

7

デジタル・ファブリケーション
から始まる未来のものづくり

■久保田晃弘 (多摩美術大学情報デザイン学科)

手続きのリテラシー

先日『FORM+CODE —デザイン／アート／建築における、かたちとコード』(BNN 新社, 2011) という本を監訳する機会がありました(図-1)。本の扉に「本書をカリフォルニア大学ロサンゼルス校(UCLA) Design Media Arts 学科の生徒たちに捧げる」と書かれているように、この本はコンピュータのプログラミングによって造形表現をするための、基本的な考え方を知るための教科書として書かれたもので、「何を(What)」あるいは「いかに(How)」プログラミングするかではなく、「なぜ(Why)」プログラミングするのが(さらに、その文化が40年以上前から脈々と続いていることが)、250を超える豊富な事例を通じて視覚的に述べられている、網羅的というよりもむしろ、刺激的でインスパイアブルな本です。この本で紹介されている特徴的なキーワードのひとつが「手続きのリテラシー(Procedural Literacy)」です¹⁾。「プロセスを読み書きする能力、手続き型の表現力と審美眼を働かせる能力」を意味するこのことばは、コードで世界を記述したり、コードで世界とコミュニケーションするための、基本的なリテラシー(読み書きの能力)のことを指しています。本の章立てにもなっている「反復」「変換(写像)」「パラメータ」などの組合せで世界を読み書きしたり抽象する能力、と言ってもよいでしょう。文章や絵画、立体といった従来のメディアと違って、プログラミングをするためには、世界に対するこうした手続き的な見方が必要になってきます。センサやアクチュ



図-1 『FORM+CODE —デザイン／アート／建築における、かたちとコード』

エータを用いて、コンピュータとの身体的なインタラクションをデザインするフィジカルコンピューティングにとっても、この「手続きのリテラシー」は重要です。「数字にしてしまえばこっちのもの」ではありませんが、センサとは、いわば世界をパラメータ化するためのインタフェースであり、アクチュエータは「手続き」によって駆動される、パラメータを身体化するためのインタフェースだといえます。フィジカルコンピューティングとは「センサとアクチュエータを手続きによって接続すること」だと言って

もよいでしょう。Arduinoなどのマイクロコントローラを用いて、優れたフィジカルコンピューティングを実現するために、必ずしも長く複雑なプログラムを書く必要はありませんが(むしろ僕は学生に「難しいプログラムを書いたら負けだ」といっています)、「手続きのリテラシー」によって世界をプロシージャル(手続き的)に見るためのセンスや審美眼を磨くことは必要不可欠です。そもそも、基板やチップ、ブレッドボードを見ても全然萌えない人の方が、断然多いのですから。

キラーツールの出現

(『FORM+CODE』の「監訳者のことば」にも書いたように)「DBN^{☆1}やProcessing^{☆2}がコンピュータ・アートの再発明である」のと同様に「フィジカルコンピューティングは、マイクロ・コンピュータ(パーソナル・コンピュータ)の再発明」です。例えば、70年代から80年代のホビイスト文化の中では、機械語やバイナリダンプを直接入力したり、GameやTL/1といったVTL(Very Tiny Language)系言語の開発や、ハードウェアの製作や改造といったハッキングやベンディングがあたりまえのものでした。PICやAVRは、いわば当時マイクロコンピュータに用いられたIntel 8080, Zilog Z80, MOS Technology 6502といったCPUに、メモリやI/Oを内蔵化(ワンチップ化)したようなもので、当時のワンボードマイコンがワンチップマイコンになったものだといえるでしょう。過去を現在に敷衍すれば、それは容易に権威に墮ちてしまいますが、逆に現在を過去に敷衍することで過去を再発明すれば、それは自由でリベラルな、創造のためのアプローチになり得ます。このイノベーションの原動力としての再発明を促すのは「価格」です。今日のArduinoの普及は「スタンドアロンで動作するマイクロコンピュータが3000円少々で購入できる」というその価格がトリガによって引き起こされた、といっても過言ではありません。Makeやdorkbotのような

DIWOコミュニティにとって、情報がオープンである(=ハック可能である)ことだけでなく「価格が安い」ことは、それが機能の一部であるだけでなく、それ以上に文化的な価値観や美德の基盤になっています。不必要に高価であったり、過剰なスペックであることは、それだけでダサいことであり(笑)、それが文科省の科研費やCRESTのような学会をベースにしたクローズ&ゼネコン型の研究制作と、根本のところでは相容れないものがあるのは、致し方ないことです。

さて、「プリンタの再発明」としてのデジタル・ファブリケーションにとっても、Graphtec社のCraft ROBO(実売価格2万数千円)と、(その外見が初代Macintoshを思い起こさせる)MakerBot Industries社のCupCake CNC(定価699ドル)が、いわゆるキラアプリケーションならぬキラツールとなって、今日急速に身近なものになりました。これらのツールは、前述のように、フィジカルコンピューティングを身近なものにするだけでなく、かつては学会的な文化や企業や研究所の中にあったCNCマシンを、ハックの精神に溢れた、ホビイストや家庭(ハウスキーピング)というもう1つの文化的文脈と交配させます。世の中には、難しいことや複雑なこと、正しいことや新しいことよりも重要なことがたくさんあるのです(「夏休み工作」はまさにその代表例だ!)

道具の探求

Craft ROBOやCupCakeなどのパーソナルなCNCマシンによる、デジタル・ファブリケーション(パーソナル・ファブリケーション)のポイントは、冒頭で述べた「手続きのリテラシー」によって、紙や木材、樹脂などの物理的な素材を用いた図画工作や技術家庭を行うことです。もちろんメーカーが提供したり、市販されているベクタグラフィクス(ドロー系)のソフトウェアを用いて、絵を描くように紙を切ったり、オンライン上のさまざまなデータをダウンロードして、ステッカーやフィギュアをつくることは楽しいし、何よりもそれ以前に、こうし

☆1 <http://dbn.media.mit.edu/>

☆2 <http://processing.org/>



図-2 『Make: Technology on Your Time Volume 11 (日本語版)』

たデジタル・ファブリケーション・ツールがコンピュータからのデータによって懸命に（あるいは健気に？）動作する様子はそれだけで、（何をつくっているのかとは関係なく）思わず魅入ってしまいます。CNCの動作を見ながらお茶を飲むカフェ（ファブカフェ）ができれば、繁盛するかもしれません。それだけでなく、（通常はそこそこ大きな音がする）CNCマシンが動作している際に出る音は、さらに刺激的です。おそらく、モータなどの動作速度が整数倍で制御されていることから、自然と倍音や音律が生まれてしまうのでしょう。入力データによって、ツールから出る音をコントロールすることで、CNC楽器をつくったり、CNCバンドを組んだりしたくなる、と妄想が拡がります。

そんな道具に対する探求（ハッキング）の一例として僕は、2011年4月に発売された『Make: Technology on Your Time Volume 11』^{☆3}（オライリー・ジャパン）の「Craft ROBO 小特集」で、Processingから直接Craft ROBOを操作する方法を紹介しました（図-2）。基本的には、Processingの

^{☆3} http://jp.makezine.com/blog/2011/04/make_vol11.html

「Point」や「Line」コマンドを、CraftROBOを直接操作できる2つのコマンドM（Move、ペンを上げて移動）とD（Down、ペンを下げて移動）に翻訳して、それを「.plt」の拡張子を持つテキストファイルに出力するだけです^{☆4}。ほかにもベジェ曲線を描くコマンドなども発見しましたが、何度も繰り返すように、探求の方法は、単純でローレベルであればあるほど、楽しいものです。「数字にしてしまえばこっちのもの」ならぬ「MとDさえあればこっちのもの」なのですから。

千手観音のデッサン

Makeの記事では、ProcessingからCraft ROBOを操作する方法だけでなく、さらにオプションのボールペン・プランジャにニードルを取り付けることで可能になる、Craft ROBO 版画ならぬコード版画の実例を紹介しました。Processingによって版画（に限らずペーパークラフトでももちろんOKなのですが）を行うことで、「手続きのリテラシーによって物質を造形する」デジタル・ファブリケーションの本質的な部分に、直接アプローチすることが可能になります。

Processingの「line」命令の部分で、前述のMとDコマンドでCraft ROBOの命令に書き換えて実行してみると面白いことが起こります。多数の自律したエージェントが並列分散的に描画していくオブジェクト指向の考えで書かれたプログラムの場合、ペン（ニードル）の先があっちへ行ったり、こっちへ行ったりしながら、せわしなく版を彫っていくのです（図-3）。このときのCraft ROBOが生成する音が、メシアンのようなもので、またすばらしい響きなのですが、こうしたペンの動きを見ていると僕は、思わず「千手観音のデッサン」を想像してしまいます。通常のデッサン（というか、書き物をするとき）の暗黙の了解は「ペンを1本持つ」ことですが、もし千手観音の千本（実際の像では42本であることがほとんどです）の手のすべてが1本ずつ鉛筆を持っていて、その手をいっせいに動かして並列分散的に

^{☆4} <http://dp.idd.tamabi.ac.jp/hackerspace/?p=660>

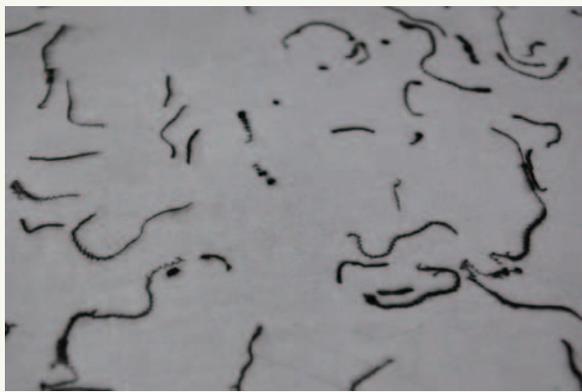
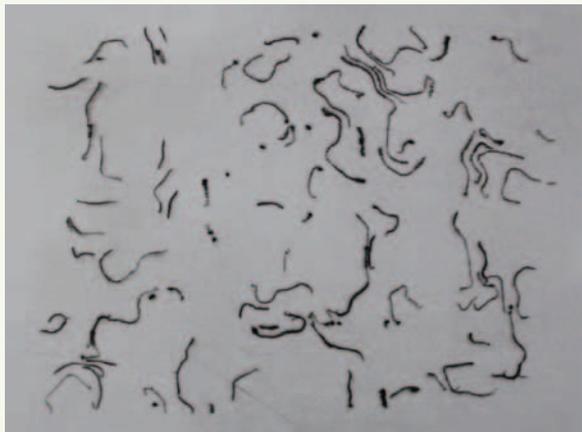


図-3 オブジェクト指向の方法で彫られたコード版画の一例（協力：多摩美術大学絵画学科版画研究室）

1枚のデッサンを描くとしたら、一体脳はどのようにそれぞれの手に指令を出し、手はどのように相互作用するのでしょうか——「千手観音のデッサン」は手続きのリテラシーを考えるための、格好の例題だともいえます。

「手続きのリテラシー」の真価は、人間の身体や知覚の制約、日常的な習慣などを再構築したり逸脱しようとするときにこそ発揮されます。先ほどの Craft ROBO 版画の場合でいえば、「千手観音が彫る版画」や「一本の線で描く版画」「点だけで彫る版画」など、創作のための（身体を越えた）制約の再構成には、プログラミングと結びついたデジタル・ファブリケーションならではの、新たな表現が生まれる可能性が潜んでいます。それはいいかえれば、コンセプトやメソッドとしてのアルゴリズム・デザインが、スキルとしての（あるいはコンセプトとスキルが融合した）アルゴリズム・ファブリケーションへと拡張していくことに他なりません。

ものづくり教育のミッシングリンク

仕事柄、学生の教育実習の参観に行くことがありますが、高校における「情報」の授業の内容の偏りには、いろいろと考えさせられます。個人的には、学生たち自身が一生懸命教育実習に取り組んでいる姿や、それを熱心に指導してくれる高校の先生に対しては、頭が下がる思いで一杯なのですが、その内容たるや「Word」や「Excel」といった、ただの一企業が提供する商用アプリケーションの使い方であったり、インターネット（TCP/IP プロトコル）の技術的な仕組みが大半で、そこに（創造的な）表現や（コミュニケーションのための）リテラシーといった概念は、ほとんど見受けられません。もちろん僕がすべての情報の授業を見ているわけではないので、こうした授業ばかりでないとは思いたいのですが、それにしても社会における「情報」という概念の理解、つまり「情報リテラシー」の未熟さと、僕らが大学で行っている教育とのあまりの隔たりには、いく度も啞然とさせられました。

「Word」の前に、（かつて Clifford Stoll が『インターネットは空っぽの洞窟』（草思社、1997）の執筆の際に行ったように）コンピュータ（ワードプロセッサ）、タイプライタ、手書きでそれぞれ文章を書いてみて、それぞれのメディアが人間のものの見方や考え方にどのように変化を与えるかを体験的に考察してみたり、「Excel」の前に、「リニア」「クラスター」「ツリー」「マトリックス」といった情報の構造化の特徴を示してから、それぞれの使用法や知覚との関係を探ってみたりといった内容があるべきで、それらはまさに情報デザイン教育の基礎の一部です。少なくとも、携帯電話やスマートフォンで無意識のうちにインターネットを使用している高校生に、TCP/IP プロトコルの5層構造の前に教えなければならないことは、山ほどあるでしょう。

こうした状況を踏まえて僕が最後に提案したいのは、高校の「情報教育を（デジタル・ファブリケーションを介して）図画工作や技術家庭（図工や家庭科）と結びつける」ことです。もちろん図画工作は小

学校の、技術家庭は中学校の教科であり、いずれも高校の教科ではありません。しかしながら、図画工作や技術家庭こそが、実は大学におけるものづくり教育と最も近く関連のある教科です。高校の教科「芸術」は音楽、美術、工芸、書道から構成されていて、そこに美術の一部としての「デザイン」はありますが、「ものづくり」というカテゴリはありません。それはまさに、小学校の「図画工作」、中学校の「技術家庭」と、(最近は美術大学だけでなく工学系の大学でも盛んになった)大学における「デザイン」や「ものづくり」教育の断絶、あるいは空隙だといえるでしょう。その空隙を埋めるために、高校の情報科を、デジタル・ファブリケーションを介して、図画工作や(高校に家庭科はありますが)技術家庭と結びつけてみるのです。「手続きのリテラシー」をハブとして、図画工作や技術家庭とデジタル・メディアやプログラミングを交錯させることができれば、それは単なる情報教育の枠組みを越えて、総合的な「ものづくり教育のミッシングリンク」となり、そこから「未来のものづくり」も見えてくるに違いありません。

美術大学の学生や教職員に「プログラミングができるようになるためには、数学が得意じゃないといけないのですか?」と尋ねられることがあります。コンピュータで表現することを「数でデザインする」というように、確かに一見コンピュータやプログラミングと数学は、深く関連しているように思われがちです。しかしながらコンピュータで、方程式の解を求めたり、ソーティングを行ったりといった、数学的な問題を解いたり、操作を行ったりする場合を除いて、数学的なリテラシーはほとんど不要です。実際僕の周りにも、いわゆる文系出身のプログラマーは少なくないですし、インタフェースのデザインは、数学的、論理的に行うというよりも「〇〇さんが△△をしたら、□□さんと出会って××が起こる」と、あたかも小説(物語)を書くようにプログラムを書くという方が近いといえます。Donald Knuthがいうところの、文芸的プログラミングならぬ、物語的(ナラティブ)プログラミングです。

実際、数学的(Mathematical)なりテラシーと数値的(Numerical)なりテラシーは大きく異なります。ポテンシャル解析や波動解析のような複雑な偏微分方程式を、数学的なリテラシーを駆使して解析的に解くことと、数値的なリテラシーをベースに差分法や有限要素法で解くこととは、まったくといっていいほど異なる発想やセンスが必要です。数学者の中には、プログラミングが苦手であったり(それゆえ)嫌いである人もたくさんいます。なぜならプログラミングに必要なのは、主に数値のリテラシーと手続きのリテラシーであり、この2つのリテラシーの共通部分は大きくても、数学のリテラシーとはあまり関係がないからです。

手続きのリテラシーは、数学よりもむしろ、料理をしたり、工作をしたりといった日常生活の中のさまざまな場面で必要になります。アルゴリズムの事例として、必ずといっていいほど、料理のレシピが出てきたり、プログラマーに料理が好きで得意な人が多いのもむべなるかな、です²⁾。いずれにしても、高校の情報教育は「プログラミングと数学は関係ない」「情報科はコンピュータを用いた図画工作や技術家庭科である」といったところから、もう一度再構築すべきでしょう。DBNやProcessingが登場してもなお、プログラミング教育の例題の多くが、数学的な例題であることの弊害は、少なくありません。

たとえば、高校の情報教育においてProcessingのようなオープンなプログラミング・ツールで絵や動画を描いたり、フィジカルコンピューティングによってインタラクションを構成することを通じて「手続きのリテラシー」を身体的に学んだり、さらにはそこからデジタル・ファブリケーションによって紙や木材を加工することで、情報を視覚化ならぬ「物質化」することを、情報教育の軸に据えるのはどうでしょう。デジタル・ファブリケーションによって、情報デザインのトピックも、「情報の可視化」から「情報の物質化」へと大きくシフトし始めました。フィジカルコンピューティングによって、コンピュータと身体の結び付きが強くなりましたが、そのメディアはまだ、光や音、動きといった、非物質



図-4 2010年の夏に FabLab Japan がデザインハブで開催した Craft ROBO ワークショップの様子 (<http://fablabjapan.org/2010/09/12/post-234/>)

のものが中心でした。それに対して、デジタル・ファブリケーションは、コンピュータと身体を、モノ(物質)を通じて、より直接的に結びつけます。ごちゃごちゃ説明しなくても、マシンが動作しているところを「見ればすぐに分かる」のが、(カフェやバンドをつくりたくなるほどの)道具的衝動に溢れた、デジタル・ファブリケーションの良いところです。Processing +Craft ROBO の組合せは、そんな「情報の物質化」による未来のものづくりを実践的に学ぶための、身近で手軽な格好のツールだといえるでしょう。

Processing 上で、皿やコップをデザインして、それを Craft ROBO で物質化してから、料理をつくってパーティを行えば、学生たちは、自然のうちにプログラミングと料理の間に、共通した「手続きのリテラシー」が必要なことに気がきます。あるいは、自然の造形をアルゴリズムに表現する例題を通じて、D'Arcy Thompson の『生物のかた

ち』(東京大学出版会, 1973) のようなアプローチ(『FORM+CODE』でいうところの「変換」)で自然の造形を見る目を養いながら、さらに生物の造形を用いたアクセサリや日用品をつくって、実際に使ってみます。ハックの精神に根差したデジタル・ファブリケーションは、中高の情報教育を抜本的に見直していく以前に、本特集のテーマである夏休みの工作にも最適のテーマなのです(図-4)。

参考文献

- 1) Bogost, I.: Procedural Literacy: Problem Solving with Programming, Systems, and Play, *Journal of Media Literacy* 52, No.1-2, pp.32-36 (2005). <http://www.bogost.com/downloads/I.%20Bogost%20Procedural%20Literacy.pdf>
- 2) Potter, J.: *Cooking for Geeks: Real Science, Great Hacks, and Good Food*, O'reilly & Associates, Inc. (2010).

(2011年5月10日受付)

■ 久保田晃弘 akihiro.kubota@nifty.com
バイオメディア・アート (bioart.jp), FabLab (fablabjapan.org) とソーシャル・マテリアル, 超小型衛星を活用した衛星芸術 (ARTSAT) などのプロジェクトを推進中. 多摩美術大学教授.
<http://dp.idd.tamabi.ac.jp/hackerspace/> (多摩美ハッカースペース)