブラボ

ファブラボの活動はその起源から、低価格化したデジタル工作機械を用いて、市民ひとりひとりがアイデアを形にすることを支援し、大量生産・大量消費・大量廃棄型のものづくりとは異なる別種の物質文化（地産地消、適量生産、ローカルニーズの反映）を構築することを目指してきた。その意味では、ファブラボの精神はSDGsの「目標 12：つくる責任・つかう責任～持続可能な消費と生産のパターンを確保する（Ensure sustainable consumption and production patterns）」そのものである。また、海洋プラスチックごみの取り組みが「目標 14：海の豊かさを守ろう」に、林業への取り組みが「目標 15：陸の豊かさを守ろう」に対応していることは明らかである。近年になって「ファブシティ」や「鎌倉資本主義」の構想が立ち上がり、「目標 11：住み続けられるまちづくりを～都市と人間の居住地を包摂的、安全、レジリエントかつ持続可能にする（Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable）」ともスコープが重なりつつある。

しかし、SDGs へのコミットメントにおいて重要なのは、目標達成に向けてその歩みが進んでいるかどうかを、ある物差し（メトリック）に照らし合わせて、事実（ファクト）として観測・定量化することである。バルセロナでは、バル

セロナ都市生態学庁が中心となって、都市から取得したビッグデータを最大限活用し、新たな取り組みとその効果の測定を同時に行う仕組みがかねてより整備されてきた。デジタル技術を用いてこれらの活動を徹底的にデータとして「測る」指向性が、今後日本でも重要となってくることは間違いない。

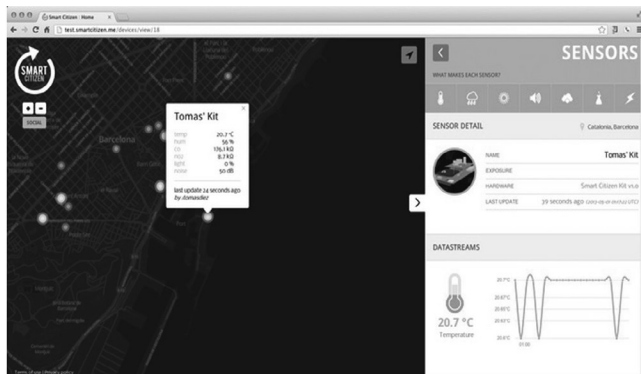
すなわち、「データ・セントリック」な都市やまちの捉え方、そして「データ・ドリブン」に次なる活動の方向を定め、修正していく意思決定の仕組みを、これまでファブラボが育んできたデジタル・ファブリケーション技術と接続できるかどうか、ファブシティを実現するにあたっての鍵となる。本節では、それに向けての具体的な取り組みを「参加型センシング」「情報の触れる化」「都市の3D スキャニング」の3点にまとめ、デジタルデータ（ビッグデータ）の利活用を中心としたデジタル・トランスフォーメーションが進む現代社会における、ファブラボの新たな役割とファブシティの方向性をまとめる。

4.2 参加型センシング

人々が持つ携帯端末や、車・公共物に取り付けられたセンサーから情報を取得する“参加型センシング”¹¹⁾は、ファブラボの活動とも親和性が高い活動である。Smart Citizen Sensor Kit は、ファブラボ・バルセロナによって開発された Arduino ベースのセンサキットであり、騒音、温度、湿度、光度、NO₂



Smart Citizen Sensor Kit



Smart Citizen Sensor Kit から取り出されたデータを共有するプラットフォーム
<https://smartcitizen.me/kits/>

(二酸化窒素)、CO (一酸化炭素) の 6 つのセンサで環境の状態を測り、それを地図上にリアルタイムにプロットして可視化、互いに共有するプロジェクトである。オープンソースとして公開されており、日本でもファブラボ関内(横浜市) で試験的に運用されている。

2017 年にファブラボ鎌倉では、Smart Citizen Sensor Kit に触発され、「海洋版の Smart Citizen センサ」として、センサーを取り付けたサーフボードが自作された。



surFABOARD

Jun Kawahara
 FABACADEMY

is a citizen science platform that gathers oceanographic data to monitor the ocean health.

processes:

- computer-controlled machining
- molding and casting
- 2d/3d design
- 3d printing
- PCB design
- composite



features:

- having fun with surfing
- GPS and temperature sensor (input)
- data logging in SD card and LED strips (output)



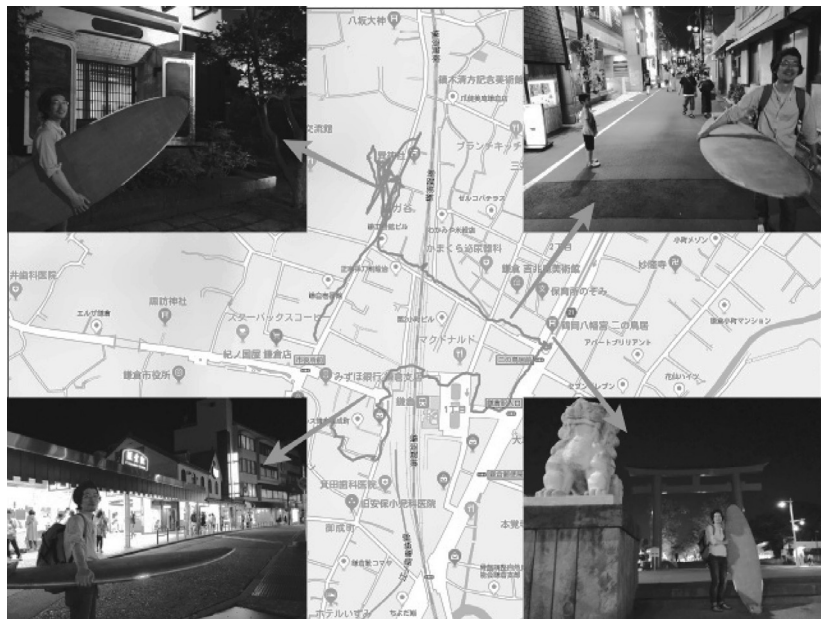
FabLab
 kamakura

メニューを参照 (options*)							
100% 123 Arial 10 B I U A							
fx							
	A	B	C	D	E	F	G
1	TEMPERATURE	YEAR/MONTH/DAY	HH:MM:SS	LATITUDE	LONGITUDE		
2	22.00	2018.6.1	19.5.31	35.319859	139.54884		
3	22.25	2018.6.1	19.5.34	35.319889	139.54883		
4	22.00	2018.6.1	19.5.37	35.319939	139.54886		
5	22.25	2018.6.1	19.5.40	35.319969	139.54886		
6	22.00	2018.6.1	19.5.43	35.320004	139.54887		
7	22.25	2018.6.1	19.5.46	35.320034	139.54889		
8	22.00	2018.6.1	19.5.49	35.320061	139.5489		
9	22.00	2018.6.1	19.5.52	35.320095	139.54892		
10	22.00	2018.6.1	19.5.55	35.320126	139.54895		
11	22.00	2018.6.1	19.5.58	35.320164	139.54898		
12	22.25	2018.6.1	19.6.1	35.320194	139.549		
13	22.25	2018.6.1	19.6.4	35.320221	139.54901		
14	22.25	2018.6.1	19.6.7	35.320267	139.54904		
15	22.25	2018.6.1	19.6.10	35.32029	139.54909		
16	22.25	2018.6.1	19.6.13	35.320328	139.54912		
17	22.25	2018.6.1	19.6.16	35.320339	139.54912		
18	22.25	2018.6.1	19.6.19	35.32037	139.54913		
19	22.25	2018.6.1	19.6.22	35.320408	139.54916		
20	22.00	2018.6.1	19.6.25	35.320477	139.54922		
21	22.00	2018.6.1	19.6.28	35.320515	139.54929		
22	22.25	2018.6.1	19.6.31	35.320572	139.54933		
23	22.25	2018.6.1	19.6.34	35.320595	139.54933		
24	22.00	2018.6.1	19.6.37	35.320629	139.54936		
25	22.25	2018.6.1	19.6.40	35.320656	139.54938		
26	22.25	2018.6.1	19.6.43	35.320686	139.54941		
27	22.25	2018.6.1	19.6.46	35.320724	139.54944		
28	22.00	2018.6.1	19.6.49	35.320747	139.54944		

鎌倉市内を作成したセンサー付きサーフボードを持って採取したデータ

すでに誰もが所有しているスマートフォンでセンシングに参加することが、現代最も敷居が低いことは疑うまでもないが、他方、環境を測るためには、現在スマートフォンには備わっていないセンサを用いることも必要であり、その際には独自デバイスを制作する必要がある。ファブラボにはその制作に貢献できる環境がある。特に、近年進歩した3Dプリント技術を用いることで、防水パッケージや、特殊なアタッチメントをつくることができる。また、使用者自身がワークショップに参加して自分たち自身が使うセンサデバイスをつくることや、特定コミュニティ向けに特別につくられたデバイスが限定的に配布されることは、センシングへの参加意識を高める効果も期待される。今後、さらに身にまとうアイテム等に適切なセンサが封入され、コミュニティとしてまちを測る活動が活性化することが期待される。

こうした活動が、ファブシティのメトリックを市民からボトムアップに提案することに発展することが期待される。現在のFab City Dashboardは、



鎌倉市内を作成したサーフボードを持ってセンサーテストをしている様子
<http://archive.fabacademy.org/2018/labs/fablabkamakura/students/jun-kawahara/project02.html>

OECD の Well-Being 指標が暫定的に使用されたものに過ぎない。ファブラボに期待されているのは、実際にセンサや IoT 技術を組み合わせて、試行錯誤するなかから、都市を測るための新しい「データ取得デバイス」そのものを発想・実装し、それを多くの市民に配布して取得・蓄積していくデータの集積が、これまでになかった都市を測る物差し（メトリック）にもなっていくという、イノベティブな提案の連鎖である。

4.3 情報の触れる化

参加型センシングによって市民からのデータ収集を促す一方で、自治体による「オープンデータ」の整備も進んでおり、それらを用いたデータ視覚化やアプリ開発のハッカソン・メイカソンなどの活動は全国で勃興している。しかしながら、プログラマやハッカー以外の市民からの参加は依然として難



ワークショップ内での課題を検討している参加者

しく、新たな関わりしろが求められている状況にもある。そこでファブラボ鎌倉では、2014年に、横浜市およびNTTデータ経営研究所と連携して「情報の触れる化」ワークショップを開催した。横浜市の公開しているオープンデータをカテゴリー別に分けて整理し、それらの数値データをもとに、より実感を持ちうる「フィジカル」な模型や地図へと変換する。PC上のビジュア



観光人口データの流動を触れる化したチーム



ゴミデータを元に、実際に排出されたゴミを使用して作られたインスタレーション

ライゼーションのようにインタラクティブに操作できる動的な側面は損なわれるが、他方、「データ」を「もの」に変換することで、市民誰でもが、手に取って問題を考える「展覧会」を開催することができる。近年注目されている「データで絵を描く！データ・ビジュアライゼーション」講座¹²⁾等と連携しつつ、今後もこうしたワークショップを展開していく計画である。

4.4 都市空間の高解像度 3D スキャニング

都市やまちへの愛着を育む正統的な方法として、市民参加型の地図作成がある。近年、Google Map の市民版ともいえる Open Street Map、Google Street View の市民版ともいえる Mapillary などの広がりによって、自分たちのまちや地域を自分たちでデータを集めて地図化する活動が活性化している。

一方、ファブラボでは、3D プリンタと対をなすツールとして 3D スキャナをかねてより利用してきており、それをより広域の都市レベルに展開するものとして、Lidar を中心としたレーザー 3D 測量技術をとらえることができる。小型の Lidar を用いてまちをスキャンすれば、局所的であっても解像度の高い 3D データを取得することができる。下図は筆者が地上から 3D スキャンした、SFC のキャンパスの様子である¹³⁾。まちの高解像度な 3D データは、今後、

車椅子や、宅配ロボット、ドローンなどが安全にまちで航行するために利用することができる。たとえば、車椅子で登ることのできる段差は一般に 5cm ～ 7cm と言われるが、1cm 解像度の 3D 地図があれば、段差なく移動することのできるエリアを計算し、自動的に発見することができる。



<http://fab.sfc.keio.ac.jp/sfcdrone2/>¹³⁾に公開

ファブラボは、3D プリンタや 3D スキャナの利用を通じて、「3D データ」の処理や変換に関する高い技術を蓄積してきた。そうした 3D の扱いを、「プロダクト」スケールから、空間スケール、街スケール、都市スケールと広げることができれば、総合的な 3D デジタル空間のプラットフォームの担い手となり、新たなまちの姿を検討していくことができるようになる。現在、このような活動をしているファブラボは世界でも多くはないが、今後、地図コミュニティや、自動運転コミュニティとの接点として、3D 都市データを核とした活動が芽生えることを期待したい。筆者の研究室でも高解像度 3D データと、誰もが参加できる 3D データ取得デバイスに取り組んでいく計画である。

5 おわりに

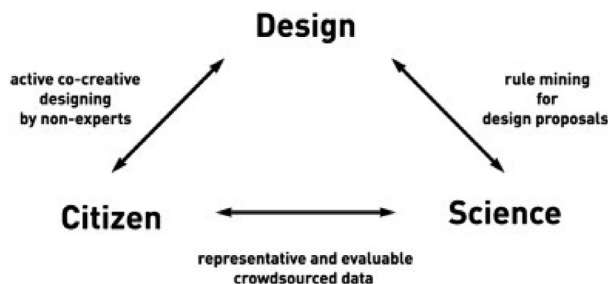
ファブラボでは、2010 年頃より、3D プリンタやレーザーカッター等のデジタル工作機械、Arduino 等の電子工作キット、3D モデリングソフトウェアなどが導入され、「デジタルな世界」と「フィジカルな世界」の接点をつくりだ

すような創造がなされてきた。その可能性は、これまで「ものづくり」という概念で語られてきたが、本来の可能性から見れば非常に限定的な捉え方であり、その本質は十分には語られてこなかった。

2018年にパリで開催された第1回・世界ファブシティ・サミットを新たなはじまりとして、循環型社会形成に向けたファブラボの役割の再設定が行われ、世界的にも発展的な活動へのシフトが進んでいる。日本でも環境志向・循環型社会志向の活動はこれまでも存在したが、コンセプトを伴って文章として整理されることはなく、概念整理が不十分であった。

そこで本稿では、世界のファブシティの潮流を確認しつつ、日本でも進行中のプロジェクトを紹介し、これからのファブシティそしてファブラボの行く末についても素描した。特に4章では、SDGsとデジタルファブリケーションをめぐる今後の展開として、「データ・セントリック」なまちの捉え方と、「データ・ドリブン」なプロジェクト構築およびマネジメントの重要性に触れ、今後の重点的な取り組みを3点にまとめた。

このように、デジタルデータとデジタル技術を介して市民、科学、デザインの3者の新たな関係性を構築する取り組みは、チューリッヒ連邦工科大学(ETH)において「Future Cities Laboratory」を主宰するGerhard Schmitt氏によって「Citizen Design Science」と名付けられ、モデル化が進んでいる¹⁴⁾。



「Citizen Design Science: A strategy for crowd-creative urban design」¹⁴⁾より抜粋

しかし真の実践はこれからであり、日本から学術的に貢献できる余地も多く残されていると言える。今後、本稿で整理した方向性をもとに、利用可能な技術カタログを再度整理し、ファブシティ鎌倉を展開していくと同時に、日本において他の都市がファブシティとなることを支援する。それを通じて、2020 年以降のファブラボが、単なる「ものづくりの場所」ではなく、むしろ無駄なものは減らしながら、持続的な社会の仕組み構築のため、市民と行政、大学が共創するナレッジ・タンク、ドゥ・タンクとして発展していくことを先導したいと考えている。

引用・参考文献

- 1) 「[2018 年版] 日本のファブ施設調査——成長期から成熟期へ移行」https://fabcross.jp/topics/research/20181204_fabspace.html (2019 年 7 月 11 日アクセス)
- 2) Neil Gershenfeld 著、田中浩也監修、糸川洋翻訳 (2012) 『Fab —パーソナルコンピュータからパーソナルファブリケーションへ』オライリージャパン。
- 3) 田中 浩也 (2012) 『FabLife —デジタルファブリケーションから生まれる「つくりかたの未来」』オライリージャパン。
- 4) 田中浩也、門田和雄編著 (2013) 『FAB に何が可能か「つくりながら生きる」21 世紀の野生の思考』フィルムアート社。
- 5) 田中浩也、益山詠夢、青木翔平 (2017) 「プロトタイピングを中心としたデザインプロセスにおける「推進力」と「展開力」の諸問題—「Cultural Exciter」概念を参考として」『KEIO SFC JOURNAL』17(1), pp. 30-50.
- 6) 柳澤大輔 (2018) 『鎌倉資本主義』プレジデント社。
- 7) Fab City White Paper: https://www.cowork.org/data/cowork/user_upload/Dateien/Tomas_Diez_whitepaper_fablab_barcelona.pdf (2019 年 7 月 11 日アクセス)
- 8) “3D printing: a threat to global trade-Locally printed goods could cut trade by 40%” https://think.ing.com/uploads/reports/3D_printing_DEF_270917.pdf (2019 年 7 月 11 日アクセス)
- 9) 総務省情報通信政策研究所「ファブ社会推進戦略～ Digital Society 3.0 ～」http://www.soumu.go.jp/main_content/000361195.pdf (2019 年 7 月 11 日アクセス)
- 10) Precious Plastic <https://preciousplastic.com/> (2019 年 7 月 11 日アクセス)
- 11) 米澤拓郎、坂村美奈、徳田英幸 (2013) 「センサネットワークと参加型センシングの統合アーキテクチャに関する一検討」電子情報通信学会ヒューマンプロブ研究会 (HPB), Jun.2013.
- 12) <https://visualizing.jp/> (2019 年 7 月 11 日アクセス)
- 13) <http://fab.sfc.keio.ac.jp/sfcdrone2/> に公開中。なお、<http://fab.sfc.keio.ac.jp/sfcdrone/> には、武田圭史研究室によってドローンから取得したデータを変換して公開している。
- 14) Mueller, J., Lu, H., Chirkin, A., Klein, B., Schmitt, G. (2018) “Citizen Design Science: A strategy for crowd-creative urban design”, *Cities*. 72(A), pp. 181-188.

[受付日 2019. 2. 5]