

図学と折り紙 (3)

Graphic Science and Origami (3)

三谷 純 Jun MITANI

1. はじめに

山折りと谷折りを交互に繰り返すジャバラ折りは、扇子や工作機器の防塵カバー、アコーディオンのふいごなどにも見られる基本的な折り方です。これらは複数の折り線を平行に配置したのですが、折り線を直交するように配置し、さらに対角線方向の折りを加えると図1のような格子模様を得られ、さまざまな形を折り出す基本パターンとなります。連載第1回で紹介した多くの展開図を、このパターンから折り出すことができます。

できあがった形に平行な山谷の繰り返しパターンが現れるため、図1のような基本パターンから形を折り出すことを指して「ジャバラ折り」と呼ぶこともあります(展開図は矩形の組み合わせが基本になるため、ボックスプリーツ(box pleat)と呼ばれることもあります)。

連載第3回目の今回は、このジャバラ折りにまつわる話を紹介します。

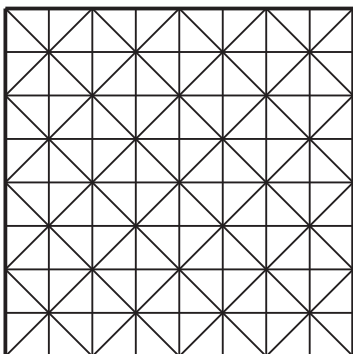


図1 格子模様のジャバラ折り基本パターン

2. ジャバラ折り展開図の見方・作り方

図1の格子模様は正方形の紙から簡単に折り出すことができ、これをベースとしてバリエーションに富んだ形をさまざまに生み出すことができます。上の例では、各辺を8等分していますが、たとえば16等分、32等分と細かくすることで、作りだせる形のバリエーションが増えます。

最近では昆虫やリアルな人物モデルなど、伝承的な折り紙の概念を覆すような複雑で精巧な折り紙作品が登場していますが、その多くが、この格子模様をベースに作り出されています。一見すると、直線ばかりの形しか作

れないように見えますが、まずは目的の基本構造を作り出し、そこから細部を追加して作品を仕上げるのが一般的です。

例えば、イヌのように足が4本、そして尾と頭がある形を折り出そうとしたときに、まず、その基本的な構造を折り出すことを考えます。そのあとで、耳や口、足先などの細かいところを作り込みます。コンピュータを使った折り紙の設計技法もありますが、紙と鉛筆、それと実際の紙を使っての創作においては、この格子模様を使うことがとても便利です。新しい形を作り出す設計技法の1つとして、広く使われています。

それでは、具体的な展開図の例を見てみましょう。図2は8×8の格子パターンの上に折れ線を配置して作った展開図の一例です。これを見て、折った後にどのような形が得られるかイメージするのは難しいですが、ジャバラ折りをベースとした折り紙創作を行う人たちの間では、このような展開図を見れば構造がすぐにわかります。新しい折り紙作品の作り方も、このような展開図で記録しておくことが一般に行われます(もっとシンプルに、展開図の一部分だけを記録することも多いです)。

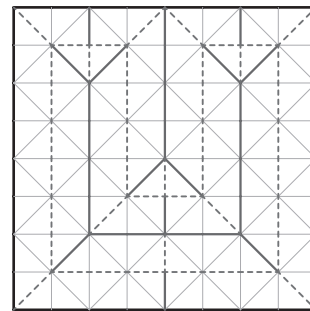


図2 格子状のジャバラ折り基本パターン

一般に、ジャバラ折りの場合は1つ1つの折り工程があるわけではなく、展開図に沿って「いっぺんに折る」または「好きなところから折る」ということが多いので、折りの工程図を示さずに、展開図だけが示されることが多くあります。

図2の展開図についても折り工程を示す図はありません。展開図の通り、実線を山、破線を谷に折ってみましょう。その結果、図3のように棒状に折りたためます(広がらないように両端をクリップで留めています)。

今回の展開図は、折りたたまれて平らになり、その際に紙の輪郭線が1本の直線の上に乗ります。図3では、紙の輪郭線は太い線にしてあります。

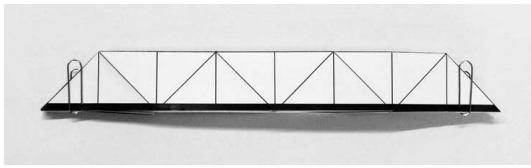


図3 図2に示す展開図を折り畳んだ様子

図3に示すように、図2の展開図は平坦に折りたたまれますが、これを開くと図4(a)のようになります。手足がついた、人の形のように見えます。つまり、格子模様の上に適切に山・谷の折り線を配置することで、図4(b)に示すような骨格構造を持った形を折り作り出すことができます。

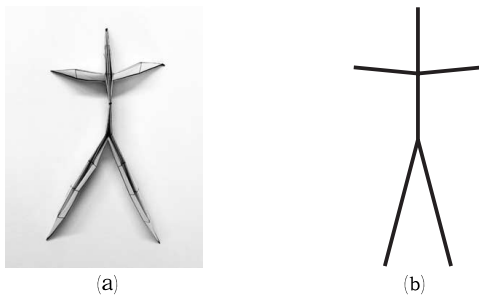


図4 図2の展開図から得られる形

正方形の紙のカドは4つしかありませんが、図4に示すように、胴体と5本の枝を持つ構造が作られています。この構造のことを木構造、Stick Figure、骨格構造などと呼びますが、以降ではStick Figureと呼ぶこととします。

このように任意の本数の枝を持つStick Figureを意図して作り出すことができれば、後から全体を少し開いたり細かい部分を追加したりして、目的の形に仕上げることが可能になります。

それでは、改めて展開図と折った後に現れる形の関係を見てみましょう。紙の輪郭線が、折られた後のStick Figureを形作ります。輪郭線とStick Figureの対応関係は、図5中のa~lの記号で示されています。じっくり見てみましょう。

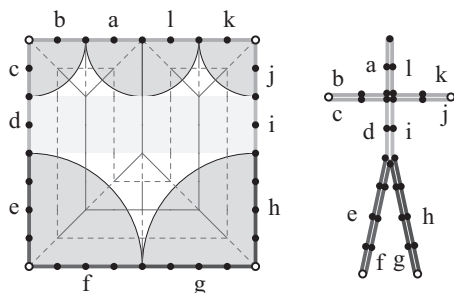


図5 展開図とStick Figureの関係

輪郭線の左下隅(e, f)と右下隅(g, h)は、それぞれ左右の脚に対応します。展開図の左右に分かれているdとiは、同じ位置になって胴体部分を構成します。展開図の左上(c, b)と右上(j, k)は左右の腕、展開図の上部中央(a, l)は頭部に対応します。

正方形の輪郭を見ると、1辺あたり8個の線分があり、全体で $8 \times 4 = 32$ 個の線分があります。同じように、Stick Figureの線分の数をかぞえてみると、やはり32個あります。紙の輪郭線で、Stick Figureを無駄なく構成し、紙の内部は蛇腹状に折りたたまれていることがわかります。

さて、紙の輪郭線とStick Figureの対応はわかりました。それでは、紙の内部はどのようにして折りたたまれているのでしょうか。これは、図6のように展開図を四角形の部品に分解してみるとわかります。

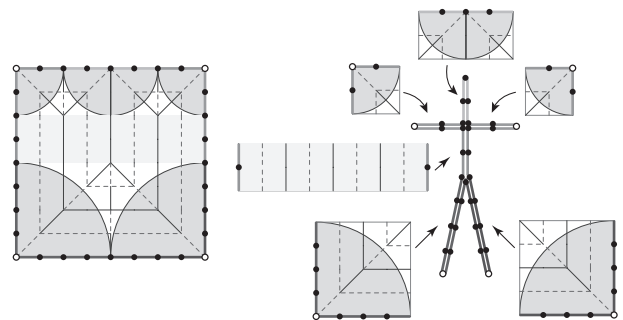


図6 展開図の分解

図6をよく見ると、胴体の部分は幅が2の単純なジャバラ折りであることがわかります。このように、Stick Figureの枝と枝をつなげる辺は、帯状の部品を折りたたんで作られます。それ以外の枝の部分は、それぞれの長さに応じた四角形領域で作られます。左右の脚は1辺が4の正方形領域によって長さ4の枝が作り出されています。同じように、左右の腕は1辺が2の正方形領域で長さ2の枝が作り出されています。

頭部は4隅とは異なり、縦2横4の長方形から作り出されます。このように、「4隅でないところからも枝を作り出せる」という点が重要です。つまり、広い紙があれば、いくらでも枝(「カド」と表記することも多いです)を作り出すことができます。

各部品の背景に薄く円が示されていますが、これは「円の半径と等しい長さの枝を折り出せる」ということと、「円の中心が枝の先端になる」ということを示しています。

さて、1つの展開図を複数の部品に分解することで、Stick Figureと展開図の対応関係が見えてきました。これを逆に見ると、複数の部品を組み合わせることで、目

的の構造を持った Stick Figure を1枚の紙から折り出すことができそうだと考えられます。

それでは、「部品」にはどのようなものがあるでしょうか。主なものを図7にまとめました。

一番単純な、紙の四隅から枝部分を折り出すには、図7の上段の部品が使えます。それぞれ平らに折りたたむことができ、折りたたむと左から順番に長さが4, 2, 1の枝になります。紙の辺から枝部分を折り出すには、中段の部品が使えます。これもやはり平らに折りたたむことができ、折りたたむと左から順番に長さが4, 2, 1の枝になります。さらに、紙の中央部でも下段のような部品を使って、枝を折り出すことができます。ただし上記の四隅、辺から折り出す例と異なり、そのままでは棒状の細い平らな状態に折りたためないで、周囲の部品との兼ね合いで、山谷を決めることになります。

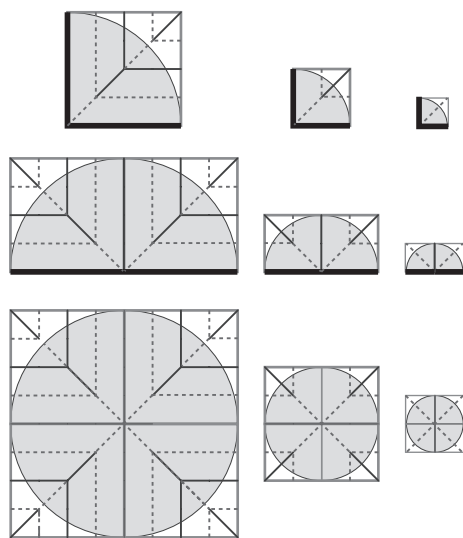


図7 枝を折り出すための基本部品

枝と枝をつなげる辺の部分は、すでに見たように、幅が一定の単純なジャバラで折り出すことができます。図8は、上が幅2, 中段が幅1のジャバラです。また、不思議に見えますが、一番下のように、幅が一定であれば折れ曲がった領域からも、辺の部分を折り出すことができます（試しに一番下の例を折ってみましょう。平らに折った後で、紙の縁にあたる部分が一致します）。

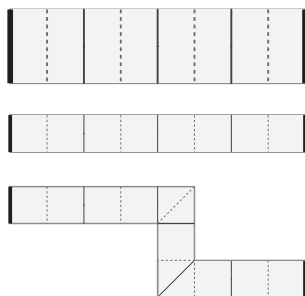


図8 辺を折り出すための基本部品

一度平坦に折りたたんだ後で、各枝は分岐点で自由な方向に曲げられます。人の形の構造で言うと、腕と脚の付け根は自由に動いて、腕と脚を開いたり閉じたりできます。つまり、平坦に折りたたまないのであれば、付け根の折れ線は山折りなのか、谷折りなのか、または折らない線なのか明確に定まりません（完全に平らに折りたたんでしまえば、山と谷は定まります）。このような、自由に回転できる折れ線を「ヒンジ」と呼び、展開図では山と谷を明示しないことがあります。図9では、ヒンジに該当する線を太い実線で示しています。ちょうど各部品の境目がヒンジになり、部品の配置が視覚的にも理解しやすくなります。一方で、実際に折るときにはヒンジ部分を山と谷のどちらにすればよいのか、試行錯誤が必要になります。

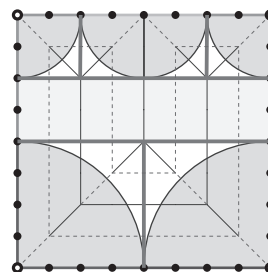


図9 「ヒンジ」の部分を実線で示した展開図

さて、以上でジャバラ折りを構成する部品を見てきました。実際の創作には、もっと多くの知識と経験が必要になりますが、格子模様から作り出される部品を組み合わせることで、さまざまな骨格構造を折り出すことができることを理解いただけたことと思います。実際に折ってみると、より簡単に理解できます。

3. 8×8 格子パターンからできる構造

前節で、8×8の格子パターンから作られる構造を1つ紹介しました。一見すると、この限られたパターンからは大した形が作れないように思えるかもしれませんが、そんなことはありません。正方形の紙の輪郭線の上には、32個の線分がありますから、これらをうまく活用することで、さまざまな構造を持った形を折り出すことができます。

図10は、8×8の格子パターンからジャバラ折りによって折り出される形の例です。それぞれ、次のような特徴があります。

- (1) 長さ4の枝が4本ある単純な構造です。四隅を使って枝を折り出しています。
- (2) 中央に帯領域を配置しています。この部分がジャバラ状に折りたたまれ、中央の辺になります。こ

れに接続する形で、上下に2つずつの枝ができます。

- (3) 中央の帯領域はそのままに、上下の領域で使用する部品を差し替えました。四隅で長さ2の枝を作成し、上下の中央でも長さ2の枝を折り出しています。そのため、上下ともに3つずつの枝ができます。
- (4) 上下の部品を、長さ1のものに差し替えました。上下5本ずつ、計10本の枝を作れます。中央の帯領域は幅が広がったので、真ん中で折り返してみました。
- (5) 下半分は(3)を再利用しています。上半分では、左右に長さ1の枝を3本ずつ配置し、隙間に2本のグニャグニャ迂回する帯領域（経路を太い破線で示しています）を配置しています。これにより、辺が3つ、枝が9つの構造になります。

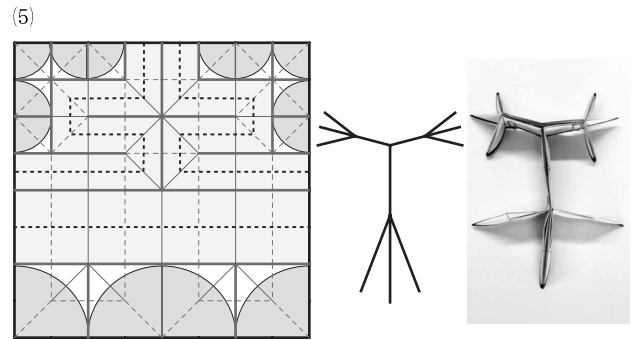
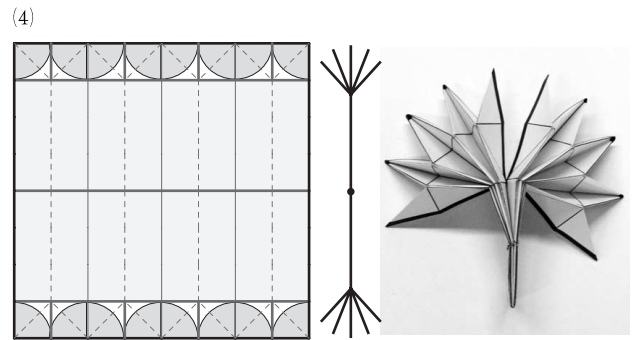
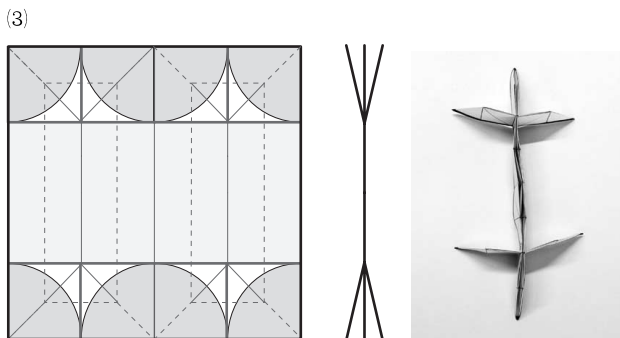
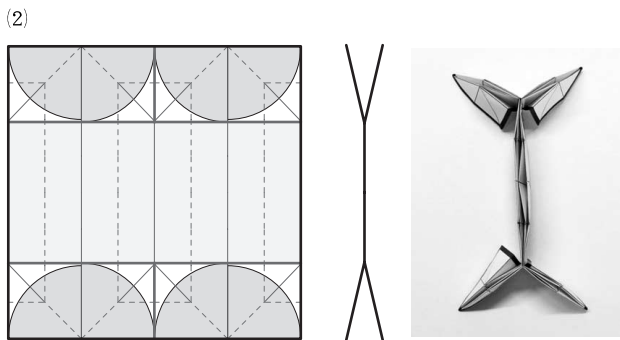
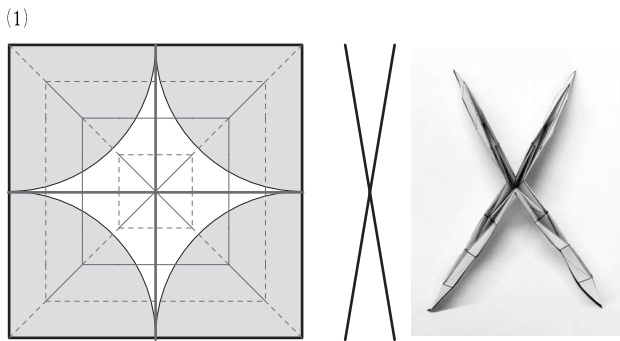


図10 8×8の格子パターンから作られる形。左から順に展開図、Stick Figure、写真



4. おわりに

単純な格子パターンから、さまざまな形が折り出せることを確認いただけたと思います。実際に紙を折り、試行錯誤を繰り返すことでも、たくさんの形を作ることができますが、意図した構造を作り出すためには、枝や辺を折り出すための部品をうまく配置することが重要になります。今回紹介したものは8×8の格子パターンでしたが、32×32や64×64などの細かいものを使うことで、より複雑な構造を作り出すことが可能となります。このような、ジャバラ折りを基本とした折り紙設計の詳細については、文献[1]にさらに詳しい説明があります。

参考文献

- [1] Robert J. Lang, *Origami Design Secrets*, A K Peters, 2003.

●2012年11月15日受付

みに じゅん

筑波大学大学院システム情報系准教授

2004年、東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻博士課程修了。博士（工学）。2011年より現職。CG、形状モデリングに関する研究に従事。

mitani@cs.tsukuba.ac.jp