

眼科領域における僻地医療とデジタルファブリケーション Smart Eye Cameraを例として

横岩 良太^{*1} 中山 慎太郎^{*1,*2} 清水 映輔^{*1,*2,*3}

^{*1} OUI Inc., 東京都港区南青山2-2-8 DFビル510, info@ouiinc.jp

^{*2} 慶應義塾大学医学部 眼科学教室, 東京都新宿区信濃町35

^{*3} 横浜けいあい眼科, 神奈川県横浜市保土ヶ谷区和田1-11-17 2F

キーワード: 眼科, Smart Eye Camera, 3Dプリンター, 僻地医療

1. 緒 言

世界では人口の半数が僻地あるいは遠隔地に居住しており、貧困状態にあるとされる14億人の人々に限れば、その約70%である約10億人が僻地に住んでいる。医療提供者は都市部に集中する傾向があるため、これらの僻地においては医療施設が不足しており、特に貧困状態にある住人においては医療へのアクセスが閉ざされている⁽¹⁾。

診察に高価な光学精密機器を要する眼科領域においても、僻地では眼科医と診察機器が共に著しく缺乏している。この問題を受けスマートフォンアタッチメント型細隙灯顕微鏡, Smart Eye Camera(以下SECと表記)がOUI Inc.によって開発され、僻地での眼科診察で成果を上げている⁽²⁾。

一方、プロダクトそのものの製造に目を向けると、SECは主にデジタルファブリケーションを用いて製造されており、3Dプリンターやレーザーカッターといったデジタル工作機器を備えた場所であれば、世界のどこであっても作製可能であるという特徴を持つ。僻地を含む、125以上の国に2500以上のFabLabと呼ばれるデジタル工作施設が存在している今日⁽³⁾、これは即ち医療から断絶された僻地において医療機器を製造し、現地に医療アクセスを開くのみならず、医療機器製造という産業が発生する可能性をも意味する。その可能性について本稿ではブータンでの事例報告を中心に述べる。

2. SEC(Smart Eye Camera)について

SEC(図1)は清水映輔医師らの途上国における眼科診療経験から考案された医療機器(医療機器番号 13B2X10198030101, 13B2X10198030201)であり、既存の据え置き型細隙灯顕微鏡を小型のスマートフォンアタッチメントで置き換えるものである。小型軽量で取り扱いが簡単であるだけでなく、スマートフォンのカメラと通信機能を用いて遠隔診療を行うこともでき、これにより眼科医不在地域での診察を可能とする。



Fig.1 SEC attached to a smartphone

SECは一部のレンズを除けば、3Dプリントと入手性の良いプラスチックのレーザー加工で作製することができる。3Dプリントに関してはその方式を問わない為、FDM, SLA, JetFusion方式と安価な3Dプリンターからハイエンドなものまで様々な機種での製造実績がある(図2)。

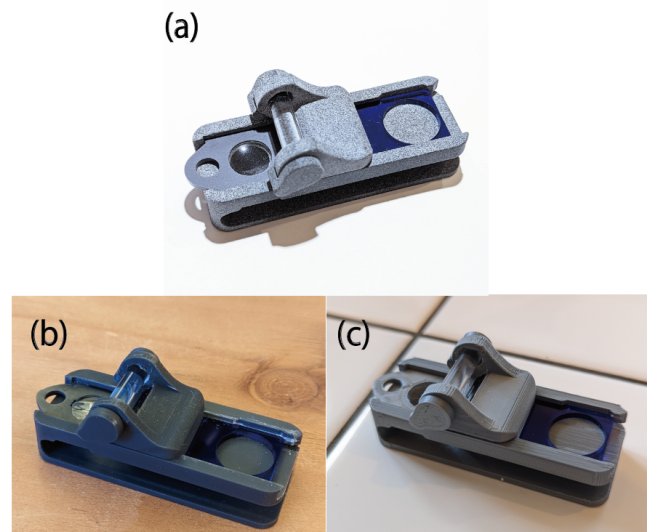


Fig.2 SEC made with three types of 3D printers

(Made with (a)JetFusion,(b)SLA,(c)FDM)

3. デジタルファブ리케이션とFabLab

デジタルファブ리케이션という言葉は、一般的にはコンピュータ上での設計と、3Dプリンターやレーザーカッターを含む数値制御された工作機器との組み合わせによるものづくりを意味する。両者は共に40年程前から存在しているが、ここ20年で急速に機器が小型化し価格も低下した為、専門的製造業従事者以外の人々も利用できるようになった。加えて、それらの機器をシェアして利用する施設が多数出現しており、数値制御工作機械を使用するコストは約20年間で1/10000程度に下がっている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

それら機器シェア施設の中で、一際目立つものがFabLabと呼ばれるものである。1つ1つのFabLabは小規模であるが、これらは世界2500箇所以上でネットワークを形成しており(図3)、工作機器だけではなく理念と知が共有されている。

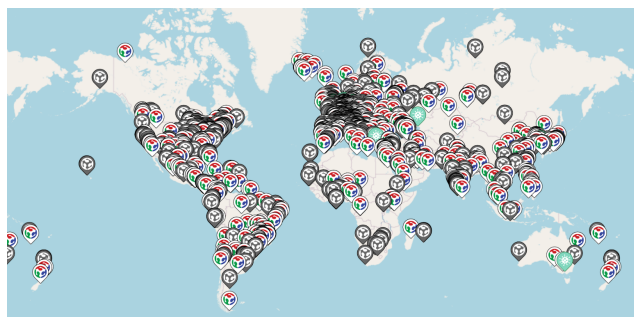


Fig.3 World FabLab Map

(Source : Fab foundation,
<https://www.fablabs.io/labs/map>)

FabLabは2001年にMassachusetts Institute of Technologyで"How to make almost anything"という、その名の通りデジタルファブ리케이션を用いて"ほぼなんでも作る"為の講座が開講したことを起点とする。MITが立地するボストンの次に設置されたのはインドの僻地であり、ガーナの沿岸部であり、ノルウェーの北端であるが⁽⁶⁾、ここから「ローカルの問題を解決する為にローカルの人々がローカルに設置されたデジタル工作機器を用いて必要なものを作る」という理念も読み取ることができる。

4. ブータンにおけるFabLabとSEC

著者らは2023年3月、ブータンを訪問し現地の医療体制やSECの有効性及びFabLabの現状について調査を行った。

ブータンは主産業が農業と水力発電である故、都市部若年層の非雇用率が高く(16.7%)、産業の多様化が求められており、それに答える形でFabLabが設置されている⁽⁷⁾。

我々が訪問したの首都ティンパーにあるFabLabは、例外的に規模が大きく機材も充実している為Bhutan Super FabLabと呼ばれており、電子回路を作製する為のチップマウンターから大型の金属加工機まで多様な機器を備えている(図4)。SECを製造可能な3Dプリンターも複数台設置され

ている他(図5)、必要に応じてプラスチック部品を加工する為のレーザーカッターも存在する(3DプリンターとレーザーカッターはFabLabの標準的な設置機器であり、この施設の例外的な機器充実の一部ではない)。

また、言及しておかねばならないのは、これらの設備を使いこなし工作を行う、トレーニングを受けた人材がFabLabに存在する点である。デジタルファブ리케이션という共通言語を持った人間が存在することで、ブータン日本間での細かな製造上の調整をオンラインの3Dデータ共有で行うことができる。FabLabを運営するスタッフと話し、ここでのSEC製造は十分に可能であると我々は確信した。



Fig.4 Fully equipped room of Bhutan Super FabLab



Fig.5 3D printers on the shelf

5. ブータンにおける眼科医療とSEC

ブータンは人口約79万人(2022年)が暮らす王国であるが、国土の大半が急峻な山岳地帯であり首都ティンパーに約14万人が居住している他は、交通の至極不便な場所に人口が点在している。国内に眼科医が十数名しか居ない為、例えば都市部に住んでいても眼科に掛ることは難しく、その他の町や地域においては眼科受診はほぼ不可能な状況である。

我々は3つの学校でSECを用いた前眼部疾患のスクリーニング検査を行い、その結果をブータン保健省や教育省及び現地眼科医と共有し議論することで、ブータンにおけるSEC

の有用性を確認した。

スクリーニング方法は以下の通りである。

1, スクリーニング対象とする各学校数十名の生徒に集まってもらい, SECを用いて前眼部の撮影を行う。この時撮影は我々が行うだけでなく, 現地学校の教員にもSECの使用方法を伝え自身の生徒を撮影して頂いた(図6)。

2, 撮影された動画をインターネット経由で日本に送り, 日本の眼科医が診断を行う。

1の撮影において, 現地教員が数分のトレーニングでSECを使い熟すのを目の当たりにし, 医療への関わりがない人々でもSECを用いて前眼部撮影ができることが明確になった。撮影した動画の品質は眼科診断に十分なものであることが, 2の眼科医による読影で裏付けられている。つまりSECとインターネット環境があれば, 医療従事者の居ない地域においても眼科診察が可能になることが実証されたと言える。

また, 予定していた生徒グループのスクリーニングを終えた後, 学校側の要請を受け追加で十数名の生徒の診察も保護者立ち会いのもと行っており, ブータンにおける眼科診察普及への強いニーズも感じた。



Fig.6 Teacher is examining her student's eyes with SEC

6. 現地製造型医療機器という提案

これまでブータン現地で行うSECの製造可能性と眼科医療について述べてきた。ここでは医療を必要とする地域への新しい援助形態はとして, 必要とされる医療機器を現地で製造する「現地製造型医療機器」を提案したい。これには以下3つの利点がある。

1. 製造コストの削減
2. 輸送コスト及び時間の圧縮
3. 現地での製造業の発生

1について, 医療機器の製造コストはその製造場所におけ

る人件費に左右されることから, 特に貧困地域で用いる機器はその地で製造することが合理的である。ブータンを例に上げると, 一人あたりGNIは3,040 USドル(2021年)であり, これは日本の43,450 USドル(2021年)の1/10以下である⁽⁸⁾。実際にブータン国内のFabLabで製造する場合のSEC製造原価をFabLabの協力を得て試算したところ, 日本国内での製造に比して1/10程度となった。

2については, 他国から輸入するよりも早く必要な場所に届けることが可能であるに留まらない。機器の紛失や破損に対しても迅速な対応ができる上, ライフラインである医療機器を国外からの輸入に完全依存しないことは重要である。

3はこれまでの医師派遣や機器の贈呈といった支援形態と最も異なる点である。特に貧困地域においては新しい産業を起し外部との経済的なやり取りを強化することは重要であるが, どこにおいても必要となる医療機器の製造は, 世界の多くの地域に適合する産業となり得る。従来の製造業では, 工場の設置という大きな設備投資が必要であったが, デジタルファブリケーションを用いればFabLabのように既に存在する設備を利用する, あるいは数先ドル程度の安価な機器を購入することで始めることができる。

7. 結 言

眼科医療機器に関するブータンでの調査結果報告と現地製造型医療機器の提案を行った。二十年前には数か所しかなかったFabLabが世界に2500か所以上に増加した今日, デジタルファブリケーションと医療機器の組み合わせが持つ可能性は非常に大きい。特に途上国や僻地においてそれらは大きなインパクトとなり得る。

また, 日本国内を振り返ると, 日本では人口の約1割, 1100万人が過疎地域に居住している。面積では過疎地域は国土の58%を占めており⁽⁹⁾, 医療の供給が不十分な医療僻地も多い(図7)。少子高齢化により, 地方においては道路維持費用そのものの不足が予測される近い未来, 増々国内の医療僻地問題は大きくなるものと考えられる。同時に, 日本国内にも地方に行くほど人件費が安くなる傾向が存在する。即ち, 現地製造型医療機器というモデルは日本を含む先進国にも将来的には適応される可能性がある。

それらの未来を見据えながら, 今後, SECをはじめとした現地製造型医療機器というモデルを, 世界のいくつかの地域で実際に稼働させ普及に繋げていきたい。

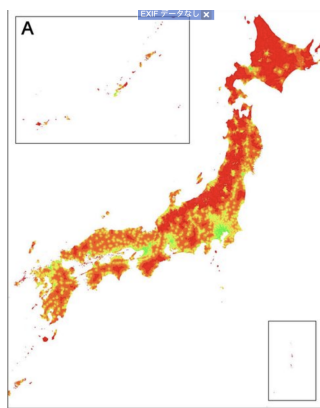


Fig.7 Underserved Healthcare Areas in Japan by zip code

(Source: Reference 9)

文 献

- (1) Pratyush Kumar and Raman Kumar: Rural Health Scenario – Role of family medicine, *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 7(6):p 1157-1162, Nov-Dec 2018.
- (2) 清水 映輔：スマートアイカメラ（SEC）を用いた、前眼部遠隔診療, *視覚の科学*, 2021年42巻2号 p. 32-34
- (3) MIT News: How MIT’s fab labs scaled around the world, June 5, 2023
- (4) 田中浩也：FabLife デジタルファブ리케이션から生まれる「つくりかたの未来」, *オライリー・ジャパン*, p13-22, 2012
- (5) Mark Hatch: Makerムーブメント宣言, *オライリー・ジャパン*, p108-110, 2014
- (6) Spectrum, MIT Campaign for a Better World <https://spectrum.mit.edu/spring-2006/fab-lab/>, 2006
- (7) デジタルものづくり工房（ファブラボ）による技術教育・普及促進プロジェクト, 独立行政法人国際協力機構, <https://www.jica.go.jp/Resource/project/bhutan/012/outline/index.html>, 2019
- (8) The World Bank: <https://data.worldbank.org/indicator/>
- (9) Makoto Kaneko *et al.*: Development and validation of a rurality index for healthcare research in Japan: a modified Delphi study, *BMJ Open*, Volume13, Issue6, 2023