



## 折りなすかたちの美しさ

*Folding finds form*

筑波大学大学院 システム情報系 情報工学域 教授

三谷 純 インタビュー

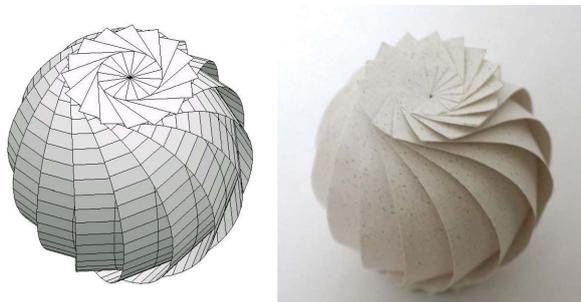
Jun MITANI / Professor

折り鶴、手裏剣、紙ヒコーキ、、、

日本の誰もが触れたことのある折り紙。そんな折り紙で、息をのむほど美しい作品を作り出す人たちがいる。コンピュータグラフィックスの知識を生かし、複雑な立体折り紙の作品を次々と生み出していく三谷純氏と共に、折ることによって生まれるかたちの美しさ、そして折ることの本質に迫る。

聞き手=大須賀 高幸、塚 雄亮、坂野 雅樹

2017.6.10 つくばエキスポセンターにて



一枚の紙から折られた球

## —— 紙がおりなすかたち

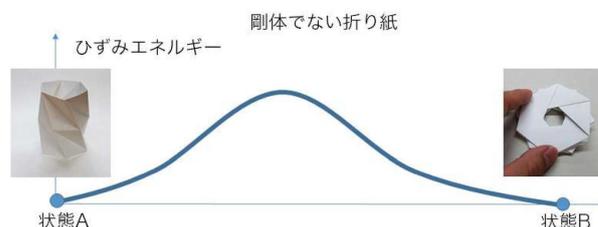
堺 三谷さんの複雑で美しい立体折り紙の作品はどのようにして生まれるのでしょうか。

三谷 これ（上図）は一枚の紙から球を包むようにしてできるかたちを折った作品ですが、きれいなつるんとしたかたちではなく、周りに襞のような要素が取り付いているのが1つの特徴です。この襞は目指す形をつくるときに出てくる余剰の部分です。すべて内側に折り込んで隠すのはとても難しいので、外側に取り出すことを考えます。そうすると、この余剰部分もかたちを構成する大切な要素になるのです。展開図の上では、球になる部分と襞になる部分が隙間なく並ぶこととなります。

坂野 余った襞の部分が意匠として魅力のあるデザインになっていると感じます。完成形を想像するとき襞の現れ方まで意識しているのでしょうか。

三谷 私の場合は純粋に余った部分を外に出しているだけで、最初から狙っているわけではありません。しかし結果として出てくるかたちは、美しい陰影のあるとても単純なパターンを持っています。シンメトリーで規則正しく並んでいたり最小の表面積で無駄がないかたちなど、人は合理的なものに美しさを感じるようです。作品を見た人の反応は「これ、何?」「なんだかよくわからないけど、綺麗なかたちだね」と様々です。合理的な手法でデザインされたものはある種の美しさを持つのでしょうか。

大須賀 私も実際に立体折り紙の作品をつくってみたのですが、力を加えると様々なかたちに変形していくのが面白



剛体でない折り紙におけるひずみエネルギーの推移

いなと思いました。加えた力が襞のような目に見えるさまで現れてきて、それが美しさにもつながっていると思うのです。

三谷 それもあるかもしれませんね。設計する際は紙の伸縮無しに成り立つ形状として計算しています。なので、完成に至る途中の過程では歪みなどが発生しながら、少し無理をして作っているのです。固い板のような歪みを許容できない素材だとうまく折ることができません。厚みのない紙だからこそ成り立つのです。

大須賀 確かに、部分部分で折り目をつけているときはうまく折り畳めずぐしゃぐしゃになってしまい、これが本当に綺麗なかたちになるのかと疑うほどでした。しかしある程度全体に折り目がついてくると、急にパタンと折り畳めてしまい、驚きました。

三谷 完成形は計算によって力学的に釣り合いのとれたモデルになっています。紙が平らな状態での内部エネルギーを0とすると、折っていく過程で歪みが生じて内部にエネルギーが溜まっていきます。それが完成したときには力がうまく流れてエネルギーが0になり、最後はどこか落ち着いた姿になるのです。

どんなに複雑なかたちでも実際に折られた作品を見れば実現可能なのだと思えるものですが、新しい作品の展開図がコンピュータ上ででき上がった段階では、それはまだ誰もつくったことのないかたちです。理論上可能とはいえ本当にできるのか、半信半疑になることもあるのですが、実際にきちんと折っていくと完成してしまうのです。これが立体折り紙の面白いところですね。

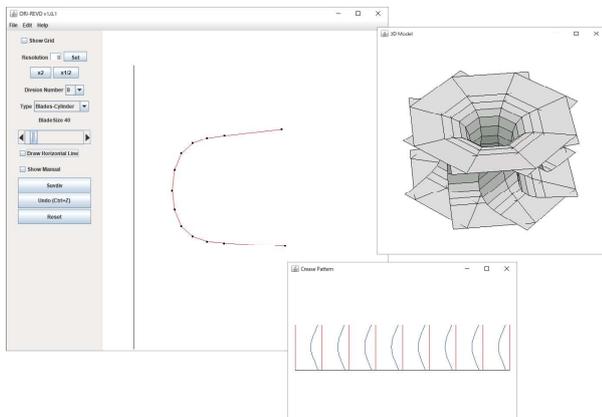
## —— コンピュータ・エイデッド・オリガミ

堺 三谷さんはCG（コンピュータグラフィックス）の専門家としてご活躍されていますが、折り紙とCGの組み合わせにはどのようなシナジーがあるのでしょうか。

三谷 人間が立体を知覚するとき、だいたい表面だけを見て物のかたちを認識しますよね。折り紙はまさにそういった知覚の仕組みを利用して、表面だけを再現することでそこに立体があると思わせるのです。私の折り紙作品も、立体の表面だけ覆ってやれば良いという発想でできています。そして、私が専門としているCGの世界においては、外見のビジュアルを何よりも重視します。映画やゲームに出てくる建物に、「内部はどうなっているんですか」と質問するのは野暮ですよ。CGも表面だけをつくることで立体を認識してもらいわけです。それを考えると、CGの発想と折り紙は相性がいいと思います。3次元といっても結局表面だけの話なのです。

堺 建築の場合、実際に人が利用するわけですから内部空間まで考えなければいけません。場合によっては内部空間が外側の見えに影響してくることもあります。

三谷 それはCADを扱う人とCGを扱う人の違いなのだと



「ORI-REVO: A Design Tool for 3D Origami of Revolution」:  
回転体ベースの立体折紙設計ツール（三谷氏製作）

思います。CADで図面を描くのは実際に工業製品や建築をつくるためですが、CGの専門家たちはつくることを考える必要はありませんからね。

坂野 実作に関わることの少ない学生にとっては、CADもCGも課題に取り組む際の制作ツールとしての印象があります。建築の分野では手描きに替わってCADやCGパースが主流になってきていますが、コンピュータの発展は折り紙作品の製作にどのような影響をもたらしたのでしょうか。

三谷 折紙設計は展開図から考えるのが王道で、製作者は展開図の上で作図をするようにして作品をつくり上げていきます。『オリガミの魔女と博士の四角い時間』（NHK, Eテレ, 2017）という折り紙をテーマにした短編ドラマがあって、オリガミ博士が毎回お題に応えた作品を披露していく番組なのですが、彼もやはり展開図からアプローチしていきます。

一方で私のようなコンピュータサイエンスの専門家は、最初に立体的な完成形をイメージすることから始めます。軸対象や回転対称な形の作品であれば、予め組んでおいたプログラムに断面形状を入力することで簡単に展開図を得ることができます。実はこの計算自体は電卓でもできるようなレベルのものですが、コンピュータの強みはいろいろなパターンを手間なく試せる点にあると言えるでしょう。私の作品では襞のかたちが作品の美しさに大きく関わってきますが、その曲線の形状を計算によって求めることができます。

坂野 折り鶴など、私たちのよく知っている折り紙とはかなり違うように思えます。

三谷 もともと折り紙は偶然できたかたちを鳥や馬などに見立て、試行錯誤してより近づけていくというアプローチが取られていました。それに対し近年の折り紙設計では、「こういう馬がほしい」という具体的なイメージからスター



愛知工業大学の宮本好信教授による、回転建立方式（RES）による、板材からのドーム形状立ち上げ

トし、各部分の長さなどをパラメータとして扱い、計算によって展開図にまとめていきます。この手法だとより理想的な形を得ることができるのです。最近では、アニメーションを用いてどんな動きをするかまでシミュレーションすることもできるようになりました。

坂野 CAD やパラメトリックデザインに近い手法を用いられているのですね。

三谷 私の折り紙作品はコンピュータありきのデザインですから、あるアルゴリズムに則ったデザインならいくらかでも量産できます。全く別のかたちがつくりたければそもそもソフトウェアから開発します。やはり折り紙ではなくコンピュータサイエンスの専門家ですから、ソフトウェアの使い分けでデザインを考えていますね。

## —— 厚みという壁

堺 立体折り紙を実用的な分野へ応用する際には、どのような問題が発生するのでしょうか。

三谷 紙の折り紙では厚みをほぼ無視して設計することができますが、他の素材ではそうはいきません。ダンボールなど厚みのあるものを2、3度でも折りたたむと、とても分厚くなってしまいますよね。そういった素材をうまく折

るために、歪みの生じない剛体パネルとヒンジから構成されたようなモデルを考える「剛体折り」という研究分野があります。厚みが集中する場所をどうやって逃がすかといった幾何学的な問題や、一部分に応力が集中しないようにするという実践的な問題に多くの研究者が取り組んでいます。

大須賀 立体折り紙作品の中には大きなスケールで作られたものもあり、人が下をくぐることができ面白いですね。もっとスケールアップしたら簡易的なシェルターや、さらには建物にもなってしまうような気がしています。しかし実際に作ると紙がたわんでしまって、実現はなかなか難しそうです。

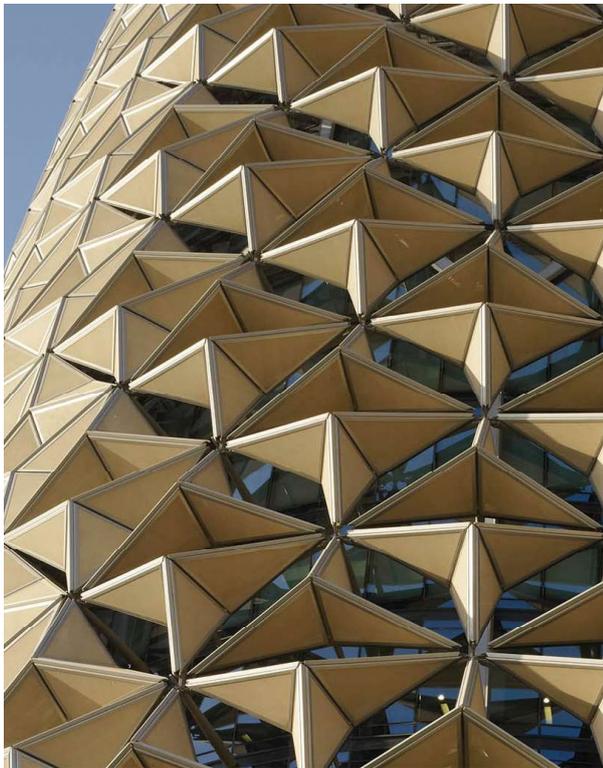
三谷 これ（本ページ上写真）は愛知工業大学の宮本好信教授の作品で、一枚の平面から立体的に立ち上がる構造物です。彼は建築家で、このモデルをスケールアップしてドームをつくらうとしています。平面で施工したコンクリートパネルを一気に持ち上げるシミュレーションを行っていて、実現すれば非常に低コストでドームが建つそうです。また、東京大学の館知宏助教は建築出身の折り紙研究者で、折り畳みできる建物の設計に取り組んでいます。建築に携わる人たちは応力や素材の物性による制約を考慮して、本当につくれるかどうかということを考えているのです。

## —— 折り紙と建築の関係

大須賀 折り紙は日本で生まれた文化なので、日本の他の文化とも通じる部分があるように思います。日本ならではの折り紙の特徴についてはどうお考えですか。

三谷 日本においては折り紙は遊びの文化として根付いていて、折り鶴は誰もが知っているところでしょう。しかし最近の折り紙作品における分かりやすい日本らしさや強みといったものはなかなかないように思います。今や折り紙は世界中で「ORIGAMI」と呼ばれるほどに広く知られるようになり、トップランクの折り紙研究者やアーティストは海外の人が多いのです。

大須賀 遊びの文化というと、そもそも西洋にはレゴブロックがあります。西洋では石やレンガを積み上げて建築



『アル・バハール・タワーズ』のスクリーン<sup>1)</sup>

をつくってきた歴史があり、その延長としてレゴブロックがある。同じように日本人は木と紙で作った家に住んできて、その建築の構成の仕方に折り紙との親和性を感じてしまいます。柱・梁と床・壁といった線と面の構成は、まさに折り紙における折り線と紙の面と同じ構成だと捉えることができるかもしれません。歪みを許容するという点でも、木造や紙のやわらかい構造の考え方に近いものがある。意外と三谷さんの立体折り紙も日本的な考え方に近い発想をしているのではないのでしょうか。

三谷 何もそこまで意識してやっているわけではないですよ(笑)。でも確かに、折り紙と建築は相互に刺激を与え合っていると思います。ドバイにある『アル・バハール・タワーズ』は、折り紙に着想を得たスクリーンが高さ150mのツインタワーを覆っていて、見る人にすごく強い印象を与えます。でもこれは単体の折り紙作品とは違って、鉄筋でつくられた主要部分に衣装のようなものとして貼り付けられているわけですよね。やはり柱梁と床の繰り返しでできている構成はすごく合理的で、多くのビルはそうになっています。

隈研吾さんにしても、きっちり内と外を分けたうえで、表面にいろいろなものを張り付けている。そういった装飾的な折り紙造形の実例は増えてきていると思います。そこに対してもっと違うものを提案できるかが今問われているところでしょう。

大須賀 確かに合理性を考えれば四角い箱を積んでいけば良いかもしれませんが、それとはなにか別の形で建築を考えたいという思いはあります。立体折り紙が全体でひとつの構造になっているように、建築の内と外を一体的につくるアプローチとして、フォールディングの手法を挙げることができそうです。それこそ一枚の紙で壁を折っていくように、地面がそのまま盛り上がり壁になり屋根になるという建築が90年代に生まれ、注目を集めました。そういった今までにないかたちのヒントが折り紙の世界にあるかもしれません。

三谷 建築家の方が立体折り紙を見るとすぐに、「これは何かできそうだ」「ここに人が入って、中から見たらどうなのだろう？」といろいろなことを思いつくようです。インスピレーションの素材を提供するという意味では、限られた素材で立体を作る折り紙はとても有用なツールなのかもしれません。私の作品は展開図をWEBで公開していますから、そういった野心的な人にはどんどん利用してもらいたいですね。

## —— ただ面白いかたちをつくりたくて

三谷 私のスタンスを述べておくと、折り紙から何か革新的な発明が生まれるという将来像を描いているわけではありません。メディアで折り紙特集があると私のところにも取材が来て、「この素晴らしい技術はどう未来の役に立つのですか？」と目を輝かせて聞いてきます。でも、私はその期待に応えられるような回答を持ち合わせていないのです。彼らの関心は折り紙よりもその先の応用にあって、別に折り紙じゃなくてもいいわけですよ。例えば、折り紙は大きいものを小さく折り畳む技術として、折り畳み傘から衛星アンテナまでいろいろなところで応用されています。それらは一見新鮮なアプローチに思えますが、テクノロジーが進歩しただけで、考え方は折り紙のそれと大差はありません。私は折り紙を何かに利用するためにやっているわけではなく、ただただ面白いかたちをつくることに興味があるのです。

大須賀 エッフェル塔のように、エンジニアリングの世界から新しい風が吹いて建築に大きな影響を与えた事例がありますが、新しい建築が生まれるときは他の分野から何か変化が起こるのかなと思っています。三谷さんのような純粋に面白いかたちを追求されている方には、つついそんな期待をさせていただきます。

三谷 ビッグネームが時代を変えていくこともあるでしょ

うし、じわじわと進んでいく変化もあると思います。50年後くらいに振り返ってみると、ある時折り紙のような建造物がたくさん出てきていて、そこが一つの転換点だったと後から認識することもあるかもしれません。先ほどお話しした宮本先生たちのように、折り紙建築の実現に向けて積極的に活動する人がいれば変わっていくと思います。

坂野 そこから皆が真似し始めて大きな変化が起こることもありそうです。

三谷 みなさんが京都大学でそういった方向に誘導していくのも面白そうですね（笑）。京都の町に折り紙のような建築をつくることができれば、一つの事例としてカウントされることになりますから、是非やっていただきたいです。

## —— DNA とプラレール

堺 折り畳むという考え方は建築にとどまらず、生物の世界にも適応できそうです。例えば、DNAの二重らせん構造やタンパク質の立体構造には折り紙にも通じるものがあると思います。

三谷 DNAを構成するDNA鎖や、タンパク質の一次構造は一次元の紐状のかたちをしています。これを工夫して折ることによって、二次元の平面や三次元の立体構造が得られます。つまり、折るというシンプルな操作を繰り返すことで、次元を上げた複雑な形ができるわけですね。理化学研究所でDNAの折り畳みを研究している平野達也先生と対談させていただいたことがあるのですが、最近では「DNA ORIGAMI」という技術も研究されています。DNAが決まった塩基同士で結合を組む性質を利用して、思い通りの2次元、3次元微小構造物を作り上げる技術です。ここまで話が進んでくると、皆さんのよく知っている折り紙とはかけ離れてくるかもしれませんが、海外ではあまりこだわらずに、「折り」を伴うさまざまな事柄に「ORIGAMI」という



言葉が使われています。

堺 折ることによって次元の拡張ができるということでしょうか。紙の折り紙も、2次元の平面を折ることで3次元の作品をつくり上げています。

三谷 そうですね。逆に、折り畳んで小さくした情報を、元のかたちに戻して簡単に取り出すこともできるのです。DNAが折り畳み構造を取っているのは、膨大な量の遺伝子情報を刻み込むために都合のいいかたちだからでしょう。

最近、息子と列車のおもちゃのプラレールでいろいろなコースをつくって遊ぶのにハマっていたのですが、実はプラレールはレールをつなげて長いコースをつくるという点が、DNAやタンパク質と近い性質を持っているんじゃないかと思っています。直線と8分の1円弧の組み合わせからなるかたちとしてプラレールを捉えてみると、途端に幾何学の問題になるのです。いくつかの幾何学的な性質に注目し、『鉄道模型コースシミュレータ』というソフトウェアを組んでさまざまな幾何学模様を生成してみました。シンプルなパーツを組み合わせることで、折り畳まれたような複雑な形をつくったり、少しほどこいてそれらを繋ぎ合わ



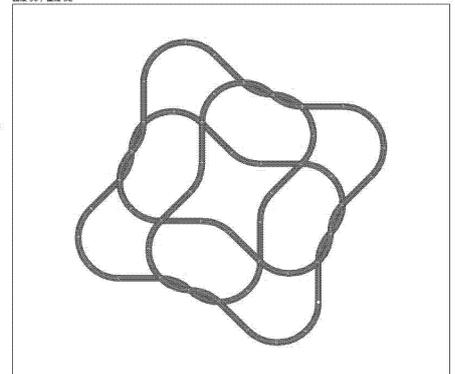
上：プラレール作品の展示  
下：「鉄道模型コースシミュレータ」(三谷氏製作)

せることもできるのです。タンパク質もよく見てみると長いものがただ折られているだけでいろんな機能を持つわけですね。直接的な類似を認めるのはなかなか難しいですが、生体構造とプラレールを見比べるのは興味深い視点だと思っています。そんなことを考えてのめり込んでいるうちに、うちの家族の皆は私のプラレールに見向きもしてくれなくなったのですが(笑)、一方でインターネットを通してプラレール作品は話題になり、ついには展示までさせていただきました。

鉄道模型コースシミュレータ

**使ってみよう**  
「コース表記」の欄に駅名を連続して次のようにして見よう。  
SHIRAKUSA  
次に「ループ」にチェックを入れてみよう。  
**説明**  
「コース表記」の欄に入力された記号列の途中に「ループ」を指定します。使用できる記号は S (直線)・L (左曲線)・R (右曲線) です。各記号の後に数字を入力することで、同じ記号が続く場合、記号の前に数字と文字を付けた意味表記ができます。(例: S4R2L1U→R2L)  
**注意事項**  
レールの改良を考慮していません。実際に実行できないコースも生成されます。  
**使用について**  
どなたでも自由に利用いただけます。営利目的での複製・再配布は禁止です。また、また改良の余地はあると思います。JavaScriptで記述されており、現在展示中のHTMLファイルにこのアプリケーションのソースコードがすべて含まれています。(Chrome, Firefox上のみで動作確認しています)  
現在、GitHub上に公開されています。  
gam0022/jmitani-railway  
juni-mitani@railway-course-simulator

コース表記 SHIRAKUSALLRSLULL  
S R L 一次移動先 クリア ランダム 入力欄  
ループ 05 / 直線 32



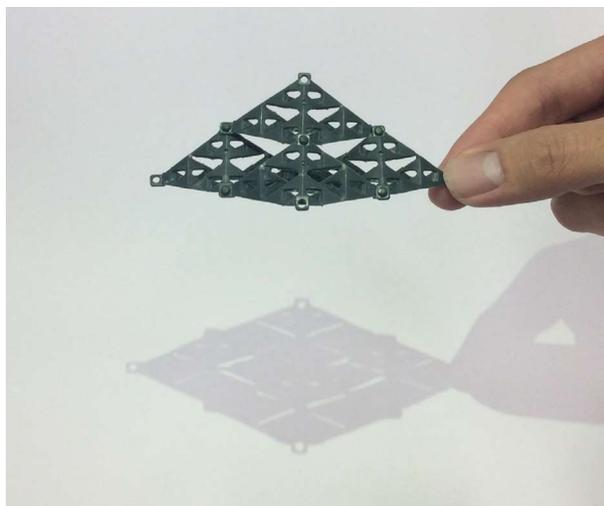
マウスホイールで拡大縮小、左マウスドラッグで表示位置の移動ができます。  
2016.7.8 Jun Mitani [Stable] [Twitter]

## —— 「ブルー・オーシャン」 へいこう

三谷 そもそも私がなぜ折り紙やプラレールに興味を持ったのかというと、構成要素が非常にシンプルなエレメントで、それに少し手を加えることで、幾何学的に綺麗な造形が得られるからです。折り紙は誰もがやったことがあるでしょうし、プラレールも多くの男の子が一度は遊んだおもちゃだと思いますが、日ごろ触れている身近なものの幾何学的な側面を少し意識してみると意外と面白い発見があります。僕の場合はそれがたまたま紙を折ることや、プラレールを並べることだったんですね。

堺 三谷さんは研究者として数々の成功を収められていると思いますが、やはり競争の激しい「レッド・オーシャン」ではなく、未開拓の「ブルー・オーシャン」を目指しているのでしょうか？

三谷 今は時代の変化が速く、研究も常に競争の世界です。多くの研究者がやっている研究は1年やらないだけで置いていかれてしまいます。一方、私のプラレールの研究なんて、5年放置しても誰もやらないから、5年後に論文を書いてもおそらく大丈夫です（笑）。逆に言えば、誰も見て



『フラクタル日よけ』の模型

いないような5年前の技術だとしても、それを扱うのが僕の研究スタイルです。

大須賀 三谷さんの研究に取り組む姿勢にはとても共感を覚えます。京都大学に地球流体力学を専門とする酒井敏教授という方がいて、ヒートアイランド現象の研究を続けたのちに『フラクタル日よけ』という発明をされました。酒井さんも三谷さんと同じような、面白いからやるんだということを言っておられて、今回のお話ととても繋がる点がありました。『フラクタル日よけ』は実用化され、今度台湾に建つ坂茂さん設計の美術館では、建物全体をすっぽり覆うほどの規模で屋根に使われています。

三谷 酒井先生とは、紙を切って折り曲げる要領で『フラクタル日よけ』を簡単に作れないか、というような話をさせてもらったことがあります。もう10年来その研究に取り組まれています、それはすばらしい業績ですね。執念深さは大事だと思います。建築の分野も折り紙の分野も、常に新しいものを求めているなければなりません。

坂野 誰もしない分野を研究するというのは学生に向けて、いい言葉だなと思います。

三谷 そのような分野を見つけることが大変なんですけどね。

大須賀 周りと違うことに取り組んでいるときはとても不安になったり、やっていて意味があるのだろうかとか悩んでしまいますが、突き詰めてやり続けることで次第に周りが興味を持ってくれることもあります。それはむしろ認められたいからやっているというよりも、これが好きだからやっているのに近いと思います。

三谷 大学では自分で研究テーマを選べるのですから、周りがやっているから自分もその研究をするという風になってしまうのは少しもったいないですよ。もちろん流行りの研究というものあって、コンピュータサイエンスの分野



三谷 純氏

では最近特に機械学習に取り組む人を多く見かけます。機械学習が好きで、その研究に取り組んでいるのならよいのですが、時代に取り残されないように、という焦りから取り組むようでは、やはり先頭集団に入り込むのは難しいだろうと思います。

堺 最後にこれからの学生に向けたメッセージをお願いします。

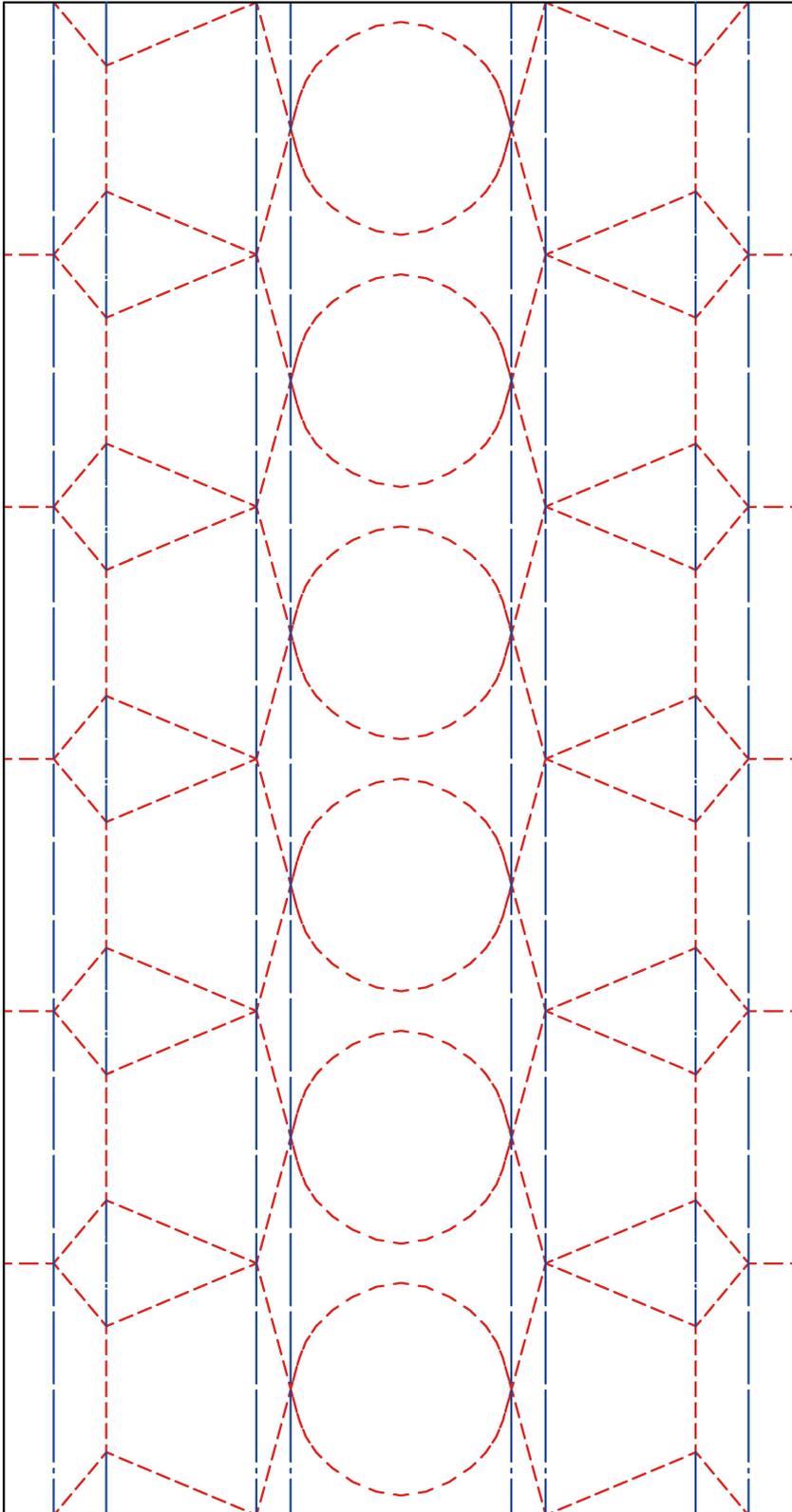
三谷 建築系の学生に対してということであれば、やはり手を動かして物をつくるのが大事だと思います。私の研究室の学生に折り紙で面白いデザインを作っごらん、と言うと、まずパソコンに向かってしまいます。図面を引いたり、計算したりするのだけれど、実際に素材があるのだから、手を動かして考えてほしいです。やはりインターネットや本で調べる前に、自分のやりたいことをまず自分の手で形にすることが大事だと思います。

もう一つは、好きなことを二つか三つ見つけてほしいです。僕の場合はコンピュータと折り紙です。折り紙が好きな人は山ほどいるし、コンピュータが好きな人もいくらでもいるのだけれど、両方好きな人は意外と少ないのです。その二つを合わせたことをやっている人は、周りを見ても全然いません。二つ以上の領域を組み合わせた分野では、

ほとんどライバルはいないでしょう。複数の領域を結びつけることで、独自の研究分野を拓いていくことができると思います。

---

1) AHR:Al Bahar Towers, AHR International Award Winning Architecture and Buildings Consultancy Practice (閲覧日:2017/9/13)  
<http://www.ahr-global.com/Al-Bahr-Towers>  
上記サイトの画像を一部切り抜き使用した。



今回、インタビューにご協力くださいました  
三谷純さんのご厚意により立体折り紙の展開  
図を掲載させていただきました。

本誌を複写してお使いください。



A column embossed with circles