

ORIGAMI : 芸術と科学の時空

令和元年 5 月 17 日

於：タワーホール船堀

講師：宮本好信氏（愛知工業大学工学部建築科教授）



私はもともとビルの設計をやっていたのですが、今日はそれとは直接関係のない折り紙の話をしてします。まず「時」ということで折り紙の歴史を概観します。次に「空」ということで空間的に整理します。最後に「実」としてみなさんに実際に体験していただくという構成で進めます。

<時>—折り紙史概観

a) 伝承折り紙

折り紙という言葉は古くからあり、最も古いのは2つに折った紙=たとう（たたみ）紙です。ほかに、簡単な書状、鑑定書（折り紙付き）など 1100~1200 年が最初です。紙で遊ぶのは江戸時代以降で、実用から遊びへとというのが大きな流れです。

折り紙は世界同時多発的に起こったというのが最近の説で、海外では天球論の本（1498）の挿絵に見られます。16 世紀には Napkin Folding というナプキンを使った工芸が見られるようになります。また 19 世紀のスペインの絵画には小鳥や兵隊の折り紙が描かれていますし、ドイツの教育者・フレーベルは折り紙で幼稚園の教材を開発しました。

日本の折り紙は実用折り紙が最初で、次に礼法折り紙と続きます。折鶴のような具象的なものが出たのは 1500 年代で、「秘伝千羽折形」（1797）はその集大成の本といえます。江戸時代の浮世絵には鶴、帆船、虚無僧、蛙、風船などが描かれています。葛飾北斎の美人画にも着物の模様折鶴が見られます。

19 世紀後半に日本と欧州の交流が始まり、戦後、駐留した米軍関係者が折り紙の本を出版し、また英国の折り紙作家が Paper Folding を Origami に置き換えたことから世界語として定着するようになりました。

b) 数学と「折り」

デザインの世界では、バウハウスというドイツの建築学校で、折り紙と切り紙を一緒にしたような幾何学的なものが考案されました。彫刻を塊ではなく面で構成する手法が出てきた。

数学の世界では、ルネサンス時代にドイツのデューラーが多面体の展開図を描いたのが折り紙的パターンの始まりとされています。19 世紀にインド人数学者によって作図に折り紙を使うことが発想され、ドイツの数学者に引用されたことで、その後の折り紙工学や折り紙数学の発展の踏み石となりました。フレーベルのように数学モデルをベースに教材を創り、表現の可能・不可能が議論され、20 世紀に入ってもっと理論的に折り紙の公理とか定理を考えるようになっていきました。そして 1989 年に、最初にイタリアのフェラーラで国際会議へと続きます。

折り紙の数学とは、山折りと谷折りの差は必ず 2 であるとか、1 つおきにたした角度が 180 度になるとか、前川定理、川崎定理と呼ばれて、これが数学体系の基礎になっています。

c) 近代折り紙

造形としての折り紙は、吉村章氏の出現が一つのエポックとされています。折り紙をできるだけ親しみやすく、動物の折り紙をたくさんつくられました。この人の書いた折り方の図式が世界標準の発端になり、今日の教科書などに出ている折り紙の基礎となっています。その後、前川公理を考えた前川淳氏は、悪魔という作品

で展開図を考えながら設計しました。

1980年代に映画の中で折り紙の一角獣と鶏の折り紙が登場するなど、この頃から世界各国で自由な折り紙が折られるようになりました。有名なのは川崎ローズといわれるもので、考案者の川崎敏和氏は初めて折り紙理論で博士号を取りました。

最近の若い人の作品には、畳大の紙を三日かけて折るような工芸的な折り紙もあります。これも数学的な設計を綿密に行うもので、思いつきや努力で折れるものではありません。

1980年代になるとコンピュータの発達もあって、新しい折り紙を追求する人が出てきました。米国のロン・レッシュは計算機科学や初期のコンピュータグラフィックスをやっていた人で、独自の立体タイリング折り紙を発明しました。

デビッド・ハフマンという人、情報圧縮のアルゴリズムで有名ですが、晩年に趣味で折り紙の創作をしていました。

建築の分野で有名なのがチャック・ホーバーマン。ホーバーマンズフィアというおもちゃがベストセラーになり、ロックコンサートなどの舞台装置などにも採用されています。

＜空＞—折り紙工学概観

a) 極微⇒宇宙

ここまでの具体的な折り紙事例です。折り紙科学とか折り紙工学全般を整理するために、大きさを整理します。万物は、素粒子から宇宙全体まで 10^0 の 40 乗の幅にといわれます。これで折り紙を整理しましょうというのがぼくの提案です。

建築では 10^{-2} の素材から、構法 (10^1)、都市の大きさ (10^4) のスケールまで扱うのですが、これを超えてもっと横断的に見てみましょう。

■DNA折り紙

よく「DNA折り紙」という単語がニュースなどに出てきます。どういうものかというと、DNAは分子レベルの立体物ですから、紐のような結びつきのある部分とある部分がくっつくというルールを事前に組み込むことができ、それを合成するとこういう立体図ができる。最初につくったのが二次元的なもので、これが2006年。2009年に三次元的なものができるようになりました。最新のものは多面体を押し広げた展開図にして、それを1本の紐でつくれるようにしておいて、薬品の中に入れておくと分子が勝手に組み立ててくれる。これは工芸のビーズ手芸と同じで、糸1本にパイプ状のものを足し合わせて多面体を構成する。これとまったく同じ方法をDNAでやるんです。

■たんぱく質分子折り紙

次に、もう少しスケールの大きいたんぱく質レベルのもので、テープ状のものを折りたたむ。これも折り紙とっています。地球外生命の知的な信号を分析するという技術を分子解析に使ったもので、2000年からやっています。分散コンピューティングとあって、解析に非常に時間のかかるものを分散して行います。

シアトルのワシントン大学で、これをゲーム化したものがあります。パソコンの中で分子を手の操作で折っていくんですね。趣味でパズルが得意な人もいて、これで新薬を開発できたりする。そんなゲームを2008年に発表しています。

■細胞折り紙、折り紙ステント

それから、それぞれ多面体の要素を最初からつくり、そこに細胞を乗せると自動的に丸まって12面体のものや筒状のものができます。これを人工臓器などに応用するための基礎研究を行っているのが、北海道大学の栗林香織先生です。彼女が留学中に行った研究に、小さく折りたたんだ状態で血管の中に挿入し、温度が暖まると膨らむステントがあります。血管拡張をするための医療器具として開発しましたが、商品化には至っていません。

■自律組立・可変形状ロボット

同じ発想で動くものをつくったのがMITの研究です。磁石で動かすもので、平らなものがしわ状になっている。さらに、からだの中で溶けるソーセージの皮のようなものや、もっと大きなスケールですが、電気を点けると起き上がってそのまま歩き出す自律組立・形状変形ロボットというものも、折り紙工学の最先端とされています。

■コンプライント・メカニズム

最近折り紙といわれるようになったもので、コンプライント・メカニズムというものがあります。マヨネーズのキャップのようにヒンジが一体になっているメカニズムがあります。それをもうちょっと高度に利用しようというアイデアで、例えばドアノブを回転させるだけで前後に動く仕組みを樹脂で一体的につくるものや、食虫植

物の動きを応用して外壁に活用するものなどがあります。将来、宇宙船などの回転軸や制御機構に用いる構想があります。

■昆虫羽、てんとう虫

てんとう虫などの虫の羽の研究がだいぶ進みまして、折り紙構造の研究者の斉藤一哉さんが、本格的にてんとう虫の羽の構造を研究しています。長さ方向と幅方向の両方に折りたたむ機構は、真ん中にある小さな三角形を軸にしていることがわかりました。昆虫の羽根は2種類あって、たたむときが速いものと、開くときが速いものがある、エネルギーを溜め込む機構が異なります。今後これを応用した小型ロボットやドローンが作られる予定です。

■衝突エネルギー吸収機構

明治大学の萩原一郎先生は、エネルギー吸収材として折り紙機構を提案しています。先生は元日産のエンジニアで、ずっと部材の研究をされていました。折り紙的にたたむ四角い機構を考えて、蛇腹状にすることでエネルギー吸収を制御できる機構を開発されています。

■天蓋構造物、系外惑星観測用恒星日除け

折りたたんだり広げたりできるものとして「ミウラ折り」があります。スペースシャトルに積んで宇宙で実験した記録に残している唯一の構造体です。国立博物館にたたんだまま置いてあるそうです。もともとミウラ折りは、円筒を上と下から押したときにできるパターンです。

また、太陽系以外の惑星を観測するのにあたって、人工的な日食（日除け）を起こすような展開構造が、現在、NASA で検討されています。

■宇宙の折り紙モデル

宇宙論に折り紙を使おうという人がいます。Mark C. Neyrinck という人で、国際学会でよく講演されます。宇宙の成り立ちの頃、物質は折り紙的な構造になって淀んでいたのではないかというもので、いわゆるデセレーションと同じことが宇宙の開闢のときに起きたという説を唱えています。

b) 計算折り紙

最近では、折り紙を工学的に利用するためにコンピュータで型紙をつくります。最も有名なのはロバート・ラングというアメリカ人で、日本の人が開発したものを1998年にコンピュータ化しました。ツリーメーカーといえます。

折り紙学会の若手のエース・舘知宏さんは、コンピュータサイエンスと折り紙理論で世界的な権威ですが、多面体を折り紙化することをやっています。筑波大の三谷純先生は、断面を与えてくるくと回すような展開図を描いています。それぞれ自分の得意技をどんどん開発するなど、コンピュータを使って折り紙をする時代になっています。

MIT では折り紙シミュレーターを使った課題があります。鶴64個連結した連鶴も、リアルタイムで計算できます。いまのパソコンのGPUは計算がものすごく速いので、プログラミング能力と処理能力によって、一挙にいろいろなものができるようになりました。

このなかに宮本タワーというぼくの作品があります。以前、ドイツのYouTubeに出している折り紙作家さんに頼んで作り方のビデオをつくってもらったときに公開したものです。



まとめ

1. 折り紙は世界各国に起源と発展があった
 - a. 戦後、折り紙和書の国際出版、米英折り紙協会と書籍ネーミングで、Origami が国際語になった

- b. 数理的研究はドイツ、インド、イタリアで萌芽、日米を含む世界に広がった
- 2. 「折り」は物理モデル、数学公理系として有効である
 - a. 自然は「折り」を精妙かつ複合的に活用している
 - b. 座屈、褶曲など否定的な現象を肯定的に読み替える視点が鍵
 - c. 実直・精密な観察と自由大胆な発想・解釈が **Origami** の真髄
- 3. 比喩解釈・伝統論は実証的に修正され、**Origami** の深化に寄与する
 - a. **Origami** は親しみやすく、直感的に理解しやすい
 - b. **Origami** の歴史、機構の解釈には実証・検証が必要
 - c. **Origami** は普遍性のあるモデルとして深化する

以下、<実>一拡張折り紙では、回転建立式折り紙の説明を受け、ワークショップで折り方の体験をしました。

