

# ミウラ折り

西山 豊

## 1. 太陽電池のパネルに応用

皆さんはミウラ折りというものをご存知だろうか。ミウラ折りは広い意味で折り紙の一種ではあるが、日本古来の伝統を宇宙工学にまで応用したもので、数学的にも興味のあることなので是非とも紹介しておきたい。

ミウラ折りのミウラとは考案者の三浦公亮（こうりょう）氏の名前に由来がある。少し前になるが彼は東大宇宙航空研究所に在籍のころ宇宙構造物について研究しているときにこの折り方を思いついたというのである。宇宙に打ち上げられたロケットは太陽のエネルギーを利用して飛行する。その太陽エネルギーを集めるのは太陽電池のパネルであるが、打ち上げる前からパネルを開いておくことはできない。太陽電池のパネルをできるだけ縮めてロケットに積み込み、宇宙空間に飛び立つとパネルがパッと広がり、地上に戻ってくる時はパネルを縮めて回収しなければならない。これらの一連の動作を人間ではなくロボットにさせるためにはどうすればよいかを考えた末に気づいたというのだ。

ミウラ折りは新聞や雑誌で紹介されたし、詳しい内容は彼の著書で紹介されているが、ここではその原理となったミウラ折りを皆さんに体験して、数学の素晴らしさを味わってもらいたい。(1) (2) (3)

ミウラ折りは図1に示すように左下隅と右上隅を指でもち、机の上において対角線上に引っ張ればワンタッチで開閉できる。折り目が記憶されているようになっているので形状記憶折り紙ともいえるが、普通の地図ではこうはできない。折り紙の専門家によればこの折り方は三浦氏が発見したということでもないらしいが、ミウラ折りは日本古来の折り紙にヒントを得て太陽電池のパネルに応用したことは素晴らしいことである。

## 2. ミウラ折りを折ってみよう

ここでは三浦公亮らの著書『ソーラーセイル』（丸善）のp53～p66にしたがいミウラ折りの折り方について説明しよう。(3) 図2と対応させて読者は試していただきたい。

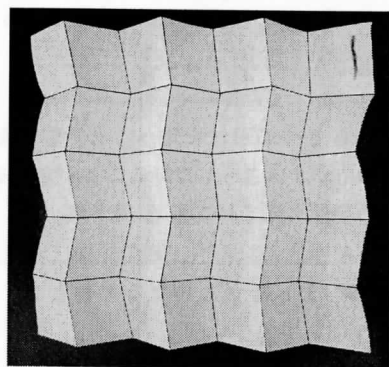


図1. ミウラ折り

(1) まずA3の用紙を用意する。B4の用紙でもいいのだが、折り込んでいくと小さくなるので、なるべく大きな用紙のほうが折りやすいのでA3の用紙をすすめたい。

(2) この紙を縦に5等分、横に7等分になるように折っていく。縦の長さはA3の用紙だったら297ミリで正確には5等分できない。そこで両端が短かすぎても長すぎてもかまわないから、とにかく真ん中は同じ長さを保つようにしておくこと。縦の5等分は山折り谷折りをくりかえし、蛇腹折りのようにする。

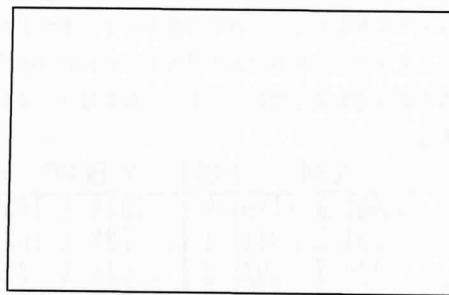
(3) つぎに、横に7等分になるように折っていく。点線で示したように斜めの折り目をつけることが目的である。横方向を7目盛りとしたとき、左から3目盛りの長さを斜めに折り曲げる。斜めの角度は先端が2対1くらいの割合で、かなり急な角度をつけておくほうがミウラ折りの効果がつけやすい。

(4) そして、1目盛りの長さを折り返す。このとき最初の横の線と今の横の線が平行になるようにしておくこと。

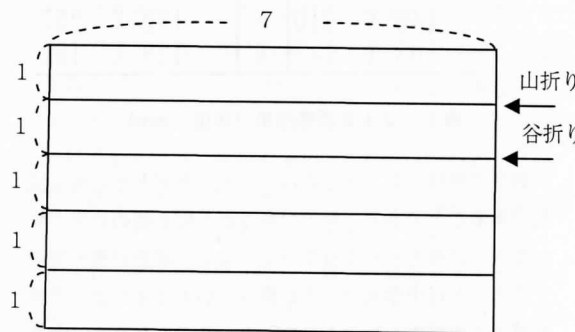
(5) 同じようにして、斜めに折り曲げる。この場合、最初に斜めに折った線と平行になるようにしておく。つまり、ジグザグを繰り返すわけである。折り目の左右両端はぴったり重なるようにしておくこと。ただし最後の

紙片は重ならない。

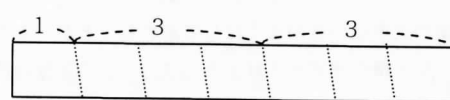
(6) この状態で上下反転させる。裏側についても同じようにひとつおきに平行になるようにジグザグを繰り返して折っていく。



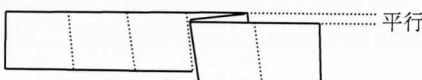
(1) A3またはB4の用紙を用意する。



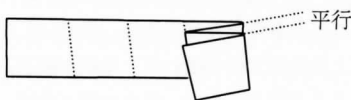
(2) 縦に5等分となるように折る。



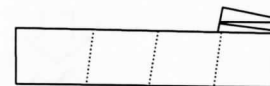
(3) 3目盛りの長さを斜めに折る。



(4) 1目盛りの長さを最初の線と平行に折り返す。



(5) ジグザグを繰り返す。

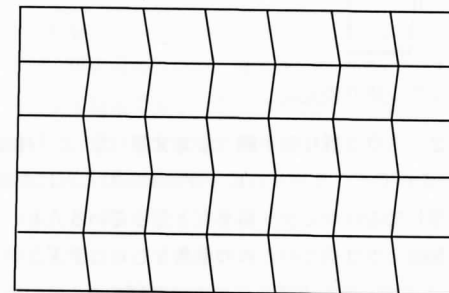


(6) 上下反転して裏側も同じように折る。

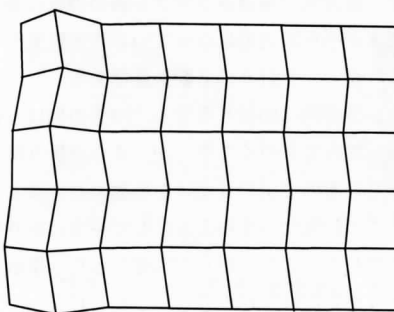


(7) ここでミウラ折りの前半が終わる。

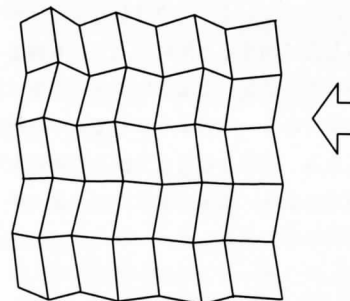
山折り  
谷折り



(8) 用紙を机の上にとったん広げる。



(9) 左端の列を山折りし、次の列を谷折りする。



(10) 山折り、谷折り、山折り、谷折りを繰り返す。

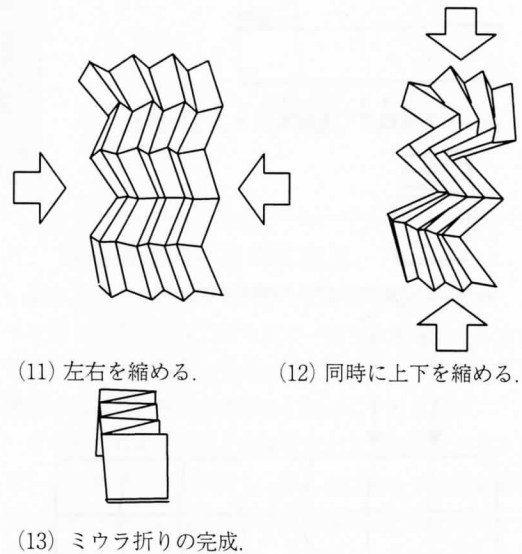


図2. ミウラ折りの手順 (参考文献 (3) より作成)

(7) これでミウラ折りの前半が終わったことになる。早とちりしてこれがミウラ折りだと思っている人もいるが、これはミウラ折りのための準備をしたにすぎない。

(8) ここで一旦、用紙を机の上に広げてみよう。縦に5等分、横に7等分になっている。横方向の線は平行になっているが、縦方向の線はジグザグと斜めの線になって、最小の要素が平行四辺形になっていることに気づくであろう。これがミウラ折りの必要条件である。

左端の列から縦方向に山折りをする。つぎの列は谷折りをする。折ってみて気づくと思うが、ミウラ折りは全体がつながっているので山折りだけを単独に行うことができない。そこで指先でつまむようにして完全に折り切らないで止めておく。また谷折りが困難だったら用紙を裏返して山折りをしたほうがやさしいかもしれない。

(9) ~ (13) このようにして山折り、谷折りを繰り返して、全体を左側に縮めていく。ミウラ折りは全体がつながっているから左右に縮まると同時に上下にも縮まっていく。この過程は折り目がいたまないように慎重に縮めていくことが大事である。このようにしてミウラ折りが完成したことになる。完成したミウラ折りの用紙を左下隅と右上隅を指でつまみ、図1のようにワンタッチで開閉できるか各自確かめてみる。

### 3. 相似図形

ミウラ折りに用いる用紙はA3またはB4とし、縦に5等分、横に7等分するとしたが、ここでは用紙の大き

さと奇数等分にした理由について説明しておこう。

JIS規格によれば、用紙にはA列とB列の2種類があり、面積が1平方メートルをA0とし、その半分をA1、またその半分をA2とするのがA列で、面積が1.5平方メートルをB0とし、その半分をB1、またその半分をB2とするのがB列である。A列、B列の寸法の0番から6番までを表1に示しておく。単位はミリメートルである。

A列	番	B列
841 X 1189	0	1030 X 1456
594 X 841	1	728 X 1030
420 X 594	2	515 X 728
297 X 420	3	364 X 515
210 X 297	4	257 X 364
148 X 210	5	182 X 257
105 X 148	6	128 X 182

表1. JIS規格用紙 (単位: mm)

数学に興味のあるところは、A列、B列ともに相似図形であることである。相似であるから縦と横の比率がすべて同じの長方形となっている。コピー用紙が相似図形であることは中学生のときに習っているはずだが、受験を終えて大学生や社会人になると、このことをすっかり忘れてしまうことが多い。コピー用紙の縦と横の比率を求めよといってもほとんどの人が答えられなくなってしまっていることは残念なことだ。読者は表1の寸法を暗記するのではなく相似の原理を理解し、方程式を立てて比率を求められるようにしておいて欲しい。

縦と横の比率はつぎのようにして求めることができる。長方形の縦と横の比率を1対xとしよう。その半分の長方形を考えてみると、縦が $\frac{x}{2}$ で横が1になるから、

$$1 : x = \frac{x}{2} : 1$$

となり、これを解いて $x = \sqrt{2}$ を得る。つまり、コピー用紙の縦と横の比率は $1 : \sqrt{2}$ であるのだ。

$\sqrt{2} \approx 1.4142$ である。一方、ミウラ折りで用いた等分は、縦が5等分で横が7等分であった。等分された要素の大きさの縦と横の比率は $\frac{7}{5} = 1.4$ であるから、この値は $\sqrt{2}$ に近い値である。ということは、要素がほぼ正方形に近い形で折ることを見込んでいる値でもある。また、5等分、7等分はどちらも奇数等分である。奇数にしておくと左下隅と右上隅を指で引っ張れば、用紙が裏返ることなく広げられることになるのだ。ミウラ折りの縦、

横の等分は何等分でもいいはずだが、前掲書はこのあたりの隅々にまで気遣ってくれている。

### 4. 地図に応用

ミウラ折りの原理を応用した太陽電池のパネルは日本の実験用衛星N2に積み込まれ宇宙で広げられた。ミウラ折りの原理によりワンタッチで広げられたのだが、回収するために閉じるのが上手くいかなかったと聞いている。開くより閉じるほうが難しいのかもしれない。

ミウラ折りは実に素晴らしい。私は数学教育の研究会やシンポジウムで紹介したら、参加者からミウラ折りを応用した地図を見つけたと教えてもらった。京都駅の観光デパートで売っていたというのだ。私はさっそく手配して取り寄せた。確かに京都市内の地図がミウラ折りできていて、観光客は内ポケットからミウラ折りの地図を取り出し、ワンタッチで広げて行き先を確認し、ワンタッチで閉じてポケットにしまうのだろうか。京都市内の観光地図以外に首都高速の道路図というのもあった。でも最近ではカーナビが進んでいるので紙媒体の地図を見ることがなくなりつつあるかもしれない。

さて、先ほど縦に5等分、横に7等分してミウラ折りを練習していただいたわけだが、ミウラ折りのポイントは横の線が平行になっていて、縦の線がジグザグになっていることである。縦も横も平行、つまり縦線と横線が直角に交わっていればミウラ折りのようにワンタッチで開閉できない。読者は普通の折り方で5等分、7等分したものを作成し、ミウラ折りとの違いを比較検討していただきたい。

また、ミウラ折りの地図は、折り目がわずかにずれるので、普通の地図のように切れにくいという効果がある。図2(13)を参照のこと。

ミウラ折りは横線が平行、縦線がジグザグである。私は、横線もジグザグになるようにできないかと考えてみた。これは数学的に興味あることで、可能である。作図で確認してみると平行四辺形の配置がいびつになるだけで折ることができた。(4) ただし、これがどれほどの意味を持つかはわからない。

### 5. 自然は直角を嫌う?

三浦公亮氏は1970年代に老人の額のシワや宇宙船から撮った地球表面のシワを20年近くも観察の末ミウラ折りを考案したという。ミウラ折りのアイデアは自然を詳しく観察することによって得られたのだ。

雑誌「数学セミナー」に長らく「おもちゃセミナー」として連載されていた戸田盛和氏もミウラ折りについて取り上げておられる。(5) 蛇の歩み、という章である。ここでは、おもちゃ「紙の蛇」をとりあげて蛇腹の機構についての説明がある。蛇が伸び縮みしながら進むためにはミウラ折りのようにジグザグに折り込まれる必要があるとしている。

そういえば、ちょうちんもカメラの蛇腹も同じようにジグザグになっている。うまく折りたたむためには直角は駄目だということだろうか。

トンボや蝶の羽根の脈は直交していないように思える。羽根を閉じて休むときに、直角だと羽根がうまく畳めないのだろうか。図3は、オニヤンマの羽根である。(6) 羽根の前縁はミウラ折りのようにジグザグになっている。また、脈の様子は平行、直角といったものはほとんど見られなく複雑である。幼虫から羽化して成虫になるわけだが、羽根は閉じた状態から開かれるのでミウラ折りに関連しているようだ。

私たちが数学で学ぶ直線、円、2次関数、双曲線などは人工的なもので単純である。このような曲線は自然界にはほとんど存在しない。複雑な模様になった理由があるのだろう。そして、ここまでに至った経過には長い年月が必要であったのであろう。

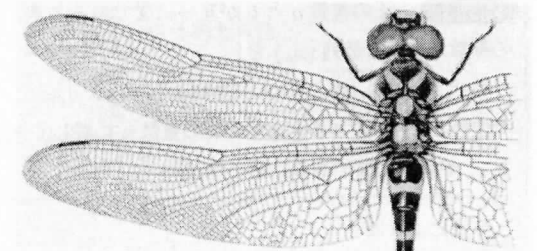


図3. トンボの羽根 (参考文献 (6) より)

### 参考文献

- (1) 朝日新聞:ひと 宇宙構造物設計家 三浦公亮さん /宇宙の折り紙・ミウラ折りって何ですか, 1994.11.30
- (2) 三浦公亮「宇宙に開く魔法の“オリガミ”」【科学朝日】1988.2
- (3) 三浦公亮, 長友信人『ソーラーセイル』丸善, 1993
- (4) 西山豊「“ミウラ折り”を作ってみよう」【数学教室】1995.6
- (5) 戸田盛和『続おもちゃセミナー』日本評論社, 1979
- (6) 『昆虫の図鑑』小学館, 1987  
(にしやまゆたか/大阪経済大学)