

市民科学講座 実施報告

「DIY バイオ：可能性と課題」

江間有沙

(東京大学政策ビジョン研究センター特任講師、NPO 法人市民科学研究所・理事)

DIY バイオ(Do-it-yourself biology)によって、自宅で手軽に生命工学に関する実験ができるようになりつつあります。高価な装置の代わりに身の回りにある家電を使ったり、最先端の論文が誰でも読めるようになったりすることで、誰もが実験できます。

しかし、具体的にどのような方法で行えるのでしょうか？

どんな人がどのような目的で実験をしているのでしょうか？

そして、どのような課題があるのでしょうか？

2019年2月2日、実際にDIY バイオ実験をされている東京大学大学院総合文化研究科博士課程の田中雄喜さんをお招きしてお話いただきました。また、コメンテーターとして工藤郁子さん(中京大学経済研究所：法学)と見上公一さん(東京大学科学技術インタープリター養成部門：科学技術社会論)をお招きしました。

ファブリケーション文化

最初に田中さんから現在のDIY バイオに影響した技術や環境、そしてカルチャーについてお話しいただきました。バイオの研究は特に大学や企業といった限られたプレイヤーによって推進されています。これに対し、2010年代初めからMITやハーバード大学のあるケンブリッジ市を中心にバイオの研究もオープンにするべきという考えが出てきました。マークス・ウォールセン著「バイオパンク DIY 科学者たちのDNAハック!」の原著が出版されたのが2011年です(日本版は2012年)。MITメディアラボの伊藤穰一氏がBiology is next Digitalと語るように、パソコン・電子機器の世界で起こっていたことがバイオの世界でも起ころうとしています。

パソコンや電子機器の世界で起こっていたデジタルファブリケーション文化を支えていた要因として3つ事が挙げられます。最初に挙げられるのがGitHubと呼ばれるサイトなどを通じて行われてきたオープンソース化です。コードが公開、共有され個人が好きなようにコードを改良し様々な物を構築できるようになりました。さらに様々な電子部品が**小型化、低価格化**が起きました。近年では超小型パソコンである「Raspberry Pi (ラズベリーパイ)」の出現によって、温度や湿度を制御できる機械が簡単に作れるようになりました。さらに3Dプリンターなどの発展により、個別化が簡単に行われるようになりました。このように、オープンソース化、電子部品の小型化と低価格化などが組み合わせ、様々なモノが作られるようになりました。

日本において様々なファブリケーションの成果が多くはニコニコ動画などを通じて発表されてきましたが、その成果は大まかに以下の3つに分けられます。

- 1.高価な部品を低価格な部品で代替できた
- 2.これまで実験室など特別な環境にしか存在していないと考えられてきたものを個人で再現した
- 3.既製品ではしっくりこなかったものを自作することで解決した

DIY バイオの世界で行われていることも大まかに上記の3パターンのいずれかを満たしています。

DIY 細胞培養を始める方法論

田中さんは主にDIYで細胞培養をされています。具体的にどのような実験器具等が必要なのか、一つ一つ紹介いただきました。

1) 実験環境

実験をするには雑菌などが入らないような環境にする必要があります。クリーンベンチではフィルターを使って無菌状態にした空気を吹き降ろすことで、雑菌などが外から入り込むのを防ぎます。一般的なクリーンベンチは高額ですが、衣装ケースなどに空気清浄機を設置することで代替することが可能だとのこと。

2) 培養液

DIY細胞培養をするには、培養液が必要になります。田中さんは市販のサブリを調合して自作しています。作り方はネット (<http://animescience.net/wordpress/?p=3647>) にも公開されています。



図1: 田中さんが手に持っているのが自作した培養液

3) 細胞

細胞株は購入することもできますが、少量でも10万円くらいします。そこで有精卵を12日ほど温めたものを解剖して細胞を入手します。各種臓器を分けてすりつぶします。

実際に有精卵を割って手順を見せてくださいました。心臓、肝臓、胃、脳みそなどから細胞を取得し、そこに上記の培養液を入れることでCO₂環境下に入れると細胞が増殖します。



図2: 実践としてピンセットで有精卵から細胞を切り分ける作業

4) 酵素処理

すりつぶした細胞をばらばらの細胞にするために酵素処理を行います。そのためには40度くらいに温度を保つ必要があります。専門器具として「ウォーターバス」がありますが3万円くらいします。これに対して市販の「低温調理器」も温度を一定に保つことができるほか、センサーを使って0.1度刻みで温度の設定ができます。安いものだと8千円くらいで購入ができます。安いだけではなくもともとが調理利用のため、場合によってはウォーターバスよりも早く温まるというメリットがあります。



図3: 田中さんが手に持っているのが市販の低温調理器

5) 培養環境

細胞を温めるCO₂ インキュベータと呼ばれる機械があります。温度を40度に保ち、CO₂の濃度を一定に保つことができます。これを市販の「おしぼりウォーマー」を改造して作ることができます。「おしぼりウォーマー」は70度くらいに保つように設計されているので、それを40度くらいに保つようにします。こうすることで60万円はかかる装置が7000円（おしぼりウォーマー）と8000円（変換装置）で済むそうです。

市販のおしぼりウォーマーを使わずとも、Raspberry Piを使って、電子工学が得意な高校生がCO₂ インキュベータのような環境を作る装置を作ったそうです。この装置を使えば原価1万円くらいで済むそうです。

さらにCO₂濃度を維持するにあたって、市販の製品だと「1パック700円で10パック以上購入から」などとなっているそうです。これも重曹とクエン酸の反応で代替が可能だそうです。

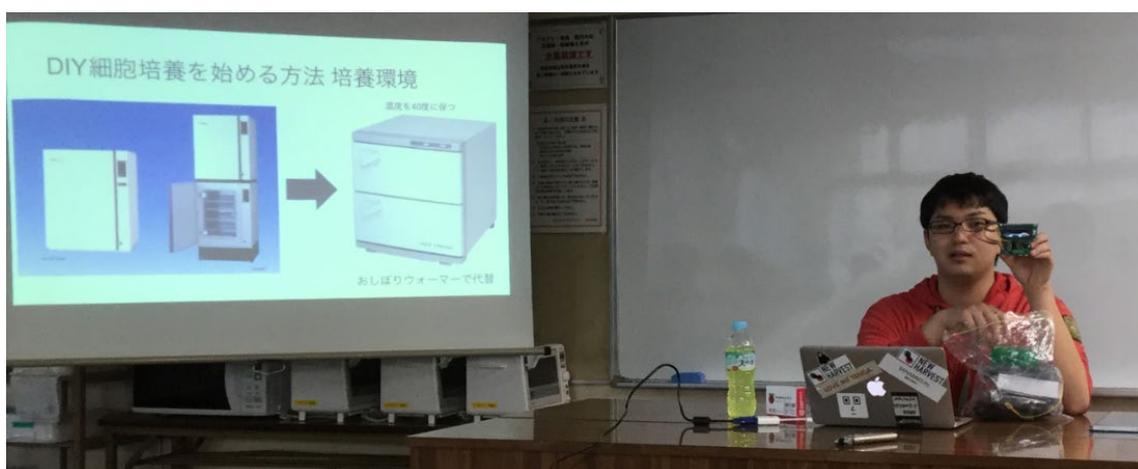


図4: 田中さんが手に持っているのが Raspberry Pi を使って作った装置

6) 観測方法

このようにして様々なものが代替あるいは自作されている中、現在の課題が観測をする顕微鏡だそうです。そこで、現在、3Dプリンターと市販の赤外線用レンズを組み合わせ、制御部分に Raspberry Pi を入れて動画を撮れるようにし、データをサーバーに集められるIoT顕微鏡の開発に着手をされているそうです。

7) 後処理

実験で出てきたゴミなどは最後に圧力鍋を使って高温で処理をするそうです。

今後の展望

田中さんは、細胞培養を高校で導入する場合、支払える予算はどのくらいかを100校程度のSSH（スーパーサイエンスハイスクール）対象校にアンケートをされたそうです。回答は3万円程度とのことでした。そのために3万円以内で細胞培養に関する実験ができる教材へのパッケージ化を目指しています。

実験機器や実験方法をオープンソース化し、データや実験条件を載せるためのプラットフォームを作り、誰でも手軽に実験を行える環境を作る。それをすることで科学の民主化を進めていきたい、と田中さんは講演を締めくくりました。

コメント1：工藤郁子さん（中京大学経済研究所：法学）

最初のコメンテーターの工藤さんは、細胞培養肉を食べられるようになるにはどのような課題があるかの論点整理をされました。DIY バイオのなかには、動物を殺さずに細胞を育てて食べられるようにすることを目指すコミュニティもあるからです。

まず、細胞培養肉の販売が食品衛生法上の規制を受ける可能性があることが指摘されました。でも、そもそもなぜ食品の衛生・安全に関して法令で規制がされているのでしょうか。もちろん、本人が覚悟して食べたなら健康を害しても「自己責任」だから規制は必要ない（または、情報開示や追跡可能性を担保するだけでよい）との立場もありえます。一方、現在の食品安全行政では「消費者の健康保護の最優先」「未然防止」を重視する立場を採用しています。もっとも、「絶対安全な食品」は存在しないため、リスク評価を行い、科学的根拠に基づいて規制をします。細胞培養肉でも、ウイルス混入が起きないか、雑菌が増殖しないか、細胞ががん化しないか、健康に対する長期的影響はどうかなど様々なリスク要因があり、これらに対策を講じていくことが必要になるでしょう。

さらに2000年代初頭のBSE（牛海綿状脳症）問題で明らかになったように、食の安全をめぐる省庁は多く、農林水産省、厚生労働省、環境省、消費者庁、食品安全委員会などがあります。そのため、関係官庁が連携してリスク管理・評価を行い、生産段階から加工・流通段階まで（農場から食卓まで）のフードチェーンの中で食品安全を考えることが重要となります。

海外の動向も無視はできません。現在、アメリカのミズーリ州やワシントン州では細胞培養肉を「肉」と呼んで販売することは禁止すべきとの法案が提出されています。「フェイク・ミート」「ラボ肉（lab-grown meat）」「細胞ベース肉（cell-based meat）」「人工肉」「養殖肉」「クリーン・ミート」「純肉」など様々な呼び方がされていますが、どう表示するかによって、消費者の受入方も変わってくるでしょう。米国農務省（USDA）と食品医薬品局（FDA）は、細胞培養肉について共同して規制・監督すると発表しており、このような政策は日本にも影響をしてくるかもしれません。

もう1つの論点として、そもそも細胞培養肉を必要とし、または、許容するのはどのような人たちが問題提起されました。細胞培養技術の進展によって、卵アレルギーの人でも卵を食べられる未来がくるかもしれません。また、現在の家畜生産は環境負荷が高いと指摘されていますから、環境により優しい生産プロセスができるかもしれません。他方、肉を食べない理由は、アレルギーや宗教上の理由、健康志向、環境負荷への配慮、動物愛護など様々な理由があります。動物倫理だけをとっても、様々な考え方があります。そのため、動物の痛み・苦しみを最小限にすべきという「動物の福祉」（animal welfare）論者が細胞培養肉を許容できても、動物自身の（道徳的）権利を主張する「動物の権利」（animal rights）論者にとっては、受け入れることができないかもしれません。

今後、私たちが培養肉を食べられるかは、法や行政のリスクガバナンス体制、諸外国の

動向、消費者によるニーズなど様々な要因にどう取り組んでいくかにかかってきます。

コメント2：見上公一さん（東京大学 特任講師：科学技術社会論）

次のコメンテーターの見上さんはDIYバイオの「DIY」の部分について論点を整理されました。職業人としての科学者が誕生し、科学は国家の発展を支える専門家集団である科学者によって進められてきました。これに対してDIYの流れは、科学によって生み出された知識だけではなくそのプロセスにも一般の人々が関われる活動として理解できます。科学が開かれていくことは素晴らしいことである一方、懸念もあります。

これまでの研究は大学や企業など組織の中で実施されることが前提とされてきました。そのため、研究に対する規制も、組織の中で監督するシステム（倫理委員会の承認等）を作り、実施者と監督者の責任を明確化するようにできています。ですから、違反した場合には研究者自身が研究者コミュニティから批判を受けるほか、所属する研究機関も制裁を受けることとなります。企業も大学や研究所などの公的システムの外にはいますが、企業内部で規定が設けられており、その内容は公的な規制に従うものとなっていることが多く、バイオ系のベンチャーなどでは自主的に社内に倫理委員会を設置する動きもあります。

そのような中であって、大学や企業のような組織に属さないでDIY活動を行う人たちをどのように位置付ければ良いのでしょうか。どこからも活動の制約を受けないDIYバイオは危険であるという意見、逆に実験の範囲が限られているし職業研究者や企業のように競争原理が働かないのでDIYバイオは安全であるという意見もあります。これに対し見上さんは「DIYバイオは安全であるという考え方は危険」と指摘します。現在は活動の範囲が限られていますが、田中さんの話にもあったように、実験機器の低価格化、さらには安価な代替品の自作も行われています。また、最先端の実験に取り組もうとする試みがDIYバイオの中から出て来る可能性も十分にあるからです。

残念なことに、専門家としての研究者コミュニティでも、自主制御に失敗します。先日中国では生殖系細胞へのゲノム編集が実施されていたことが分かりました。そして、このような事例が起きると、当該分野全体への過剰規制が起きることが懸念されます。同様のことがDIYバイオのコミュニティに起こったとすると、DIYバイオという活動自体が危ぶまれることになってしまいます。そうならないためにもDIYバイオコミュニティ内でも自主規制が必要かもしれません。例えばDIYbio.orgでは自分たちの活動に対する倫理指針を策定し公表しています。国内では誰がどのような形でとりまとめをすることが適切かという点から議論を始める必要があると考えられます。

まとめ

DIY バイオをめぐるステイクホルダーや議論は多様です。工藤さんが整理されたように、培養肉のリスクや社会のニーズとのすり合わせも重要ですし、見上さんが指摘されたように組織に属せずに「DIY」という活動そのものの可能性と危険性もあります。

しかし、DIY バイオは実験だけではなく、その社会的な課題についての議論も広く一般に開かれています。DIY バイオの今後の可能性と課題について、わたしたち一人一人が積極的に関わっていくことが、重要になってくるでしょう。