

# デザイン数学セミナー

— 折り紙と模様の数理編 —

第1回

「折り紙の数理とデザイン」

# 折り紙



紙を折ることで「形」を作る

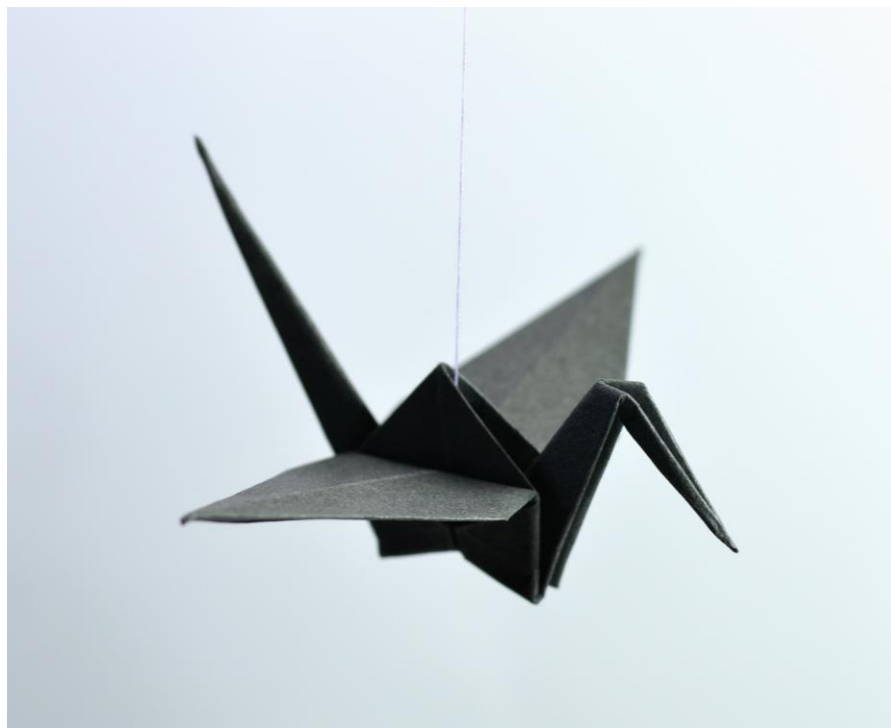


日本における「ものづくり芸術」の代表

# 古典的な折り紙



# 古典折り紙の代表例－折り鶴－

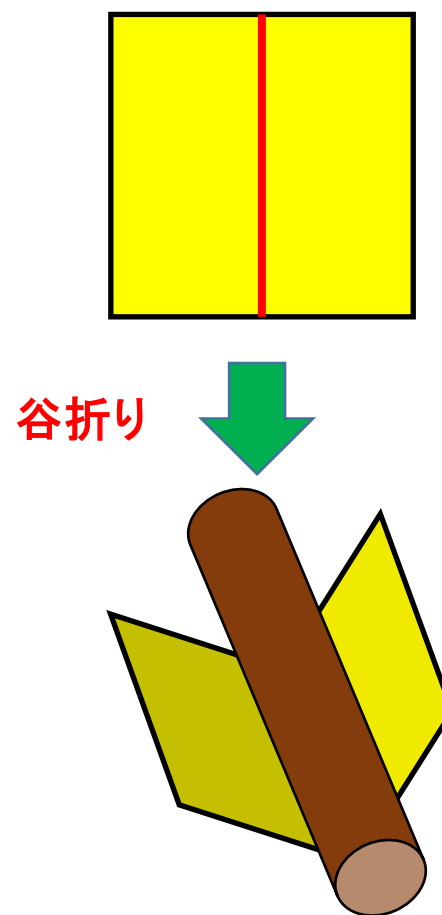
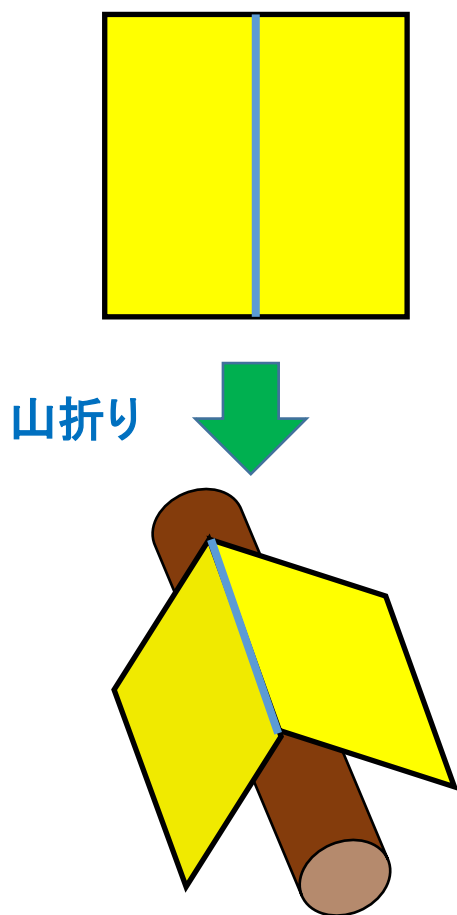


折り鶴

折り鶴の折り方はさまざまな折り紙の「**基本形**」となっている

# 山折りと谷折り

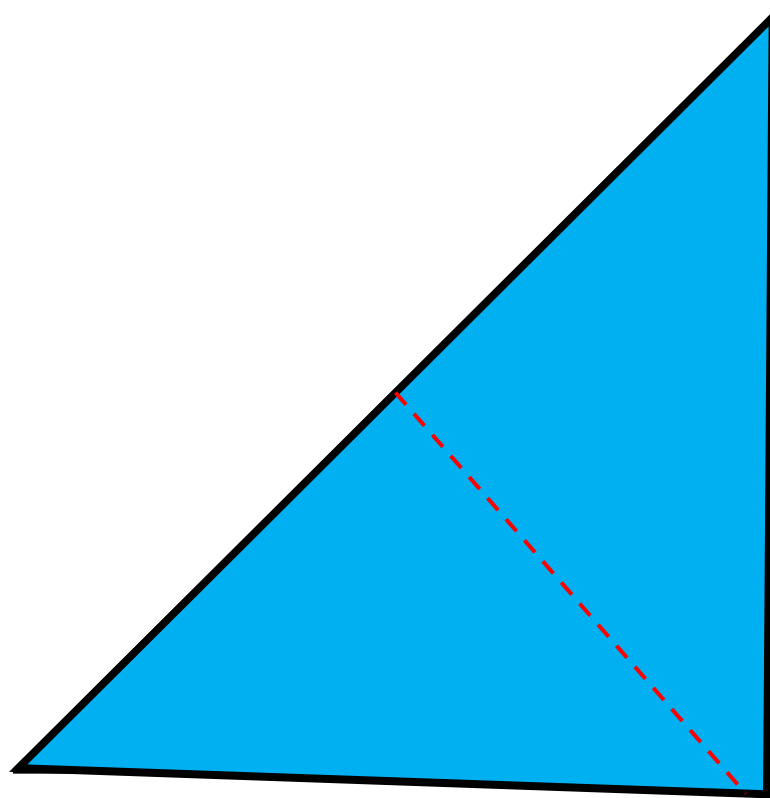
## 「山折り」と「谷折り」について



\_\_\_\_\_



# 【実践】 鶴を折ってみましょう。



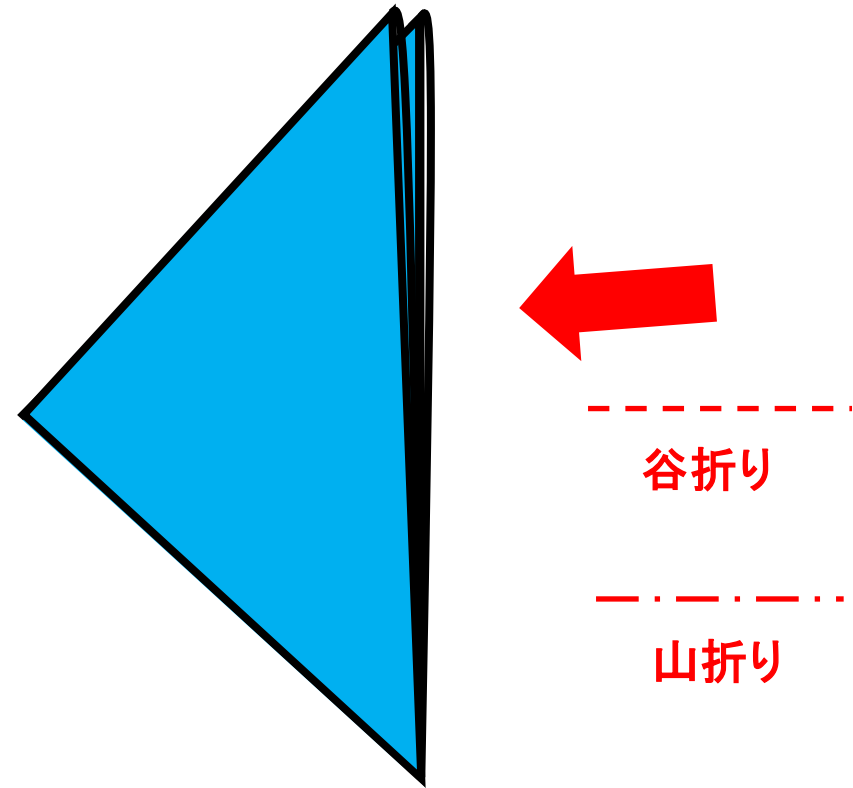
-----

谷折り

-----

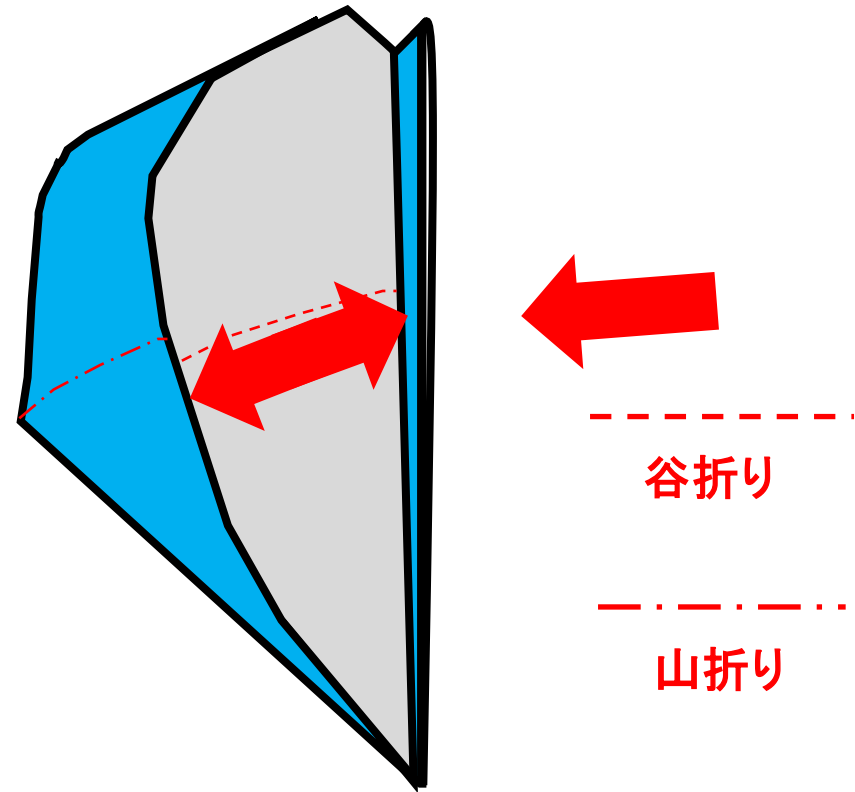
山折り

# 【実践】 鶴を折ってみましょう。

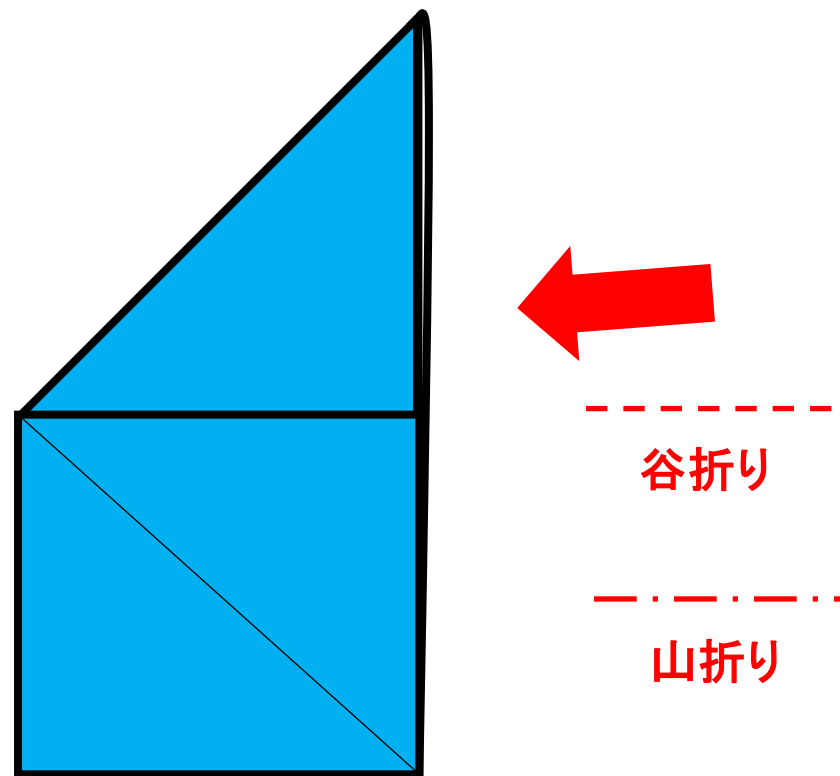




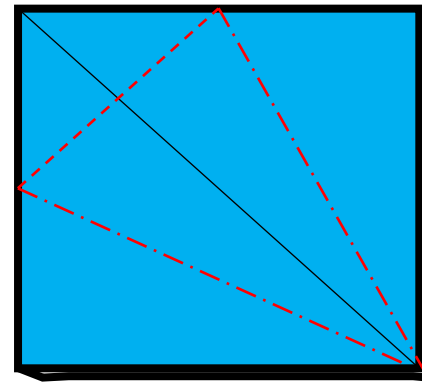
# 【実践】 鶴を折ってみましょう。



# 【実践】 鶴を折ってみましょう。



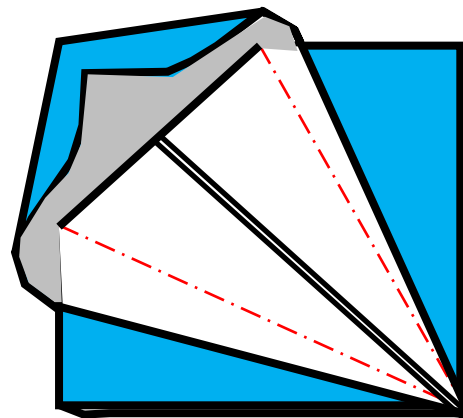
# 【実践】 鶴を折ってみましょう。



谷折り

山折り

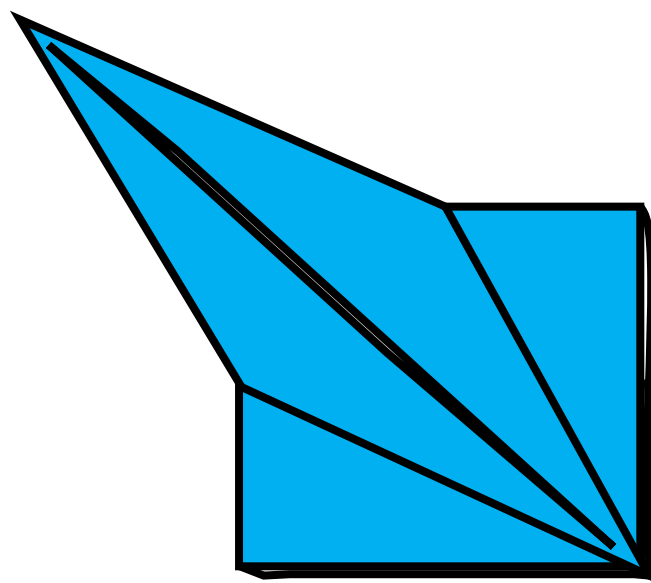
# 【実践】 鶴を折ってみましょう。



谷折り

山折り

# 【実践】 鶴を折ってみましょう。



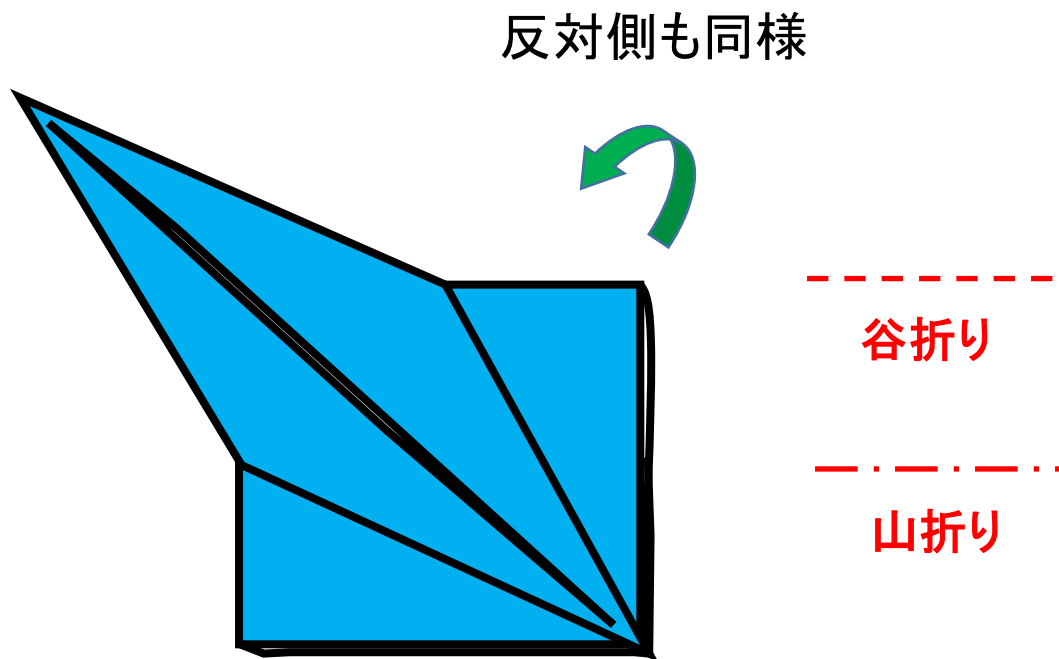
-----

谷折り

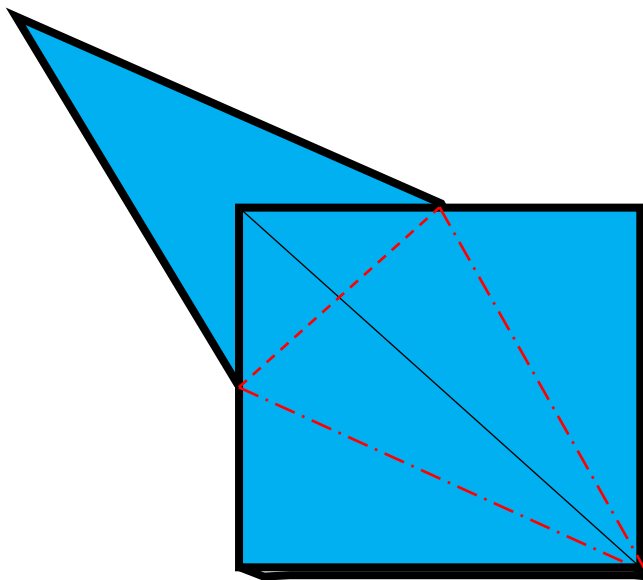
-----

山折り

# 【実践】 鶴を折ってみましょう。



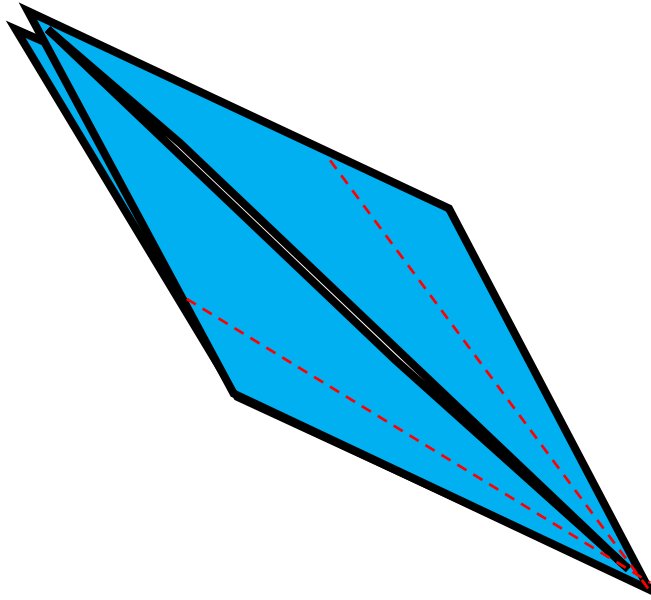
# 【実践】 鶴を折ってみましょう。



谷折り

山折り

# 【実践】 鶴を折ってみましょう。



-----

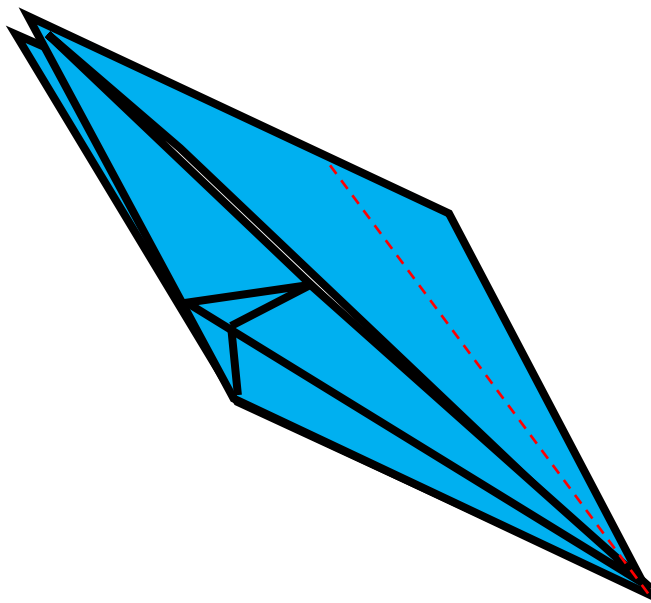
谷折り

-----

山折り



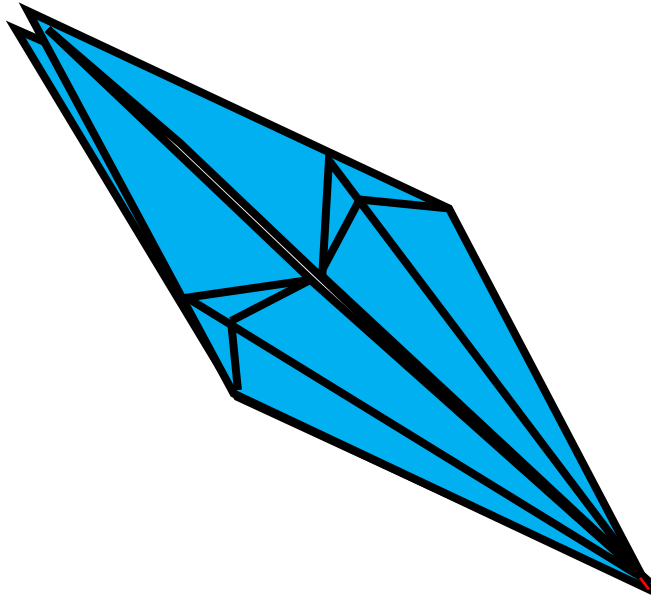
# 【実践】 鶴を折ってみましょう。



-----  
谷折り

-----  
山折り

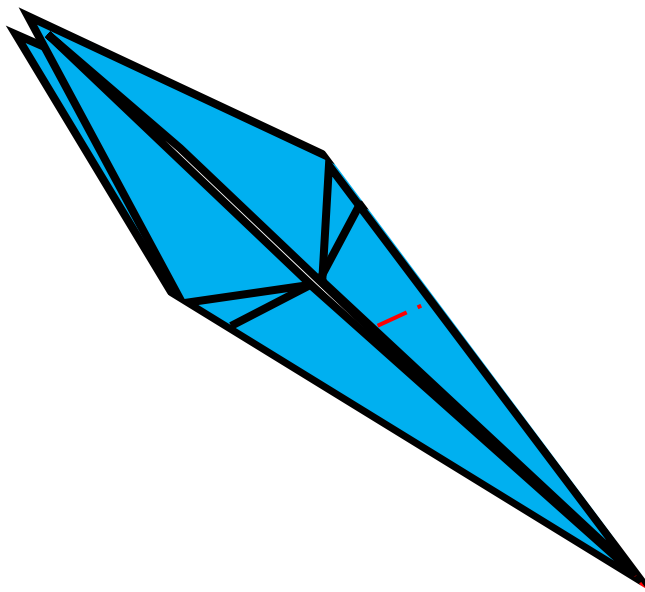
\_\_\_\_\_



## 谷折り

## 山折り

# 【実践】 鶴を折ってみましょう。



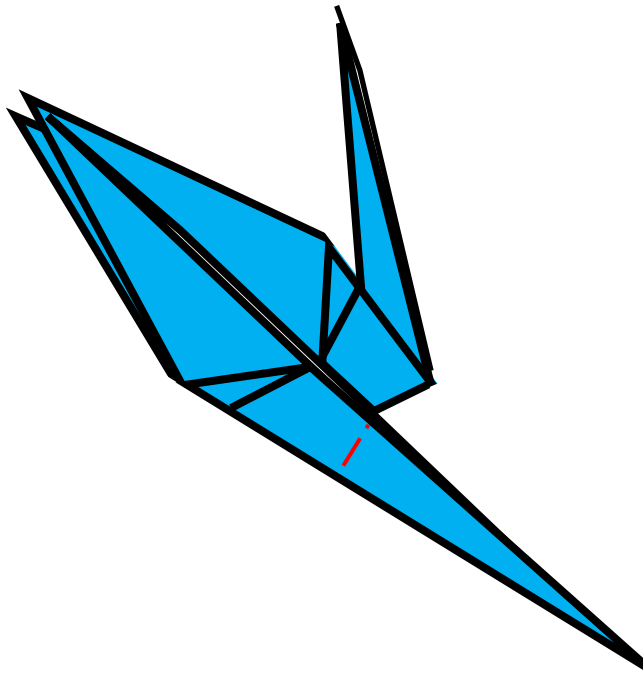
-----

谷折り

-----

山折り

# 【実践】 鶴を折ってみましょう。



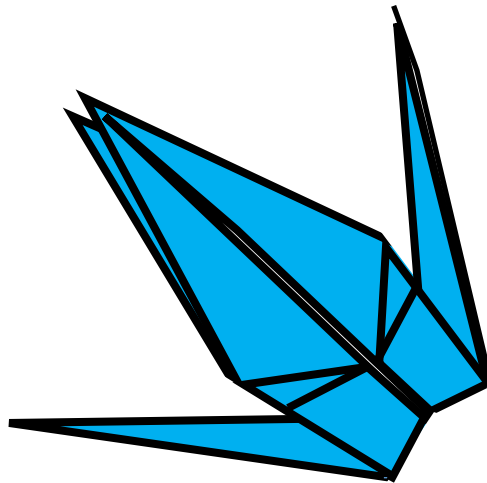
-----

谷折り

-----

山折り

# 【実践】 鶴を折ってみましょう。



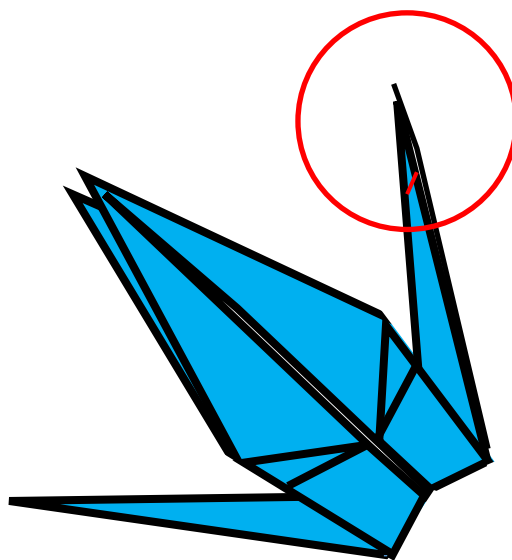
-----

谷折り

-----

山折り

# 【実践】 鶴を折ってみましょう。



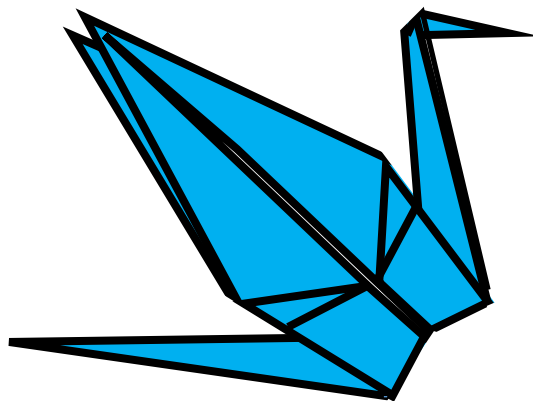
-----

谷折り

-----

山折り

# 【実践】 鶴を折ってみましょう。



完成

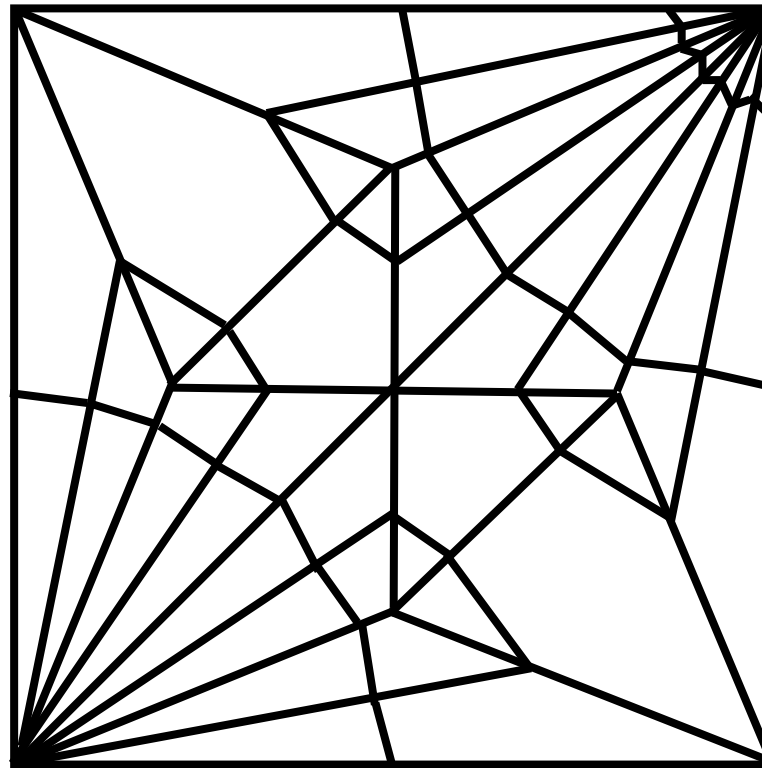
-----

谷折り

-----

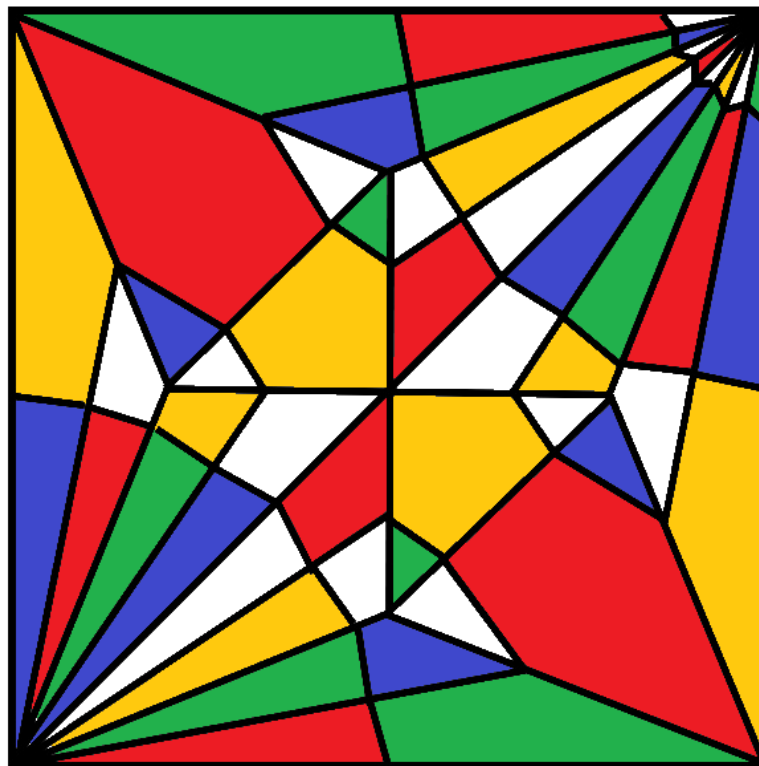
山折り

# 折り鶴の展開図





# 折り紙の展開図を用いたデザイン



# セミナースケジュール

テーマ	内容	目標
折り紙の歴史	折り紙の歴史について	折り紙の歴史を認識すること。
折り紙と模様	折り紙と模様について	折り紙の図形的性質を理解する。
折り紙と数学	折り紙と数学について	折り紙の数学的な性質を知る。
ミウラ折り	ミウラ折りの数理について	ミウラ折り誕生の歴史を知る。

# セミナースケジュール

テーマ	内容	目標
折り紙の歴史	折り紙の歴史について	折り紙の歴史を認識すること。
折り紙と模様	折り紙と模様について	折り紙の図形的性質を理解する。
折り紙と数学	折り紙と数学について	折り紙の数学的な性質を知る。
ミウラ折り	ミウラ折りの数理について	ミウラ折り誕生の歴史を知る。

## 折り紙と歴史

# 折り紙の歴史

7世紀

大陸から“紙”が伝わる

平安  
鎌倉

大量に紙が生産されるように  
供物や贈り物の美しく「包む」ために紙を折る文化が生まれる

室町

小笠原家、伊勢家により「紙包みの礼法」が整備される

江戸

色付きの紙が庶民にも普及  
1797年 世界最古の折り紙本「秘傳千羽鶴折形」が出版

明治

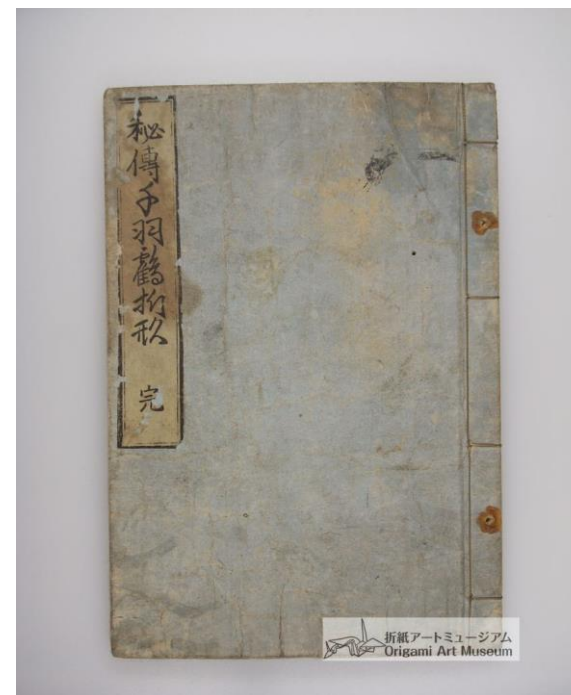
洋紙が普及し折り紙が学校教材として使われる

# 折り紙の歴史

小笠原家、伊勢家による整備



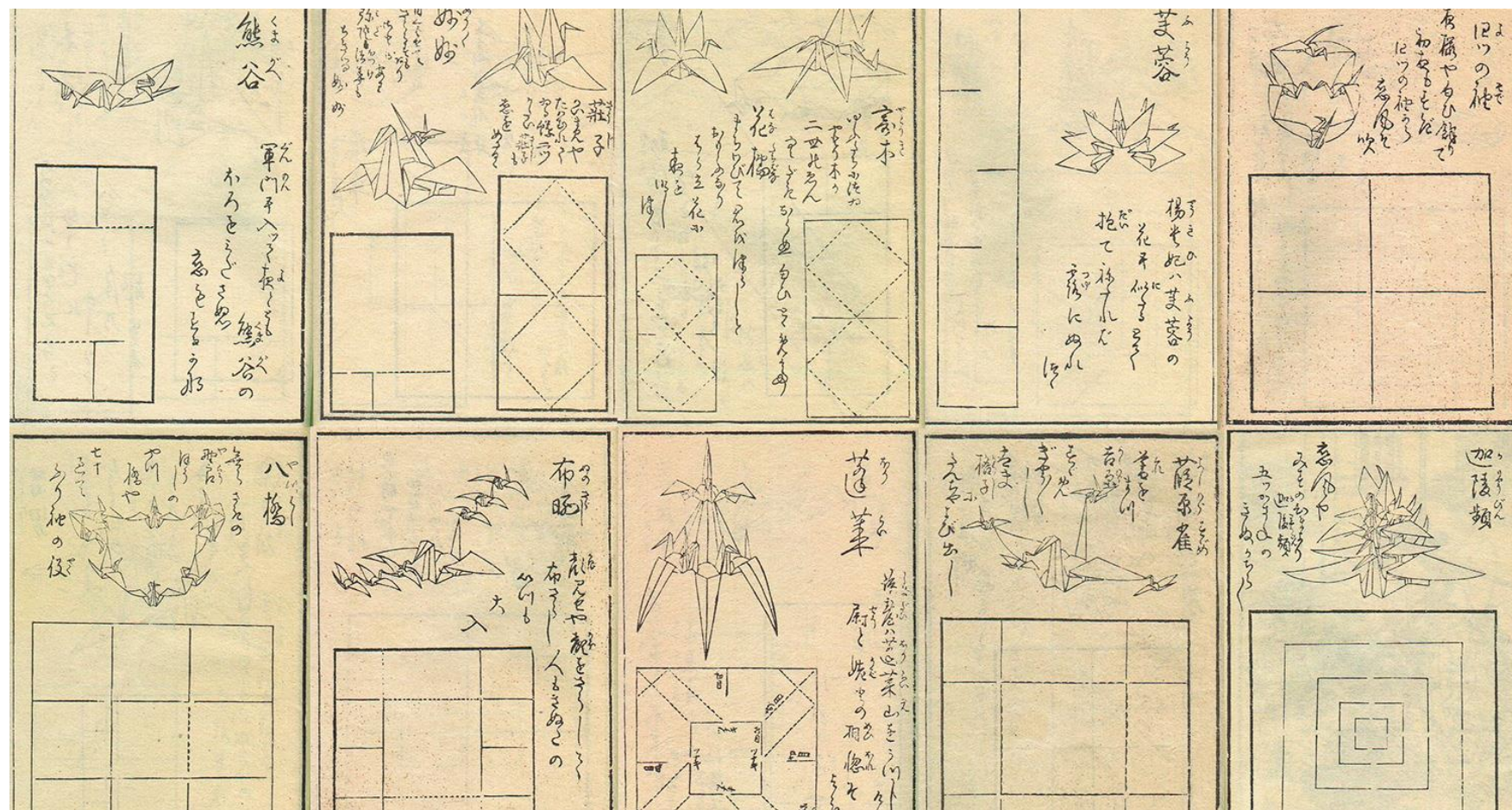
「雌蝶雄蝶」



世界最古の折り紙本  
「秘傳千羽鶴折形」



# 「秘傳千羽鶴折形」



# 現代折り紙 (Origami)

立体化、細密化が進み、より「リアル」な形が折り紙によって実現されてきた。



悪魔(前川淳氏)

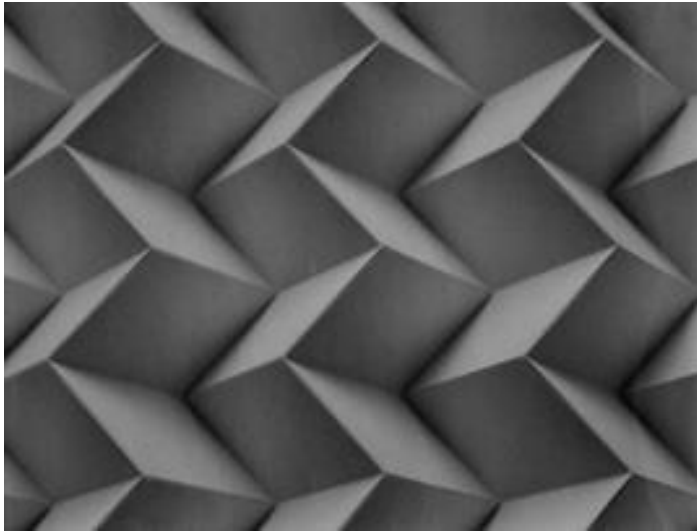
バラ(川崎敏和氏)



龍神(神谷哲史氏)



# ミウラ折り (宇宙工学への応用)



# セミナースケジュール

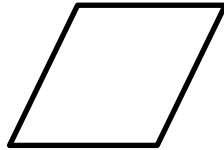
テーマ	内容	目標
折り紙の歴史	折り紙の歴史について	折り紙の歴史を認識すること。
折り紙と模様	折り紙と模様について	折り紙の図形的性質を理解する。
折り紙と数学	折り紙と数学について	折り紙の数学的な性質を知る。
ミウラ折り	ミウラ折りの数理について	ミウラ折り誕生の歴史を知る。

## 折り紙と模様

# 折り紙と模様

---

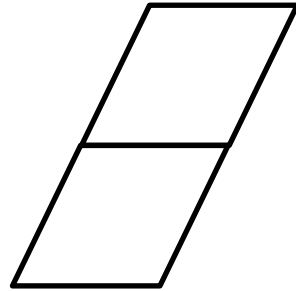
繰り返し模様



# 折り紙と模様

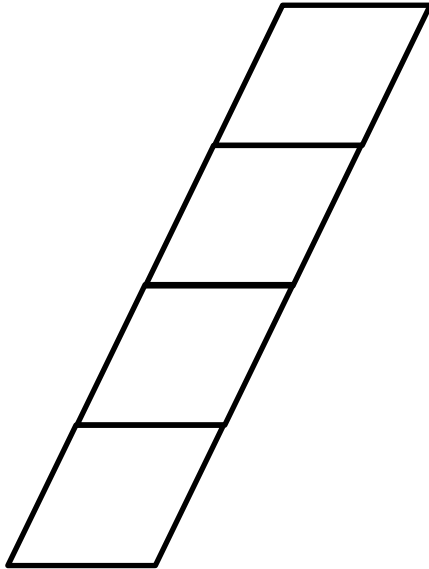
---

繰り返し模様



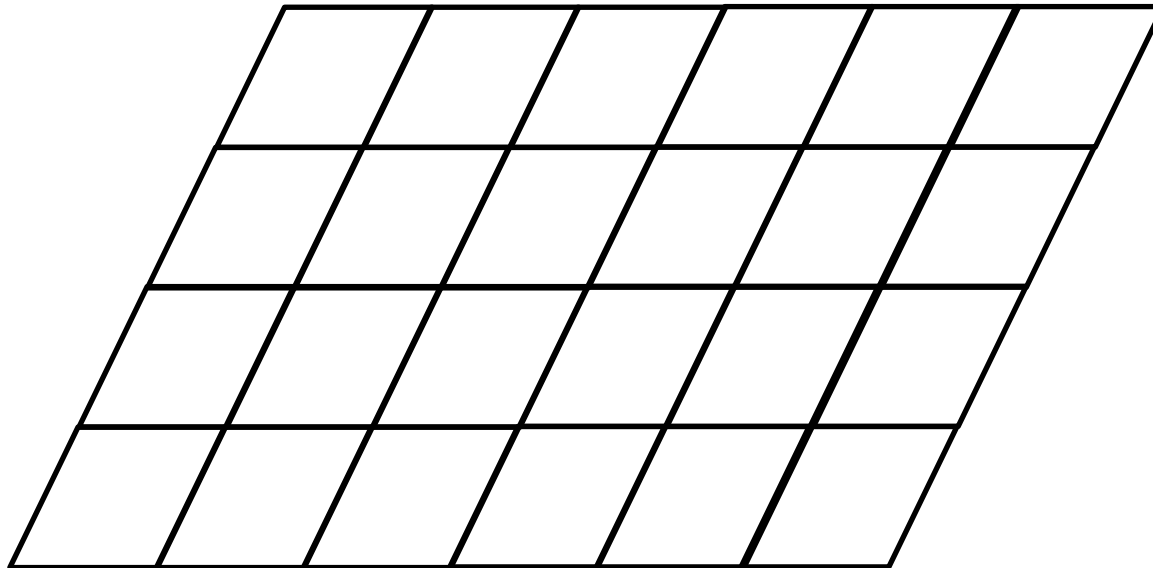
# 折り紙と模様

繰り返し模様



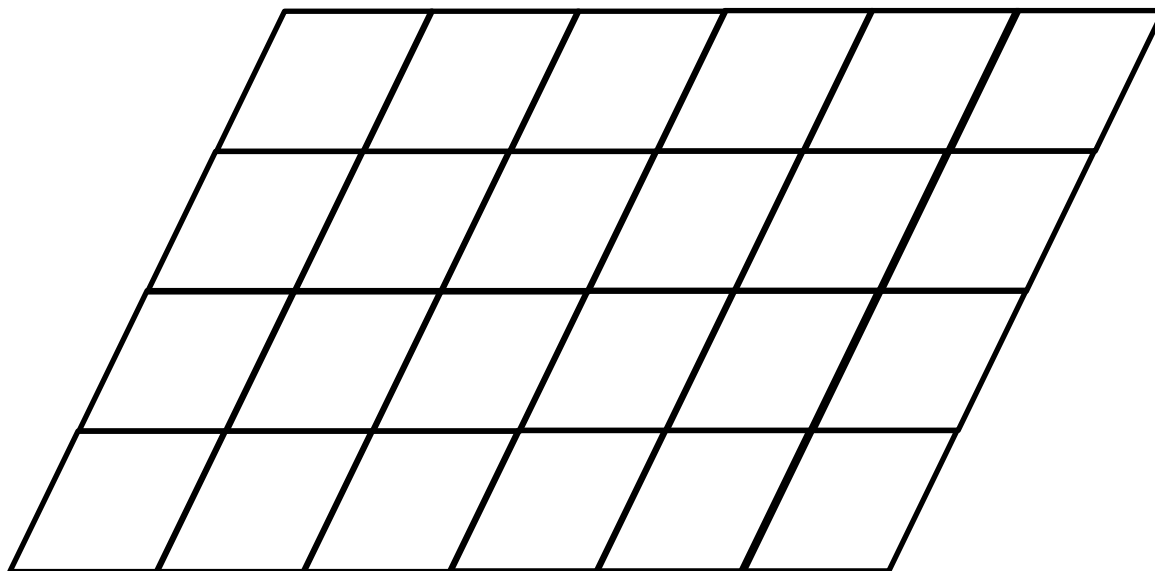
# 折り紙と模様

繰り返し模様



# 折り紙と模様

繰り返し模様

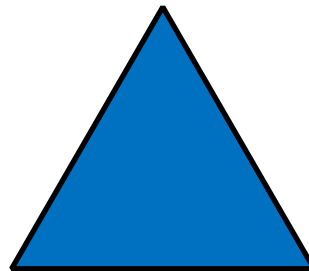


平行移動



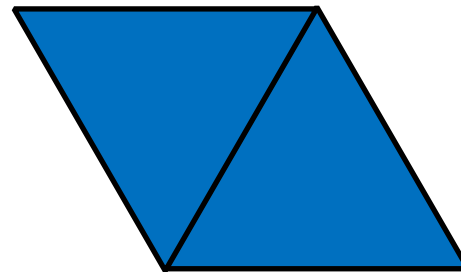
# 折り紙と模様

---



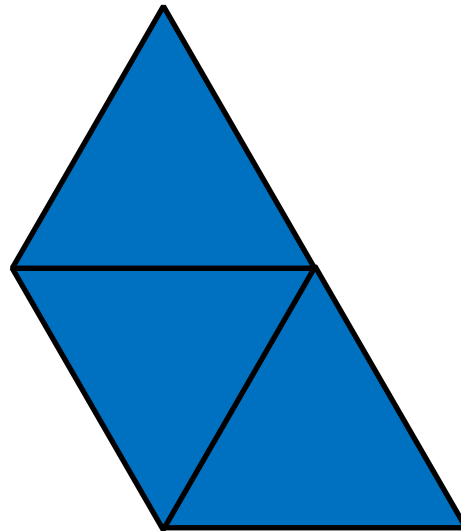
# 折り紙と模様

---



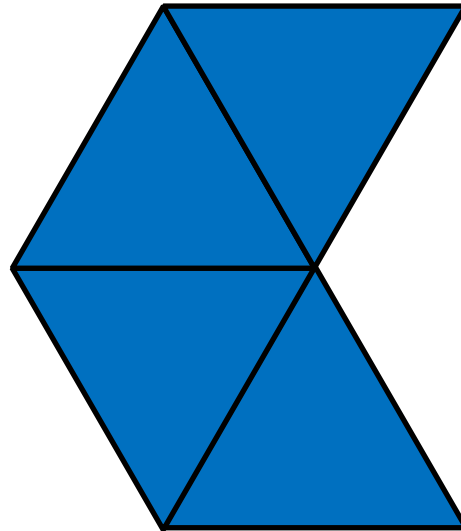
# 折り紙と模様

---



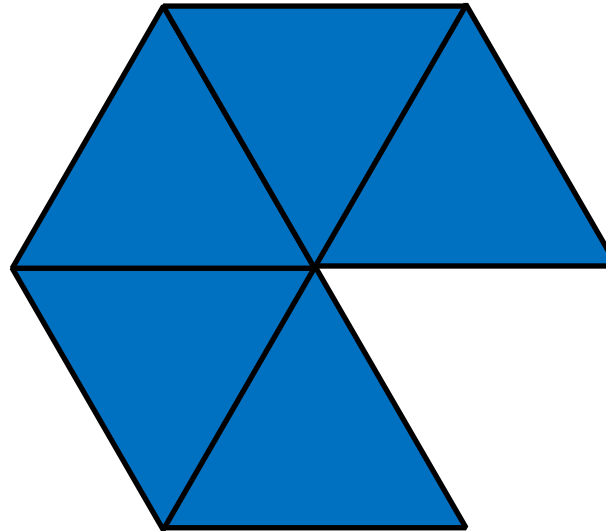
# 折り紙と模様

---



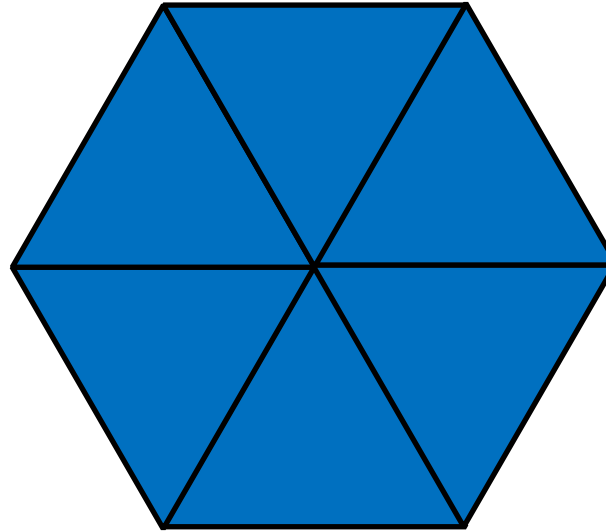
# 折り紙と模様

---



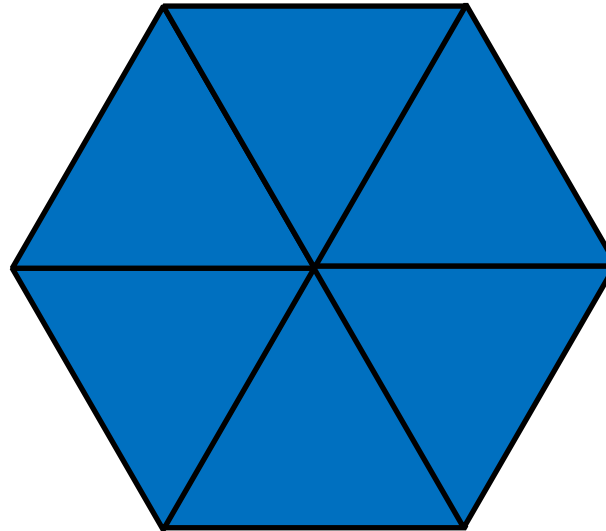
# 折り紙と模様

---



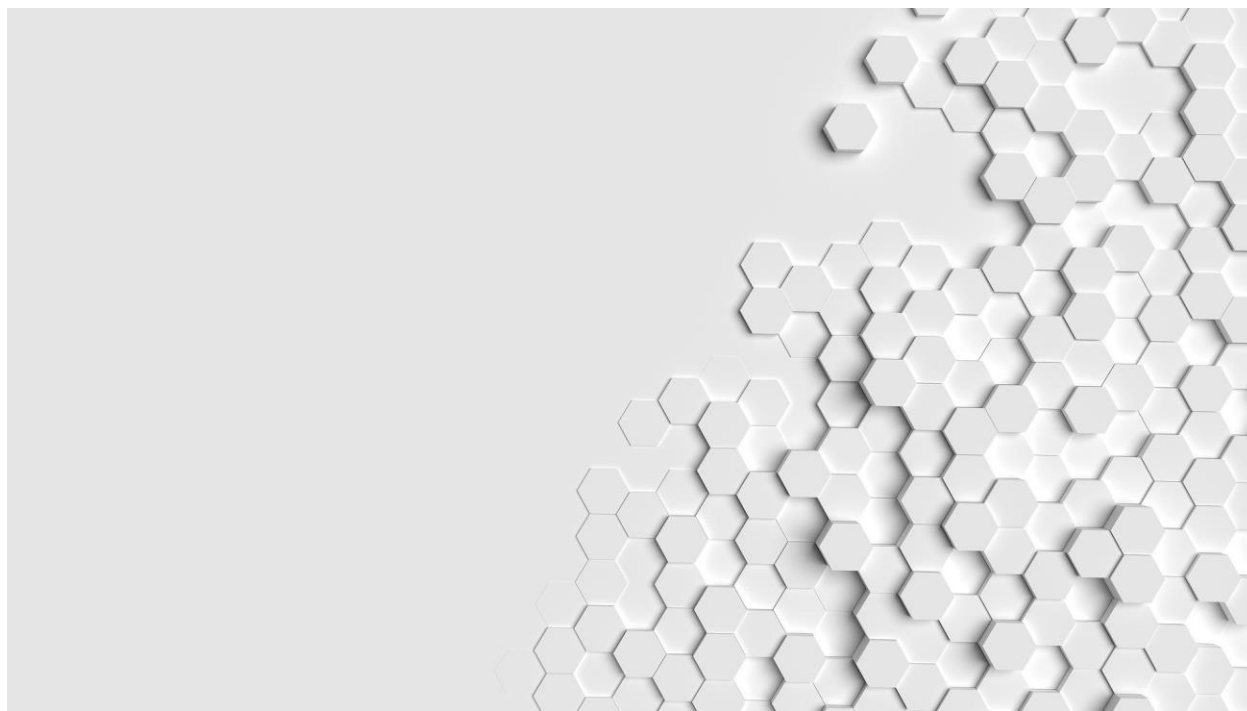
# 折り紙と模様

---



平行移動

# 折り紙と模様



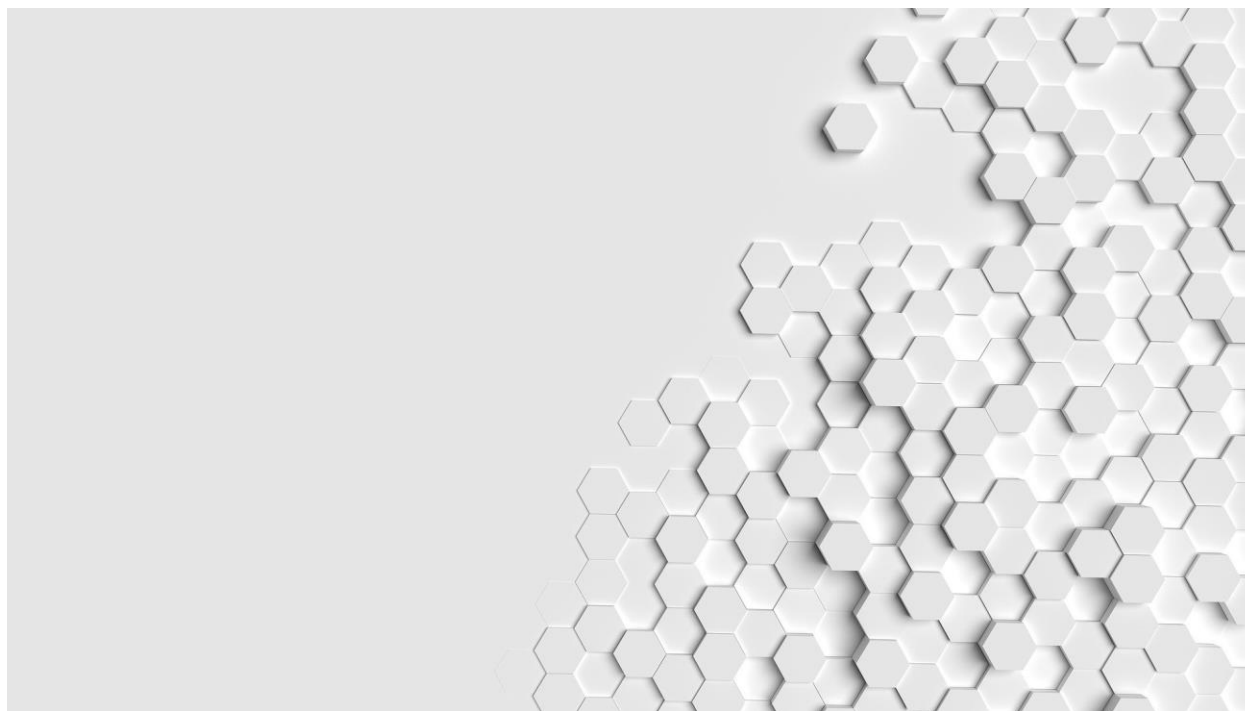
繰り返し模様の構造



- ・平行移動
- ・回転



# 折り紙と模様



繰り返し模様の構造



- ・平行移動
- ・回転
- ・鏡反射

# 折り紙と模様



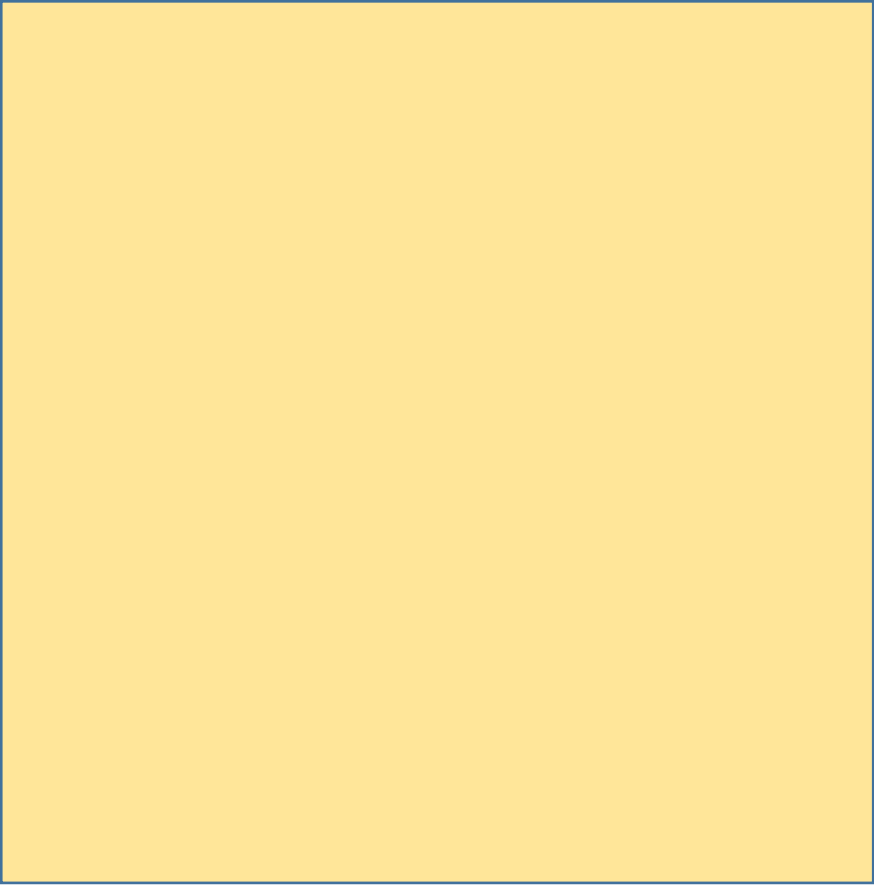
繰り返し模様の構造



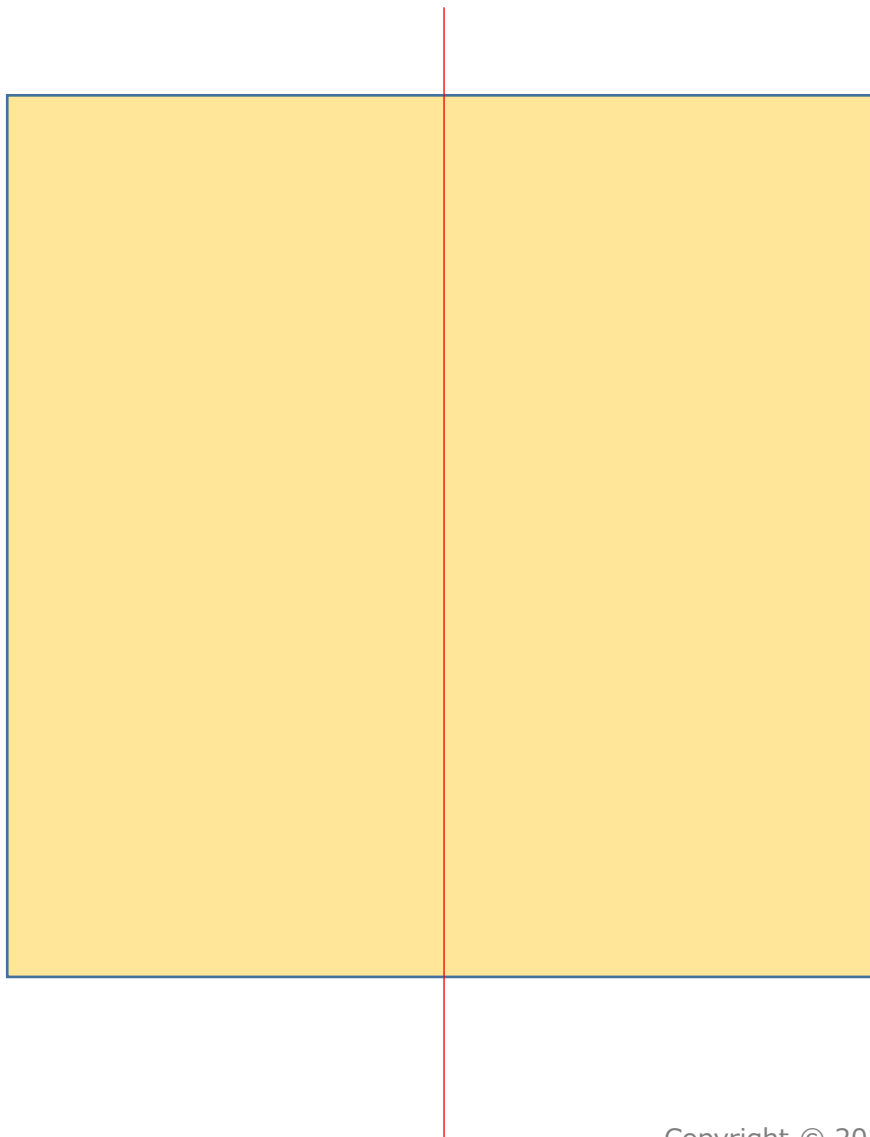
- ・平行移動
- ・回転
- ・鏡反射

折り紙

# 折り紙と模様

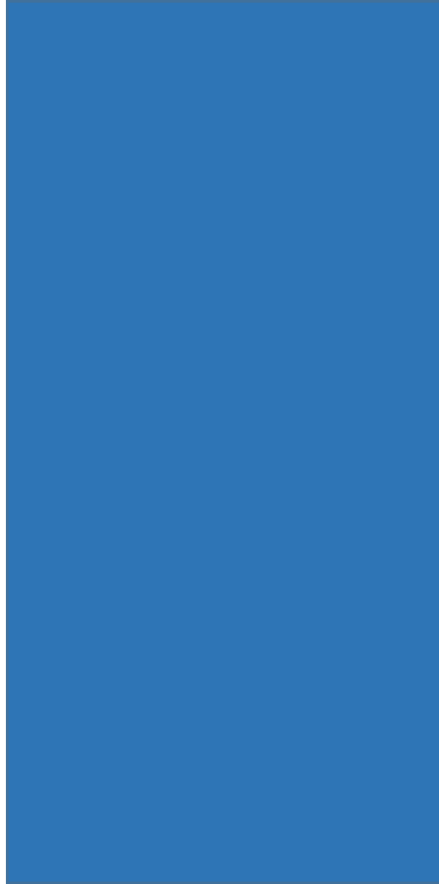


# 折り紙と模様

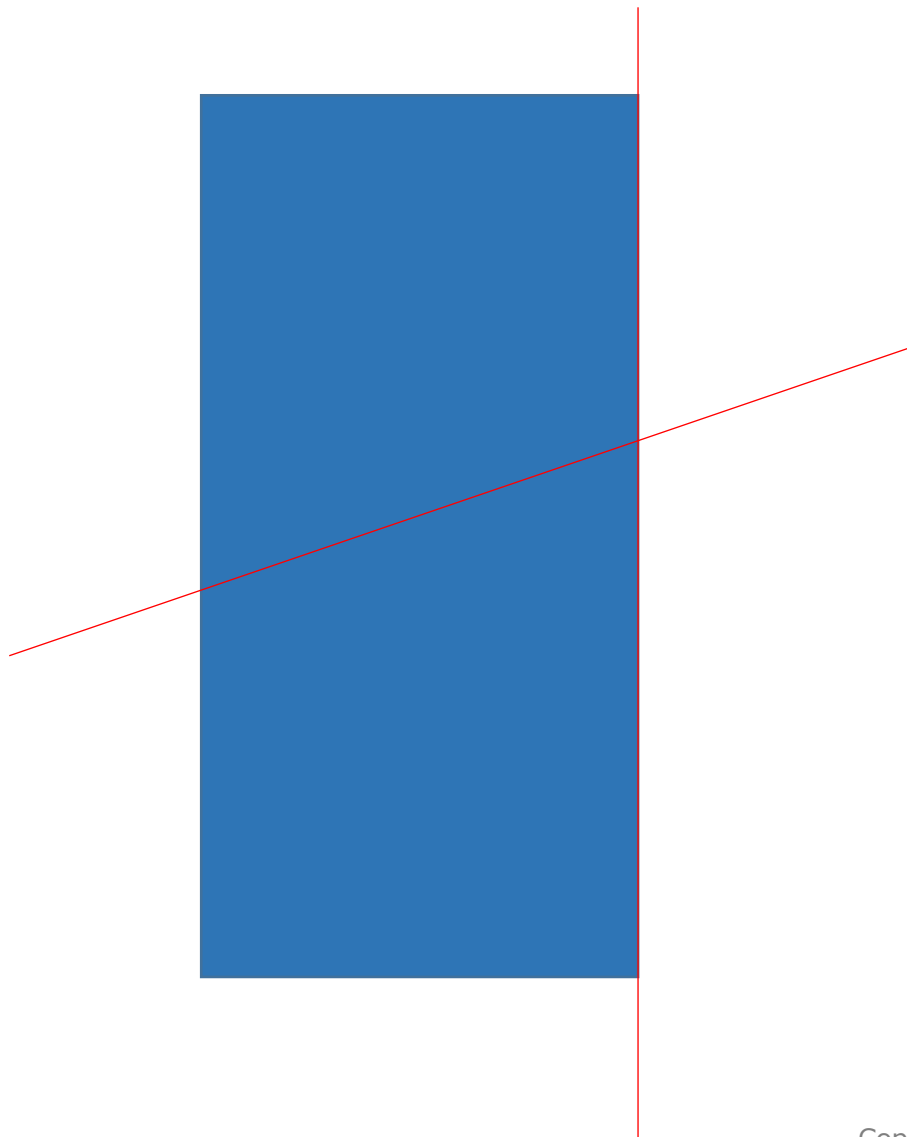


# 折り紙と模様

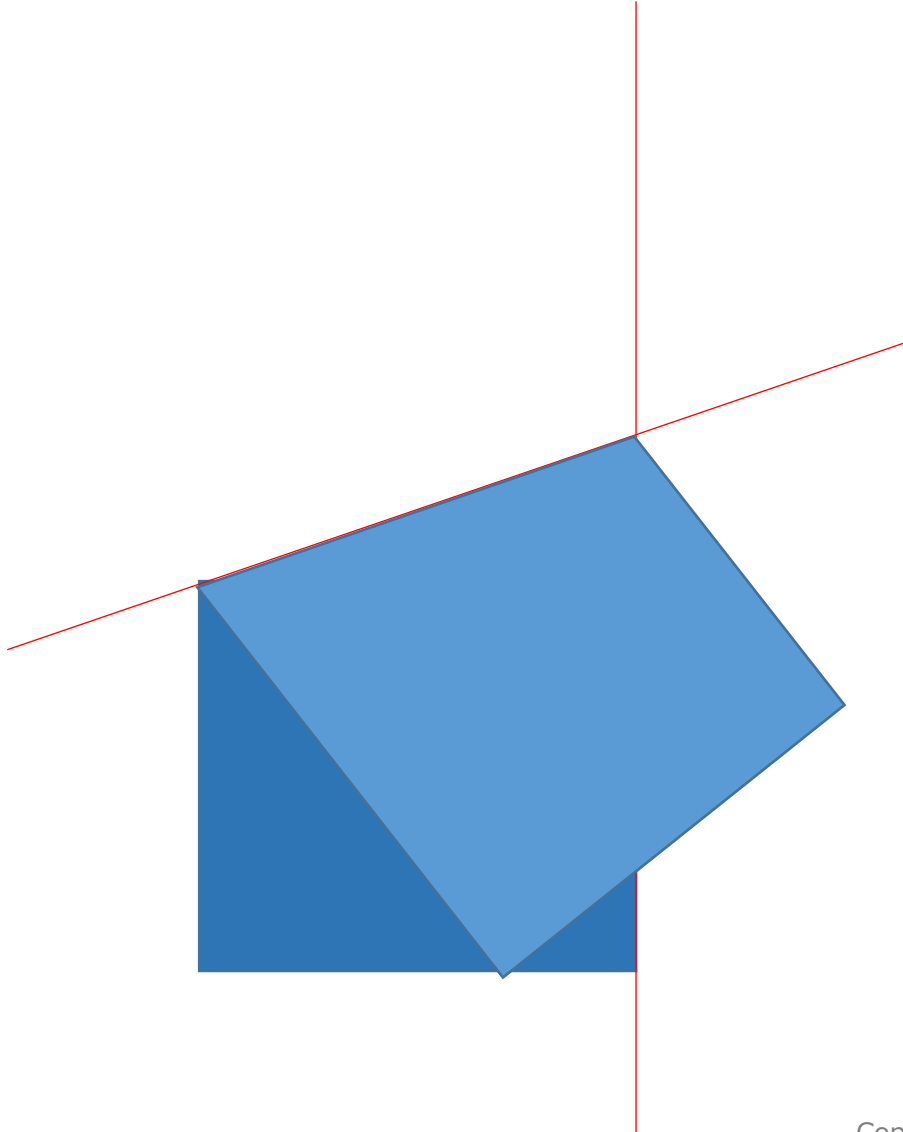
---



# 折り紙と模様

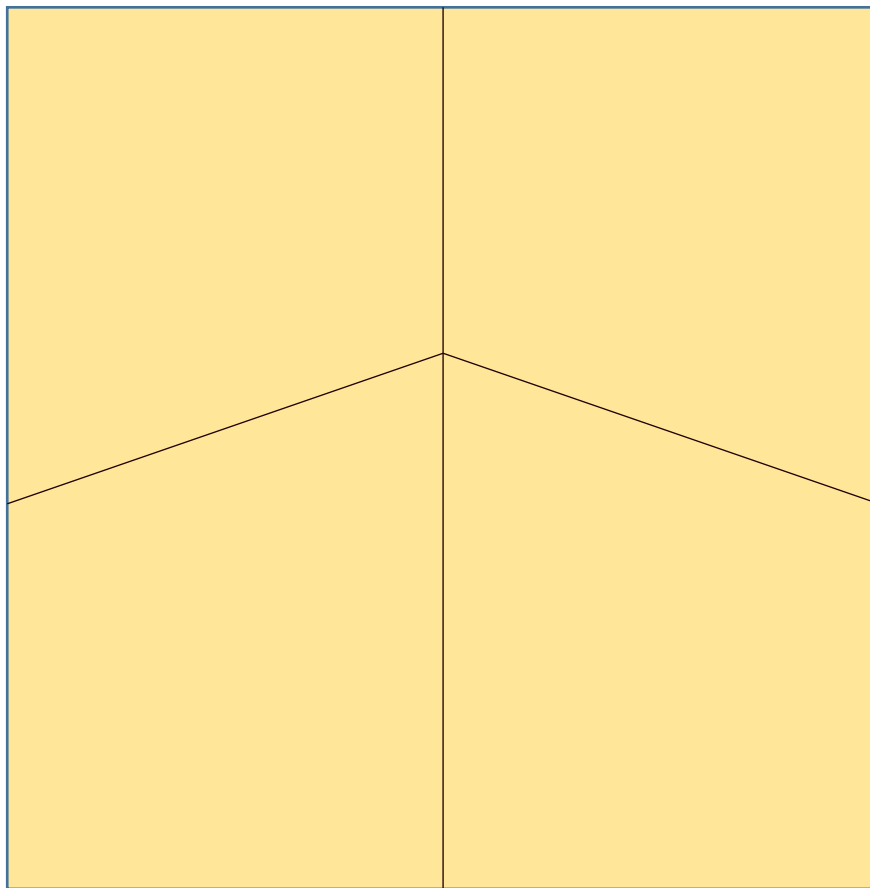


# 折り紙と模様



# 折り紙と模様

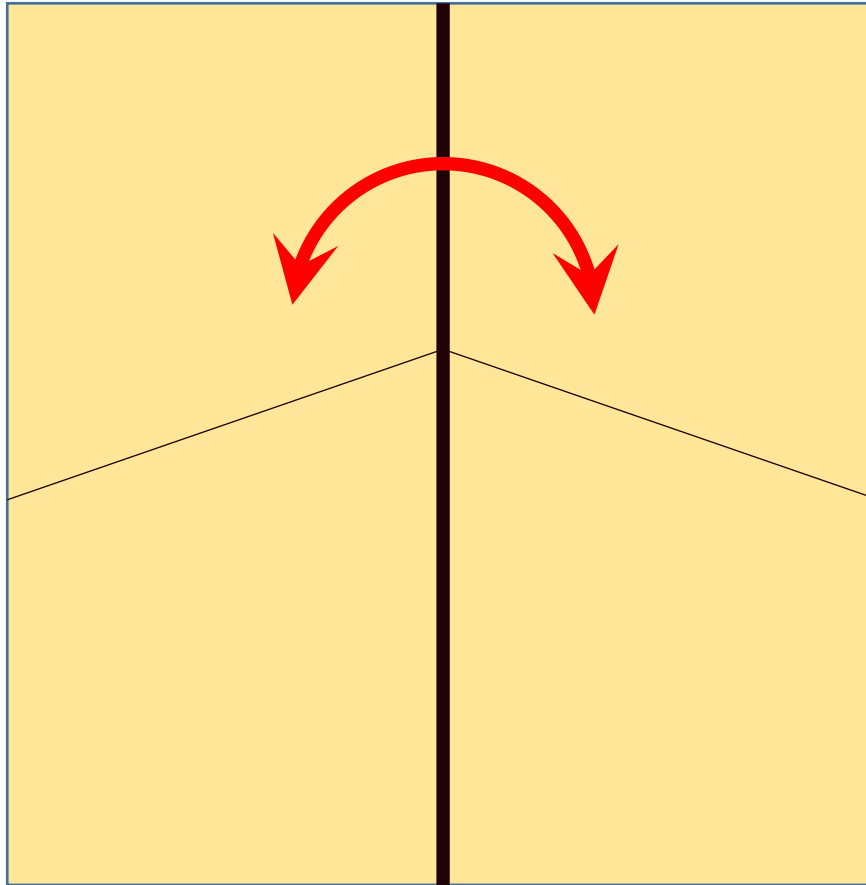
---



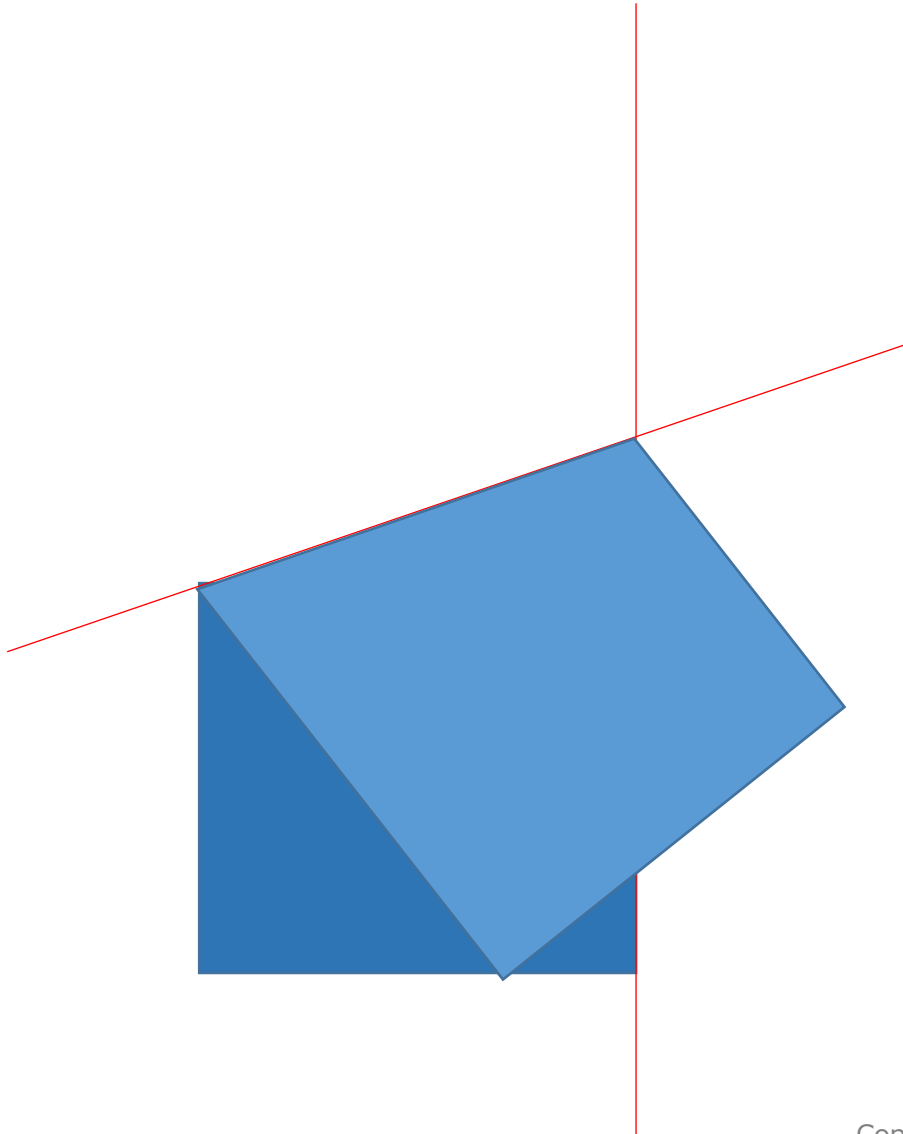


# 折り紙と模様

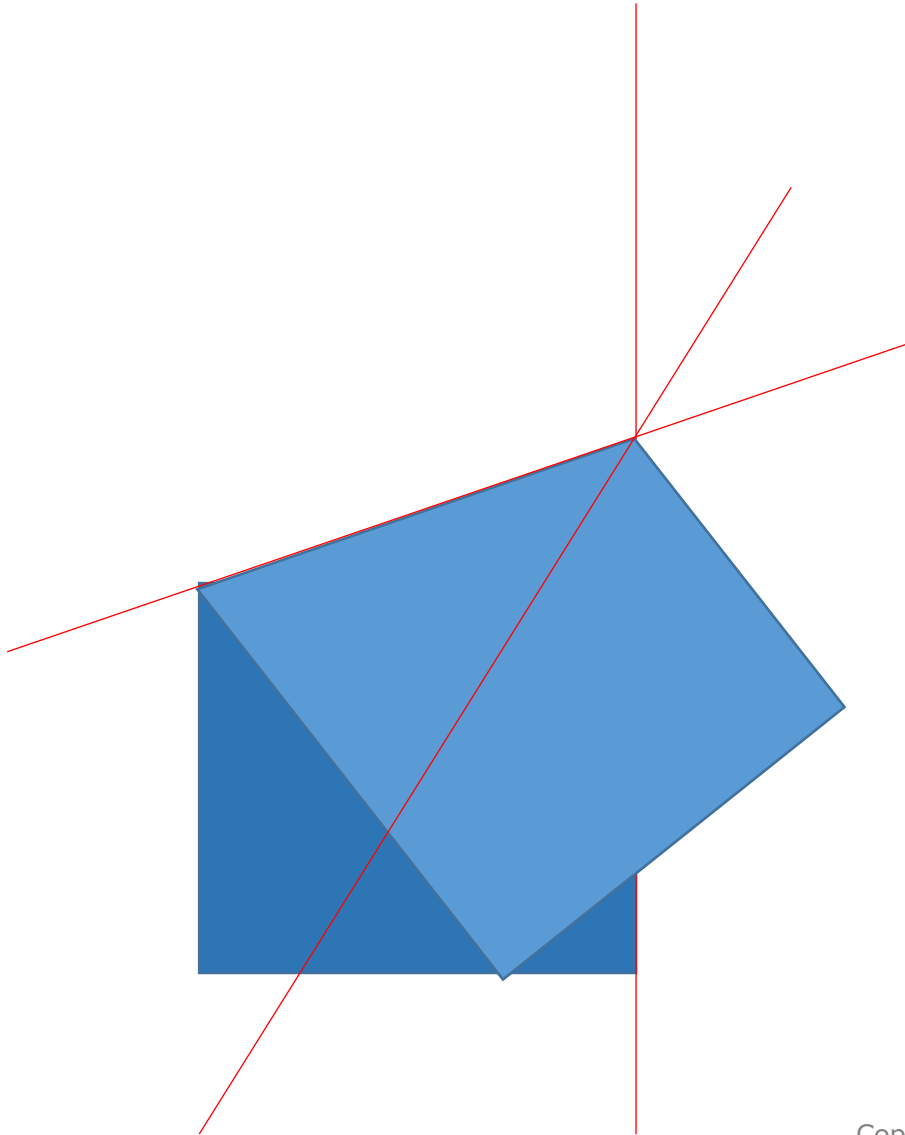
鏡反射の関係



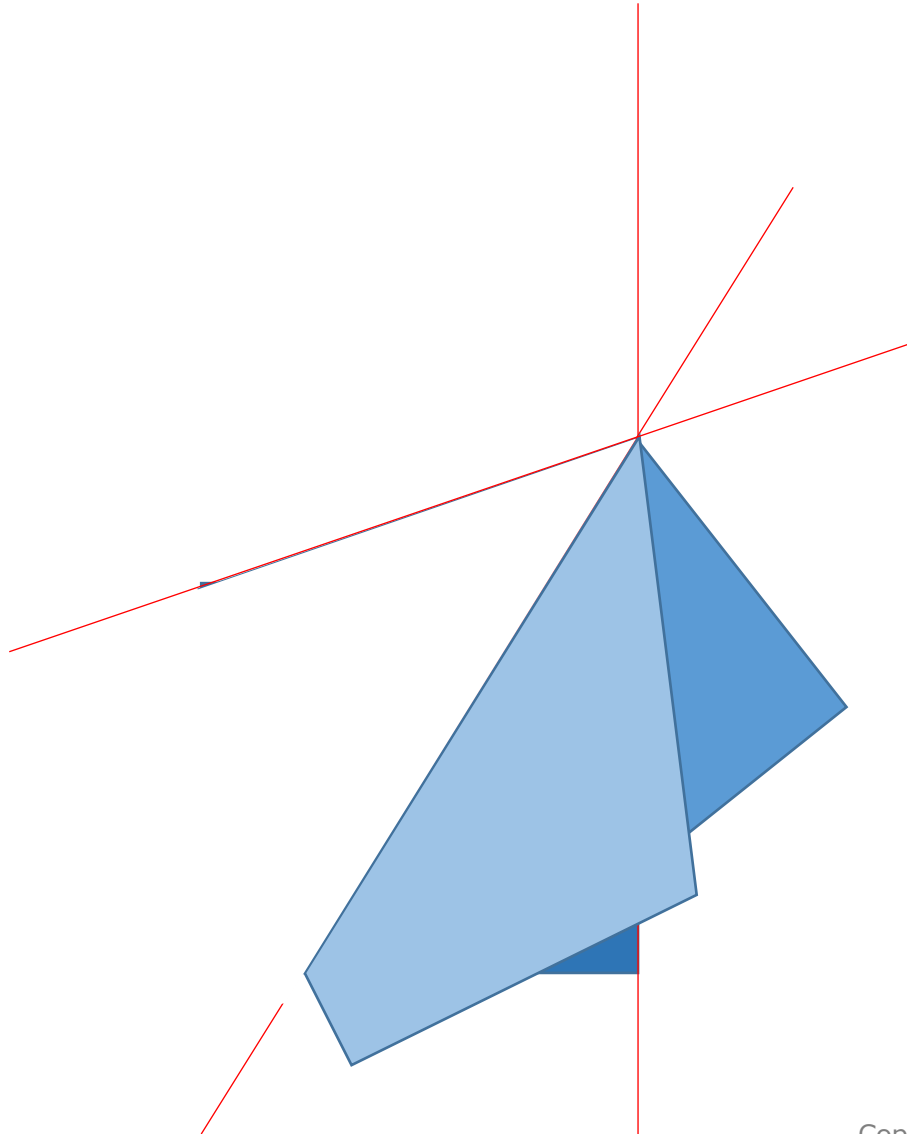
# 折り紙と模様



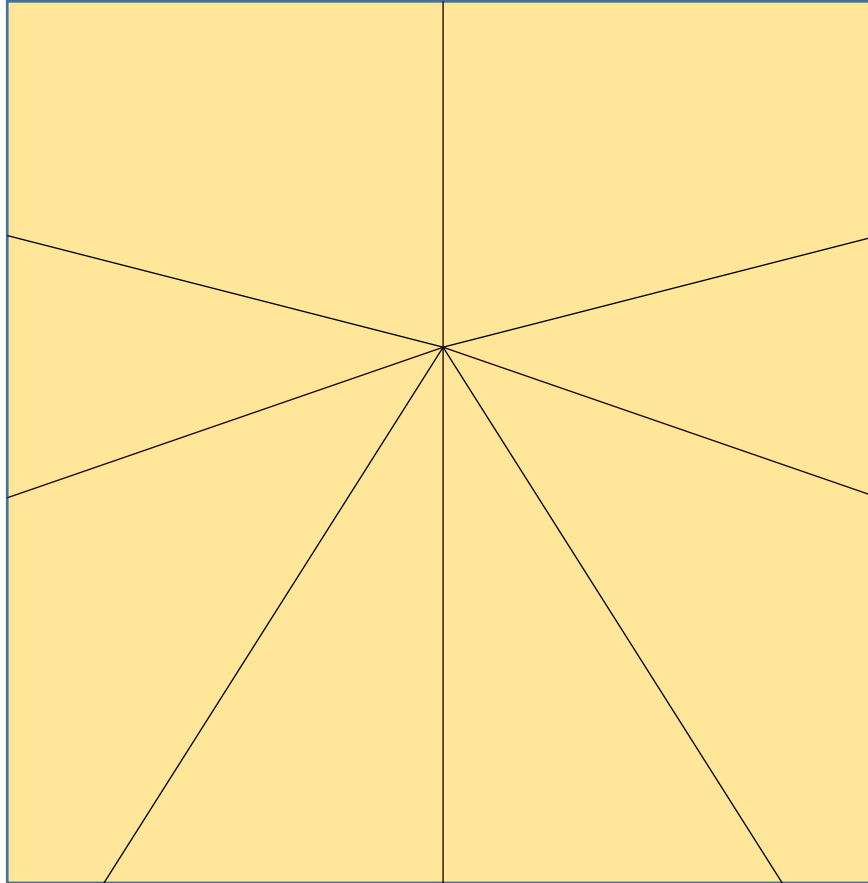
# 折り紙と模様



# 折り紙と模様

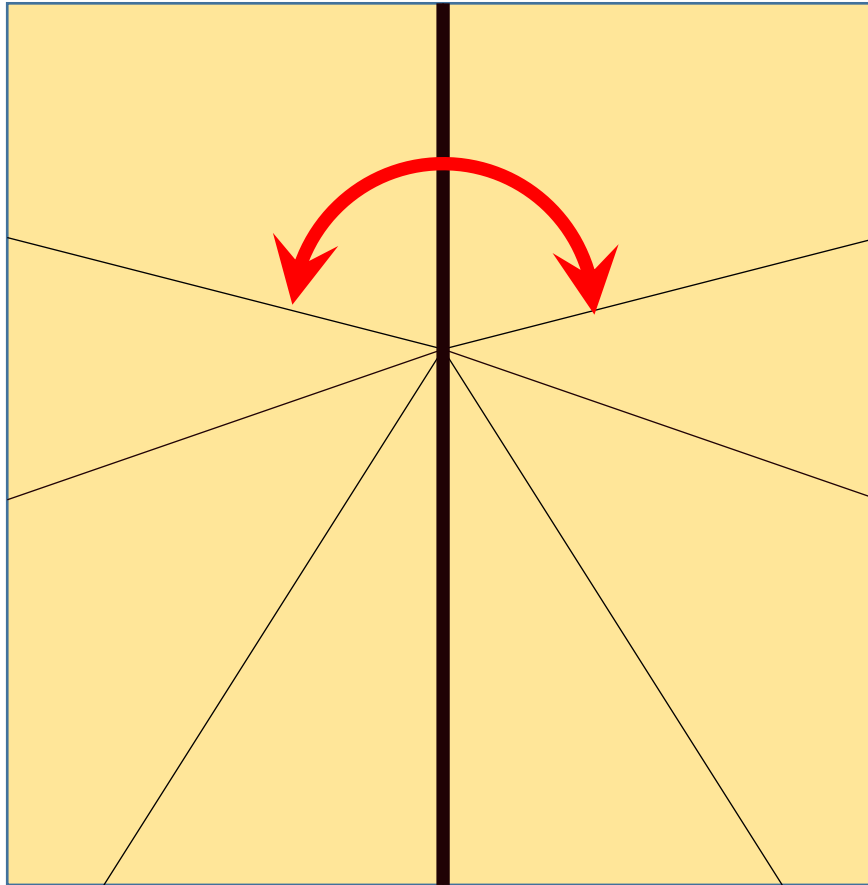


# 折り紙と模様



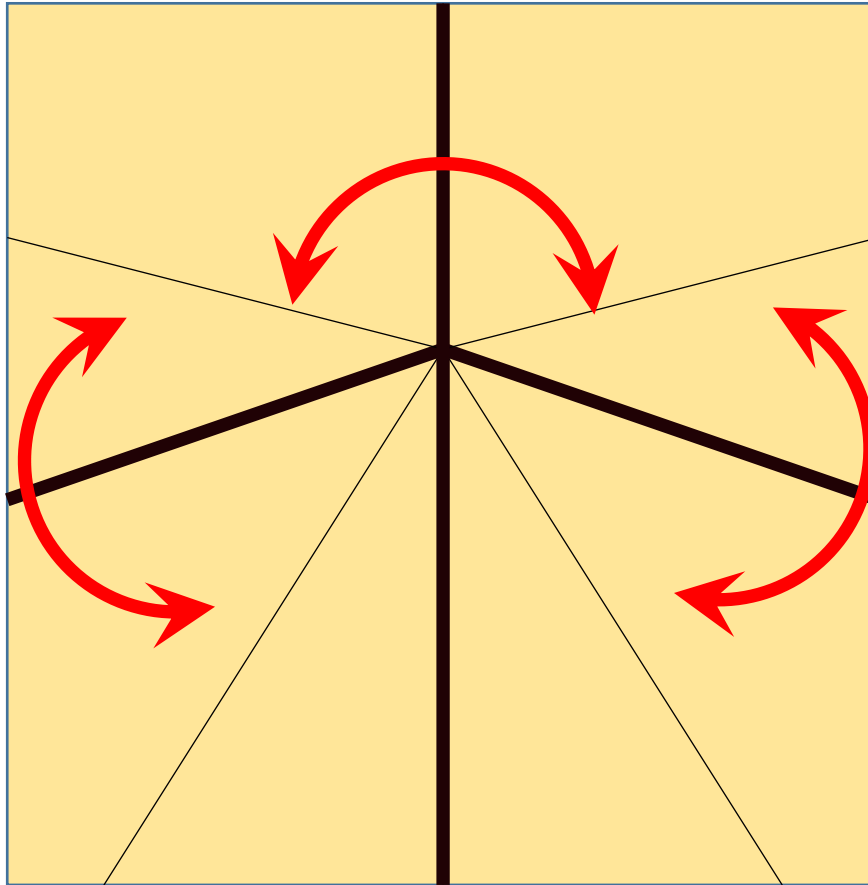
# 折り紙と模様

鏡反射の関係



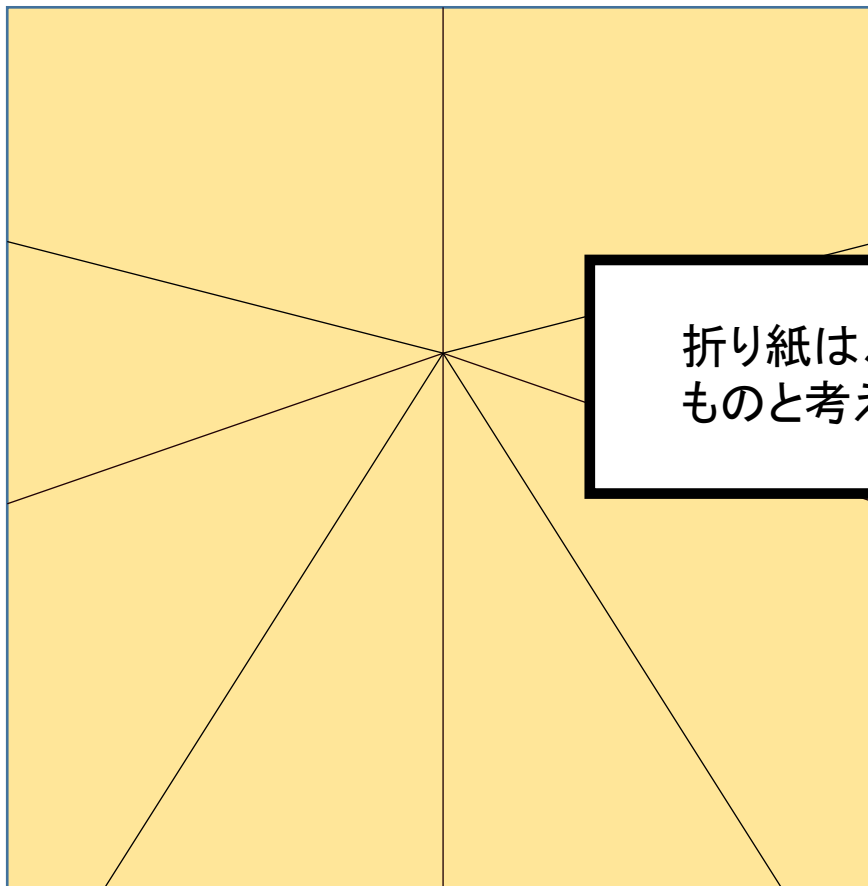
# 折り紙と模様

鏡反射の関係



# 折り紙と模様

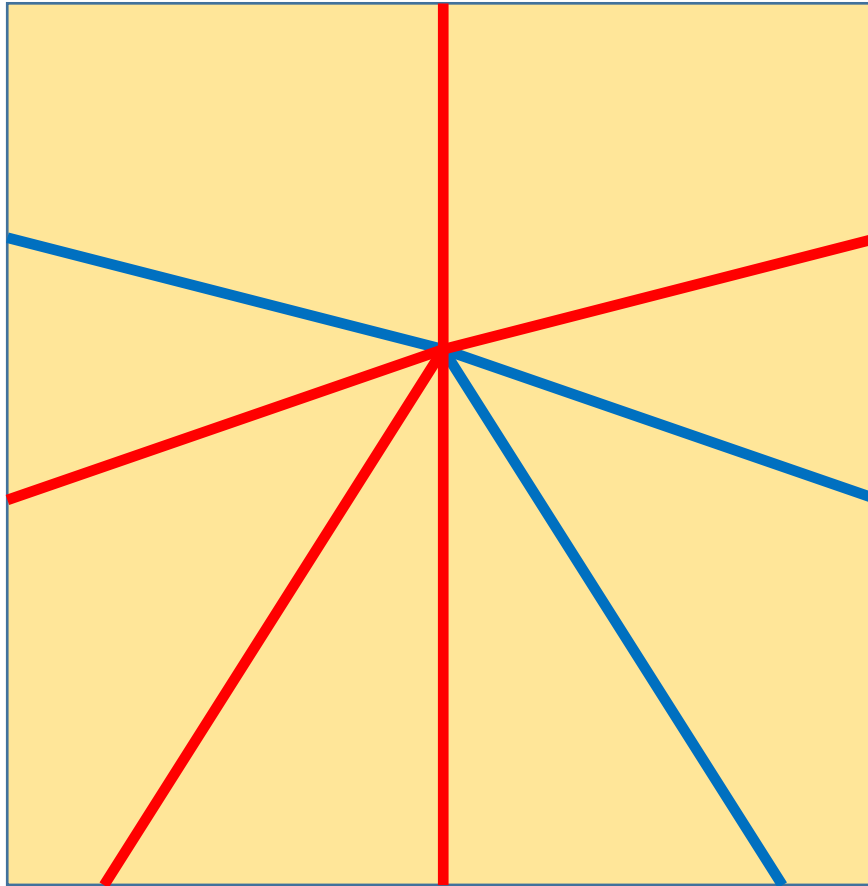
## 鏡反射の関係



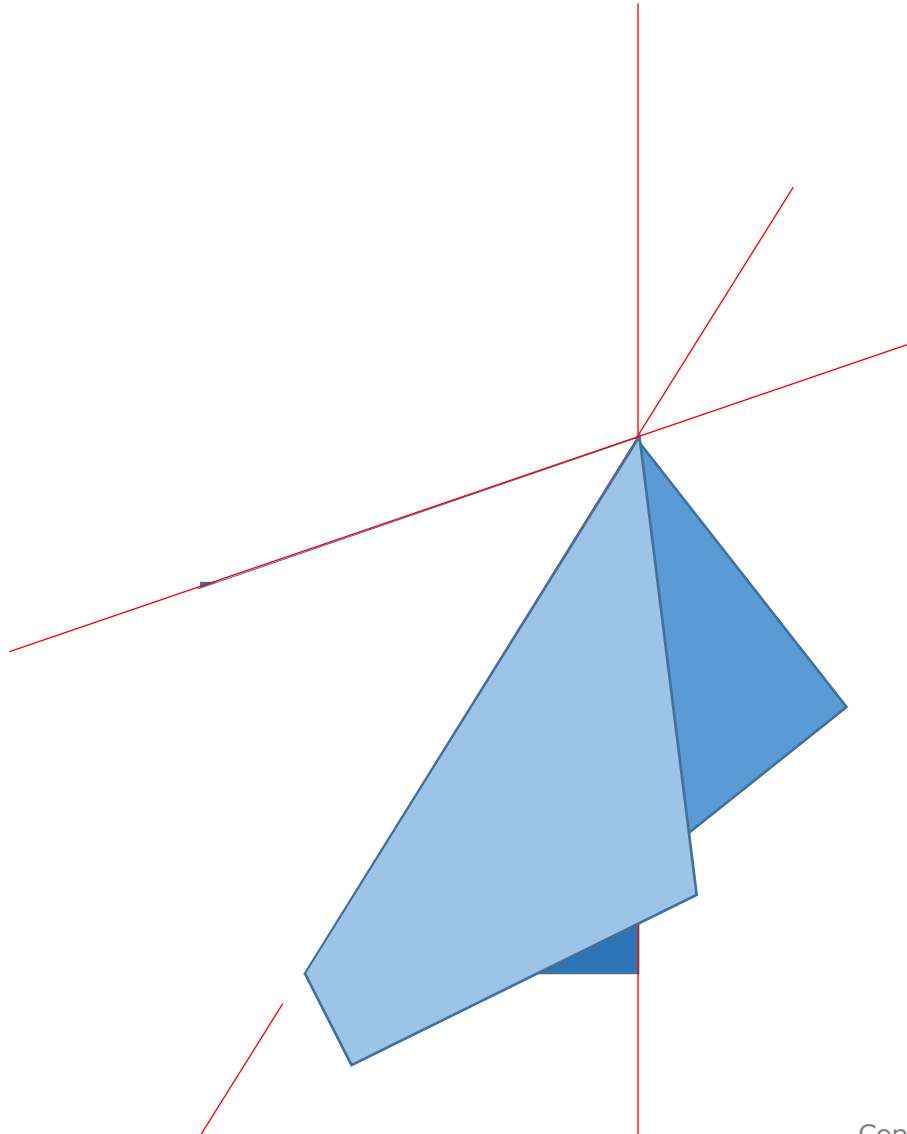
折り紙は、鏡反射タイリングしている  
ものと考えることができる



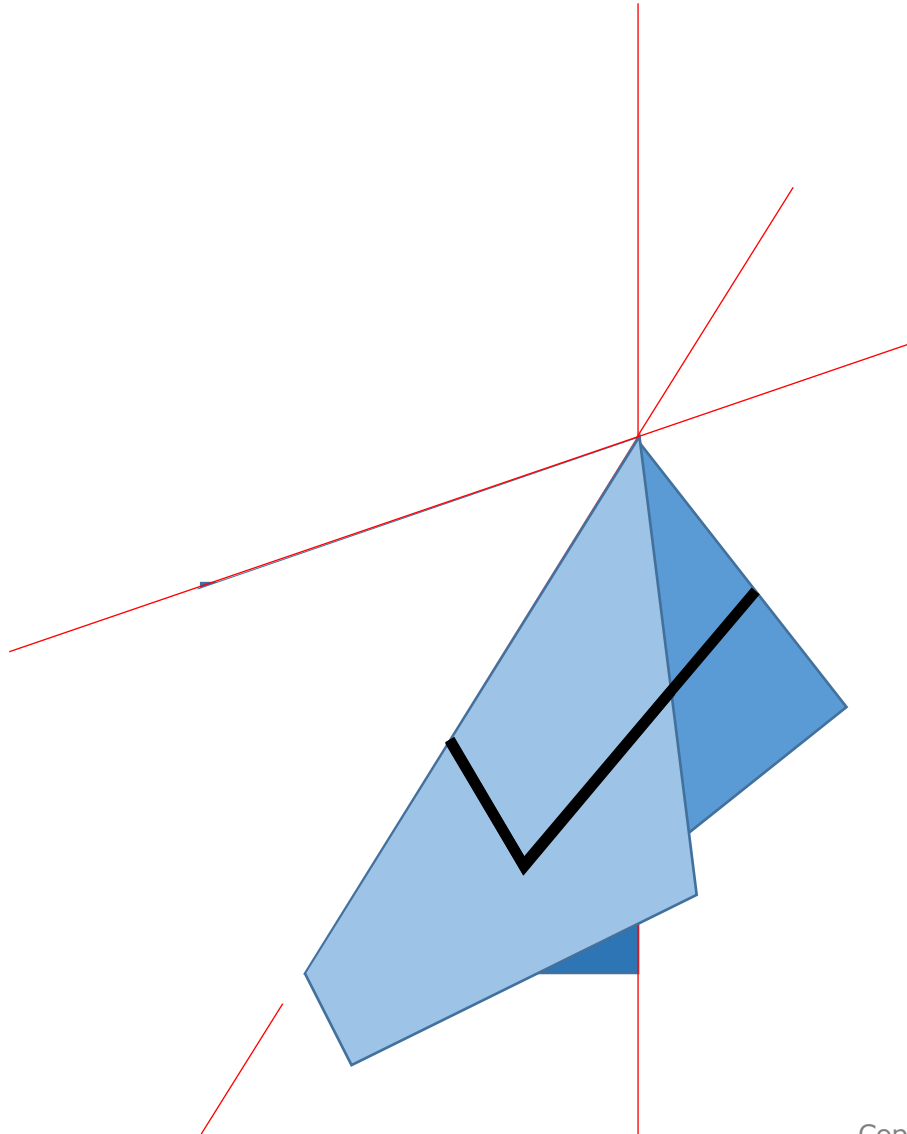
# 折り紙と模様



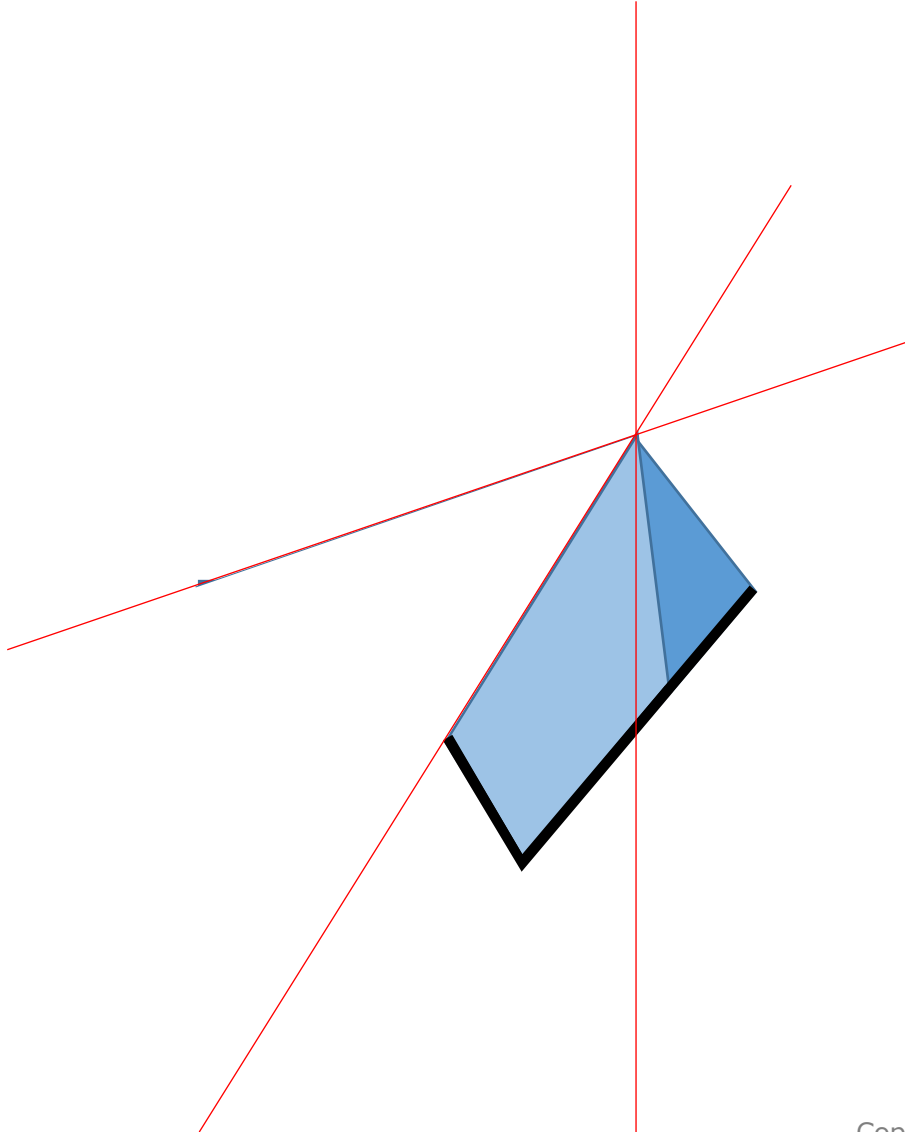
# 折り紙と模様



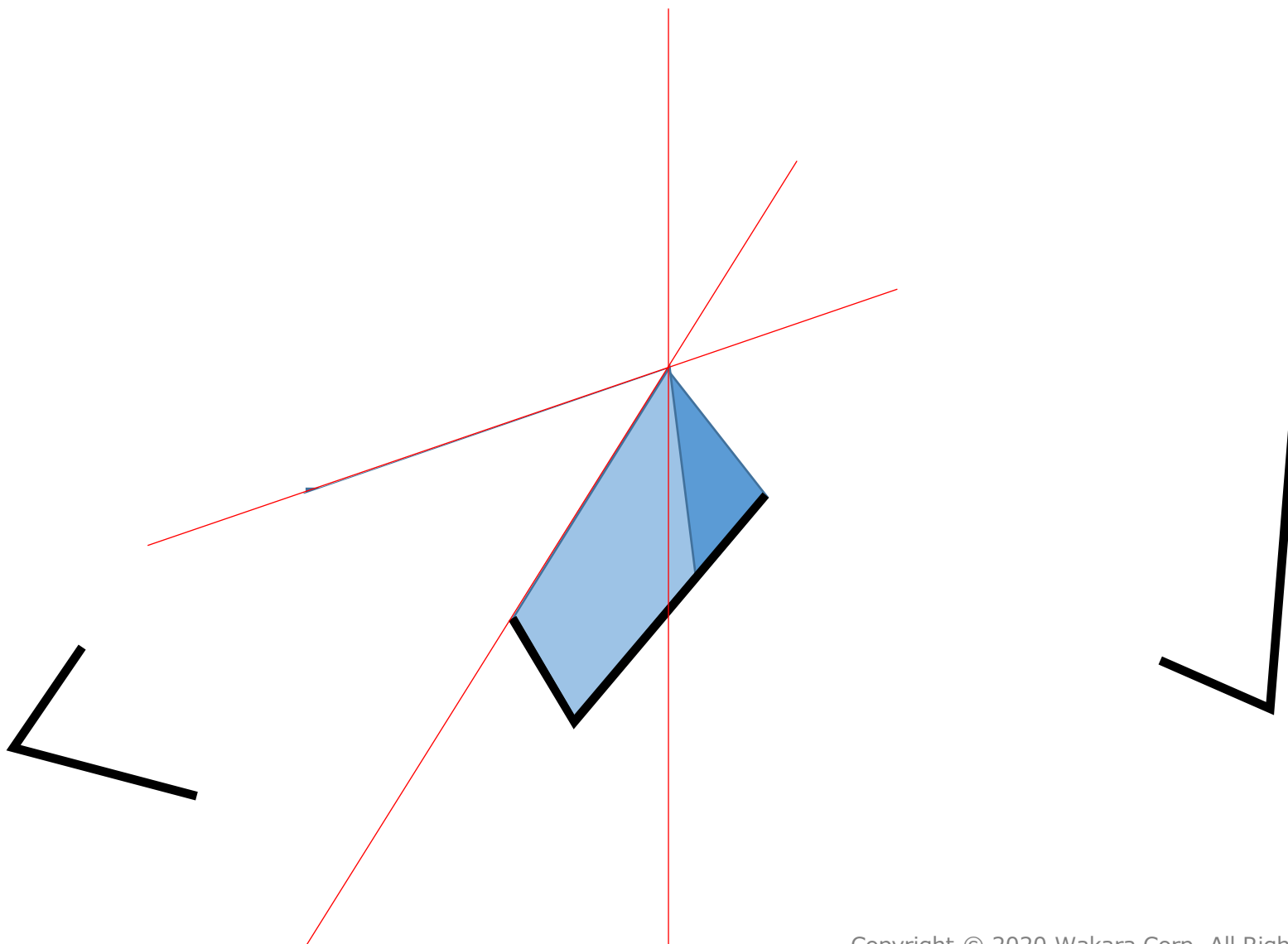
# 折り紙と模様



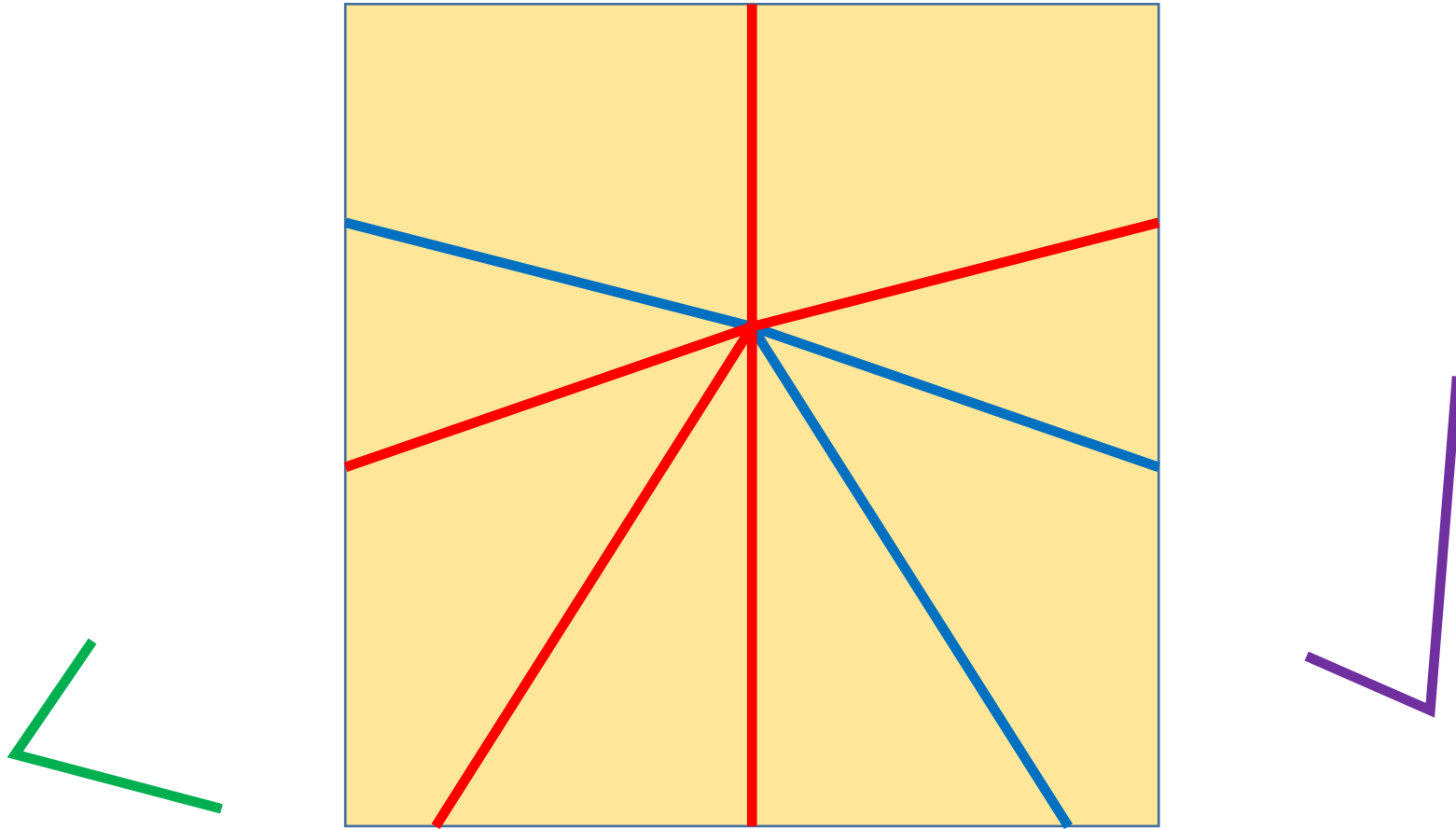
# 折り紙と模様



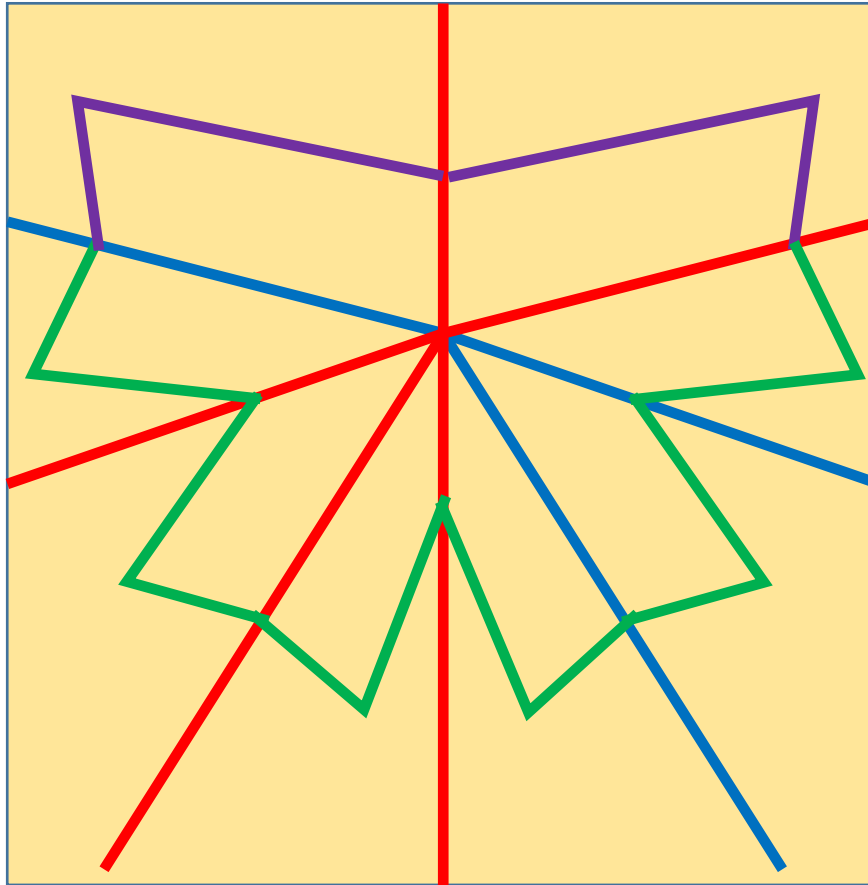
# 折り紙と模様



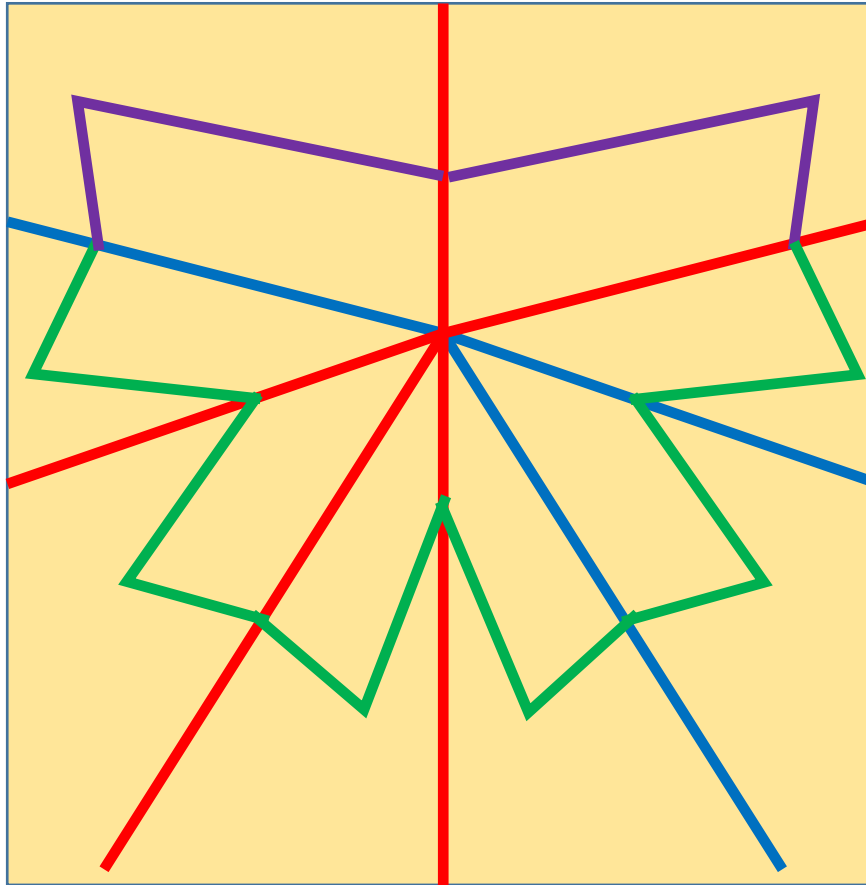
# 折り紙と模様



# 折り紙と模様



# 折り紙と模様





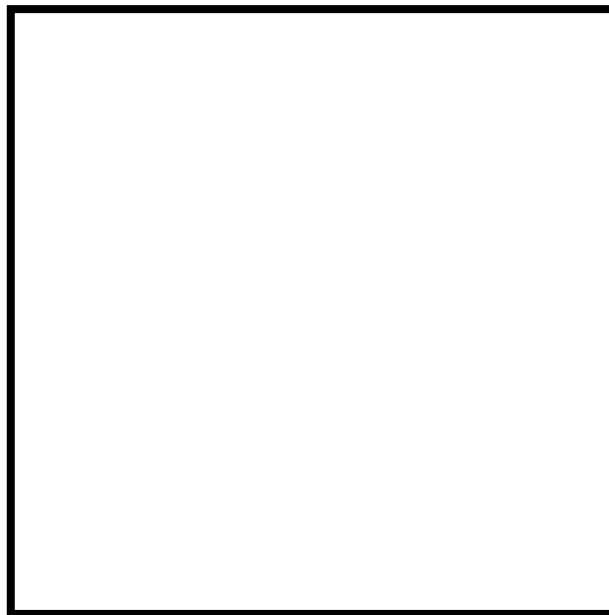
# セミナースケジュール

テーマ	内容	目標
折り紙の歴史	折り紙の歴史について	折り紙の歴史を認識すること。
折り紙と模様	折り紙と模様について	折り紙の図形的性質を理解する。
折り紙と数学	折り紙と数学について	折り紙の数学的な性質を知る。
ミウラ折り	ミウラ折りの数理について	ミウラ折り誕生の歴史を知る。

# 折り紙と数学

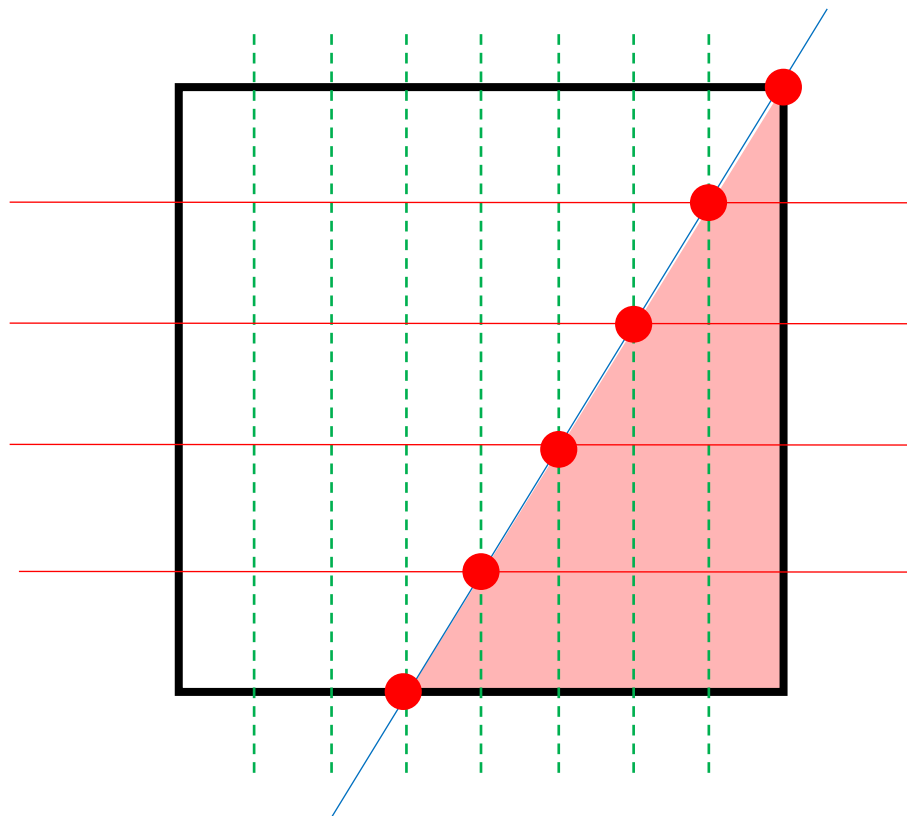
# ①折り紙の等分問題

折り紙を折ることで1辺を5等分してください。



# ①折り紙の等分問題

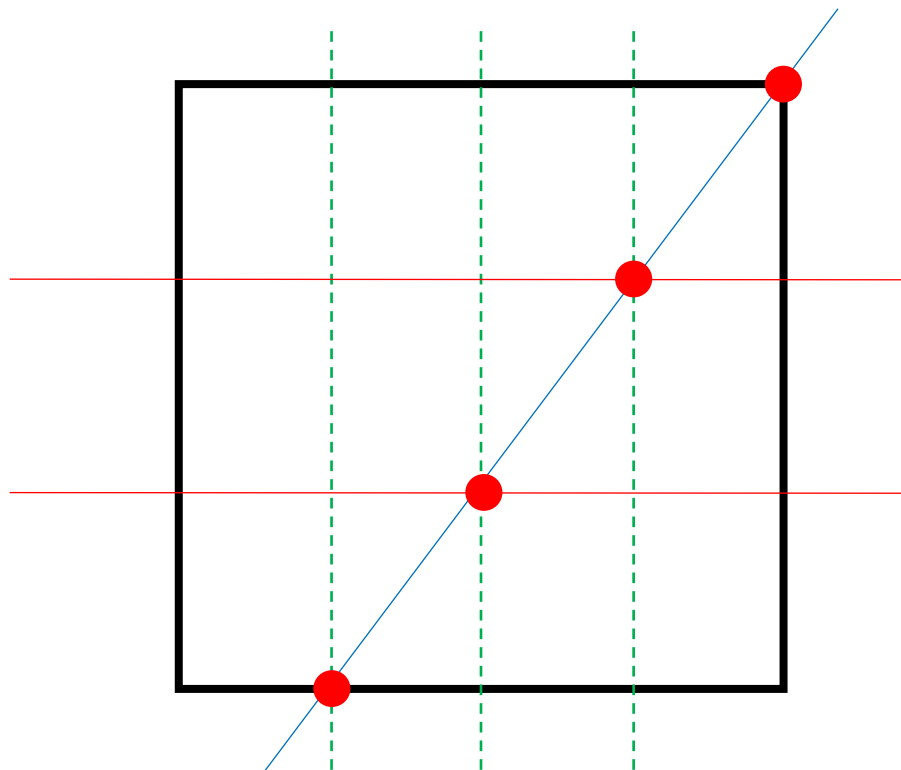
折り紙を折ることで1辺を5等分してください。



三角形の相似を使う

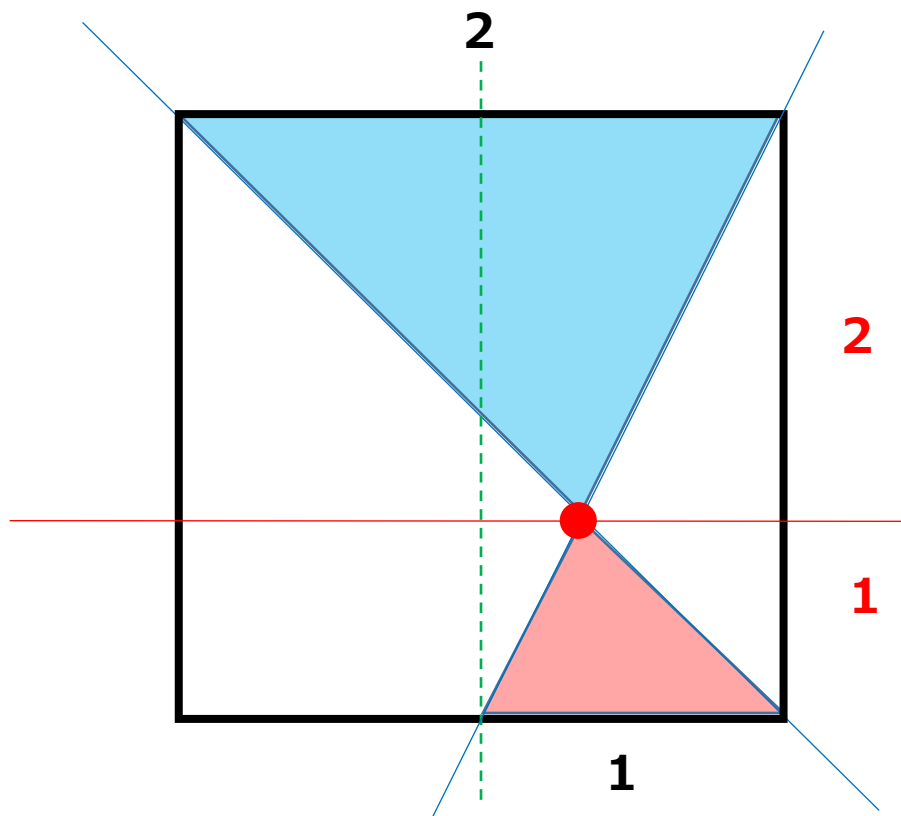
# 【実践】折り紙の等分問題

折り紙を折ることで1辺を3等分してください。



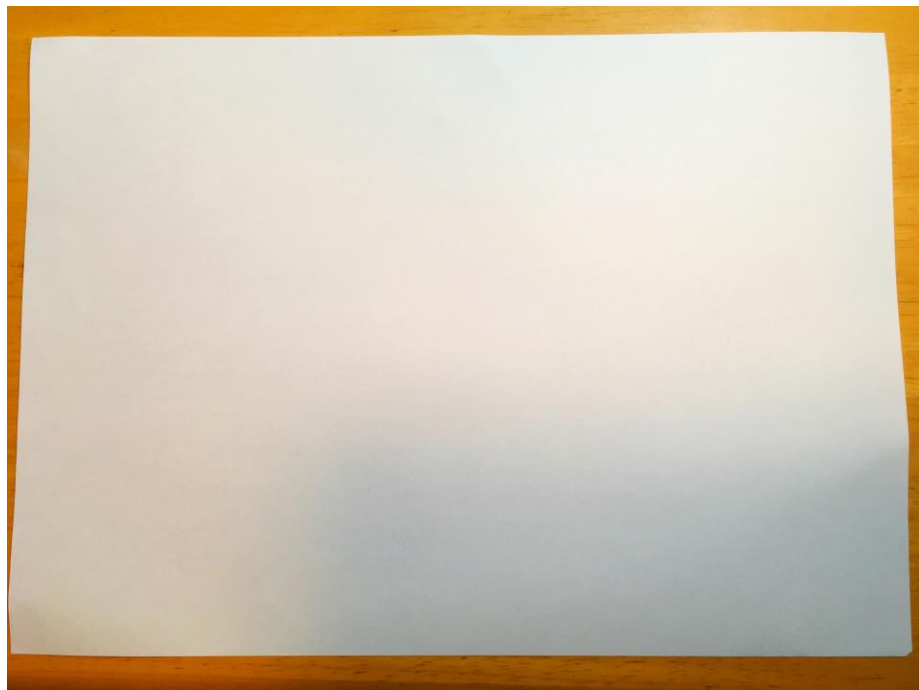
# 【実践】折り紙の等分問題

折り紙を折ることで1辺を3等分してください。

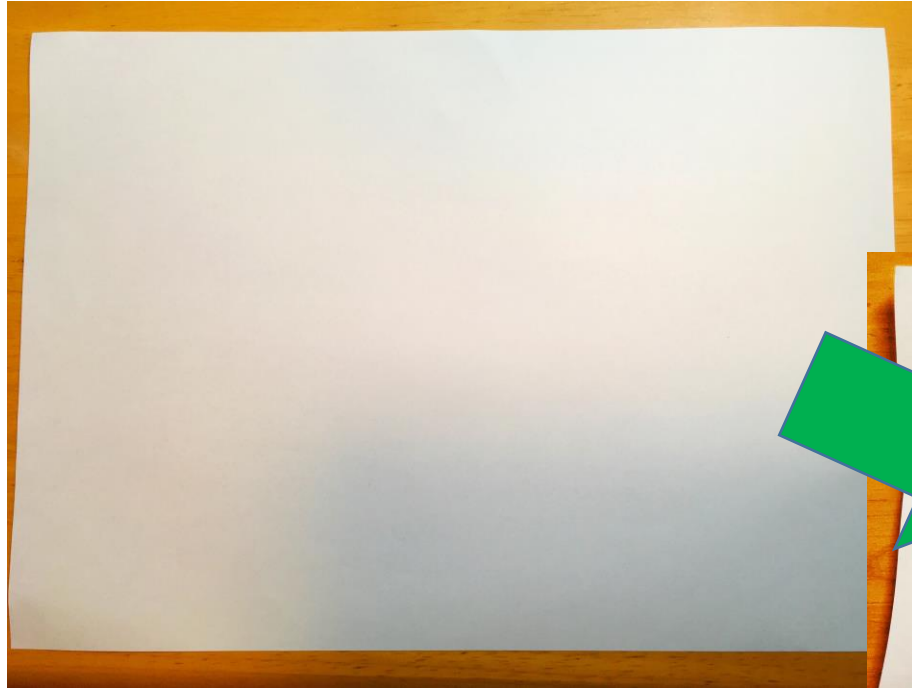


## ②平坦折りの理論

---



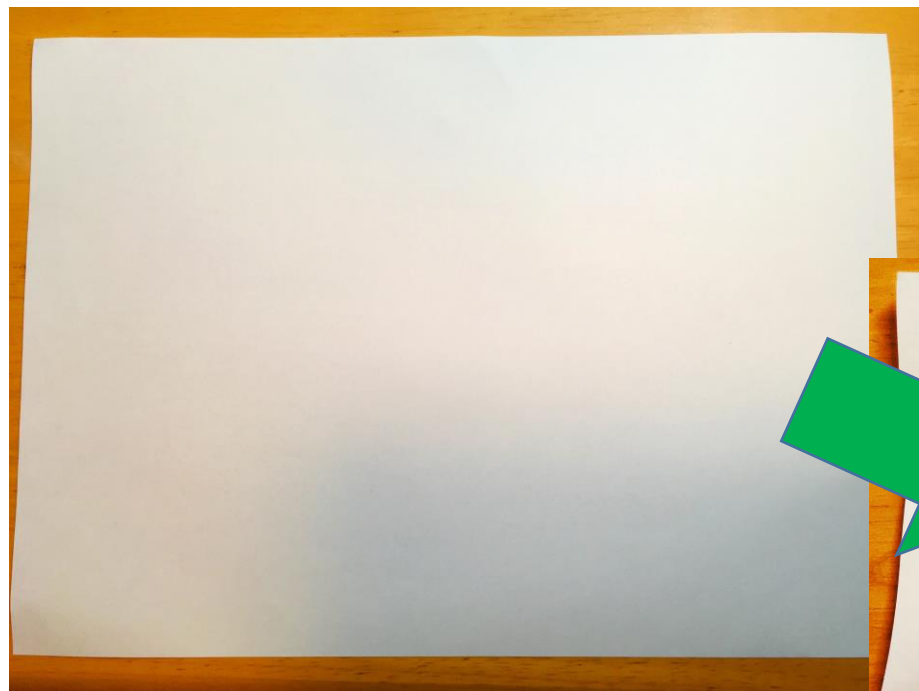
## ②平坦折りの理論



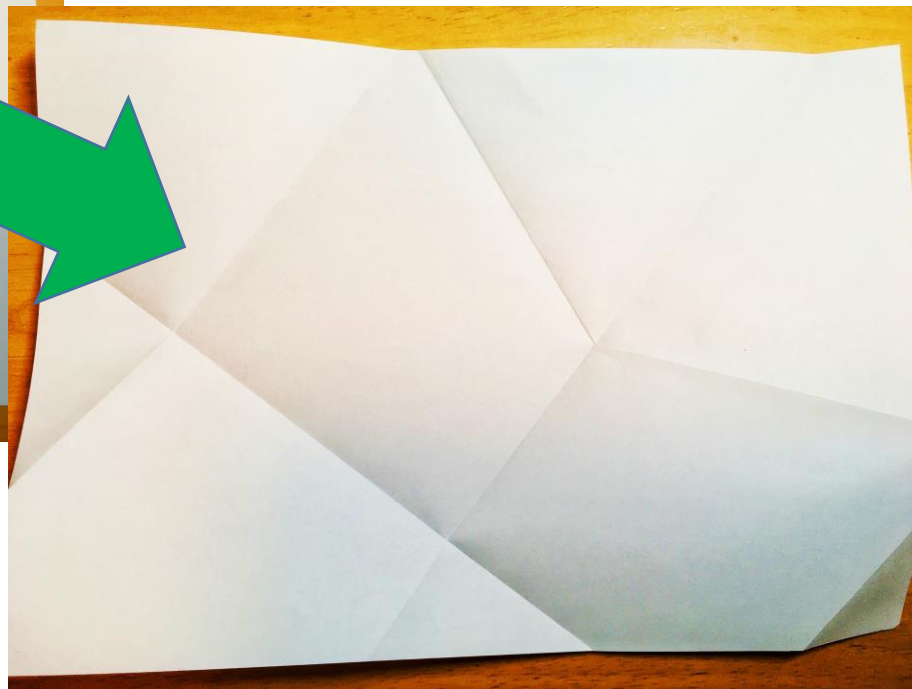
適当に折る



## ②平坦折りの理論

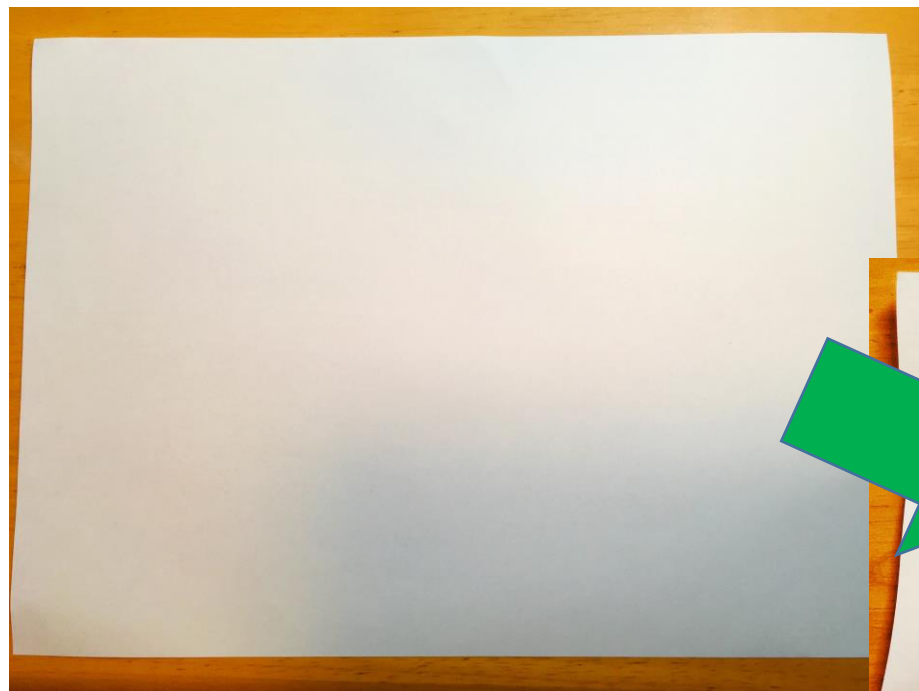


適当に折る

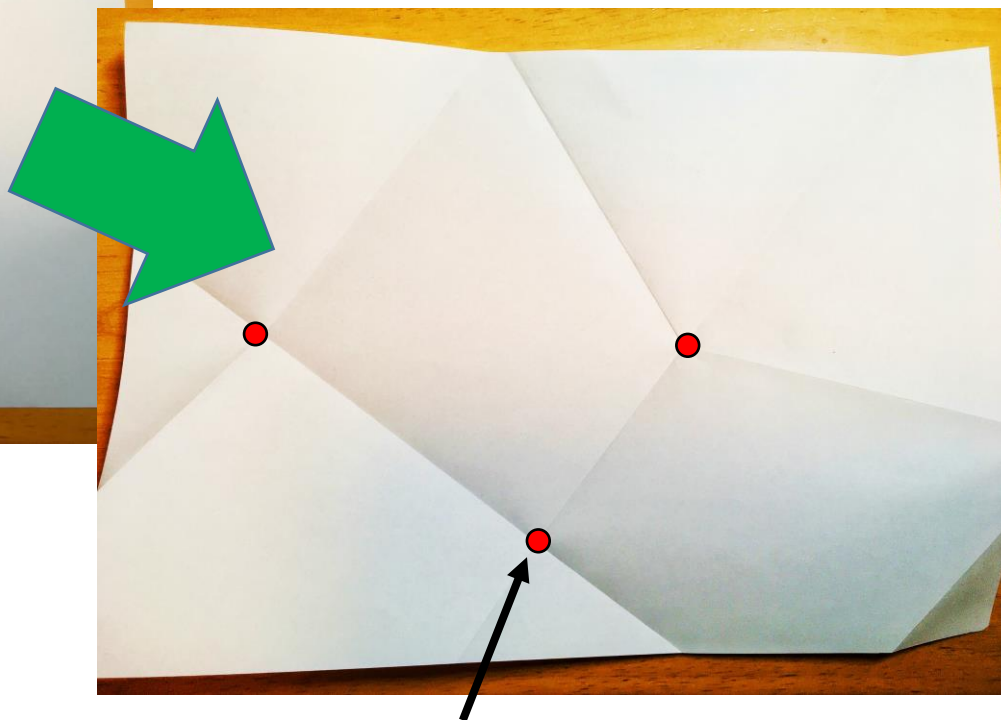


開いて「折り目」を観察する

## ②平坦折りの理論



適当に折る

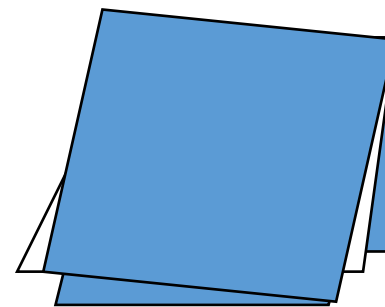
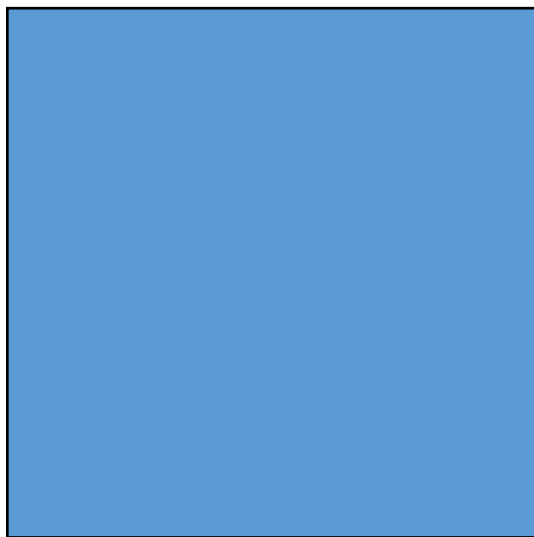


開いて「折り目」を観察する

折り線の交点を「頂点」といいます。

# 【実践】折り紙を折りたたむ

折り紙を適当に折りたたんでみましょう。



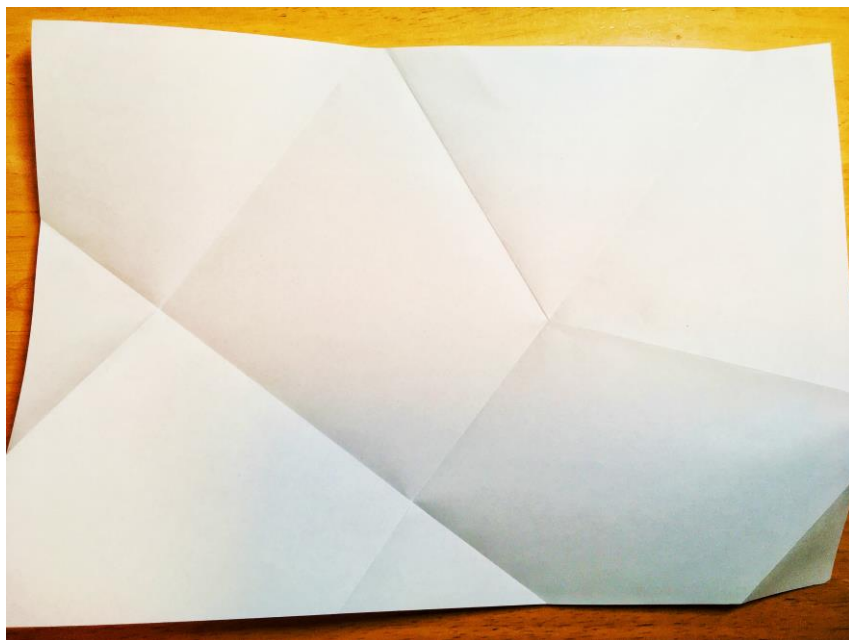
## 【実践】折り紙を折りたたむ

折り紙を適当に折りたたんでみましょう。

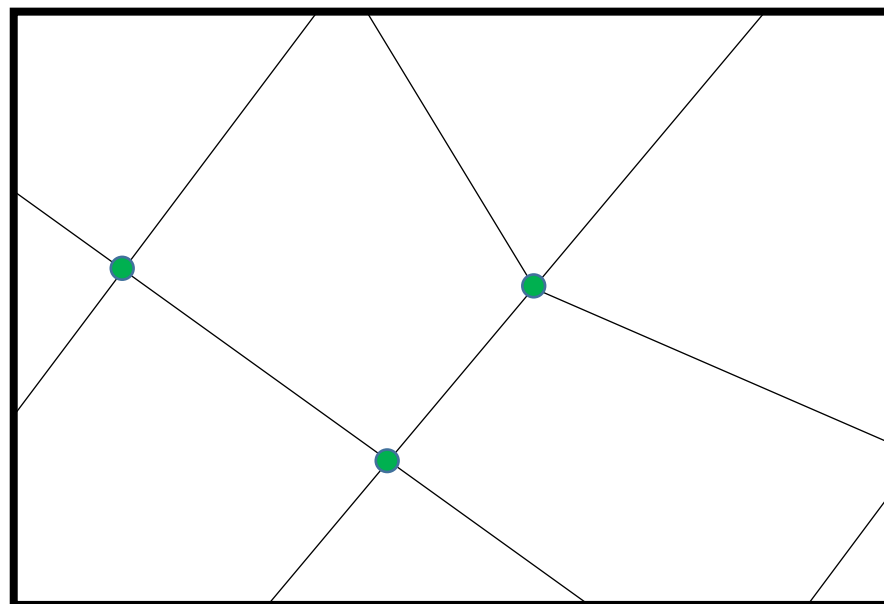


Q. 頂点の周りに何本線が伸びていますか？

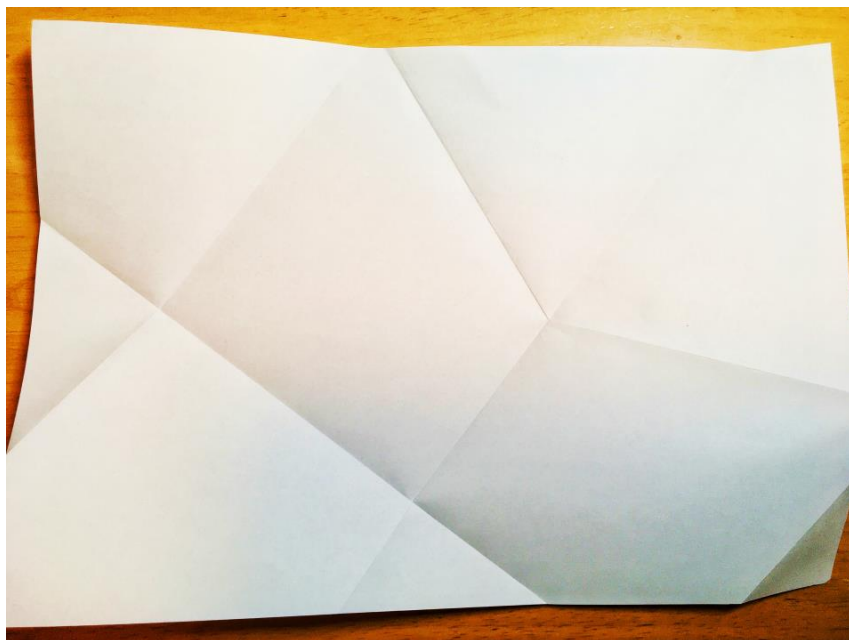
## ②平坦折りの理論



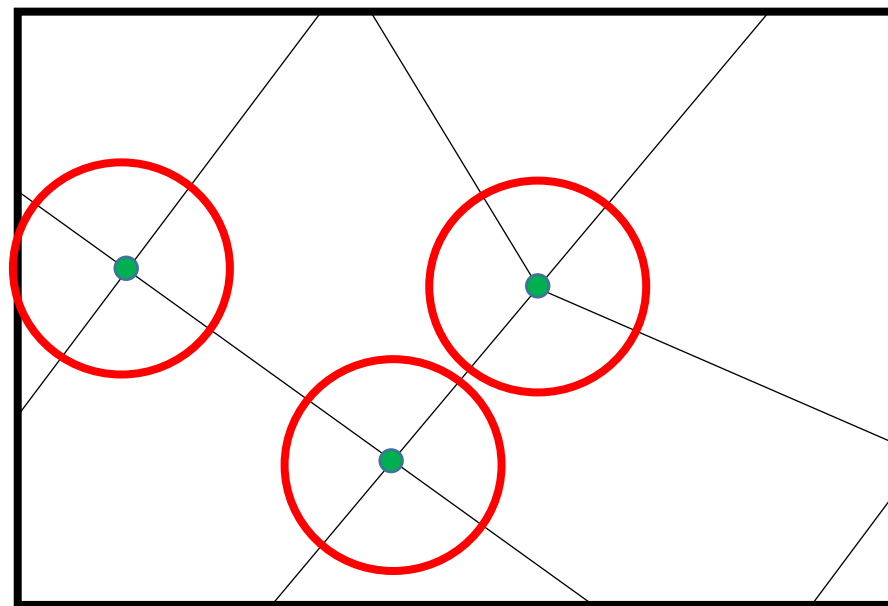
折り目を観察する



## ②平坦折りの理論



折り目を観察する



全て偶数本！

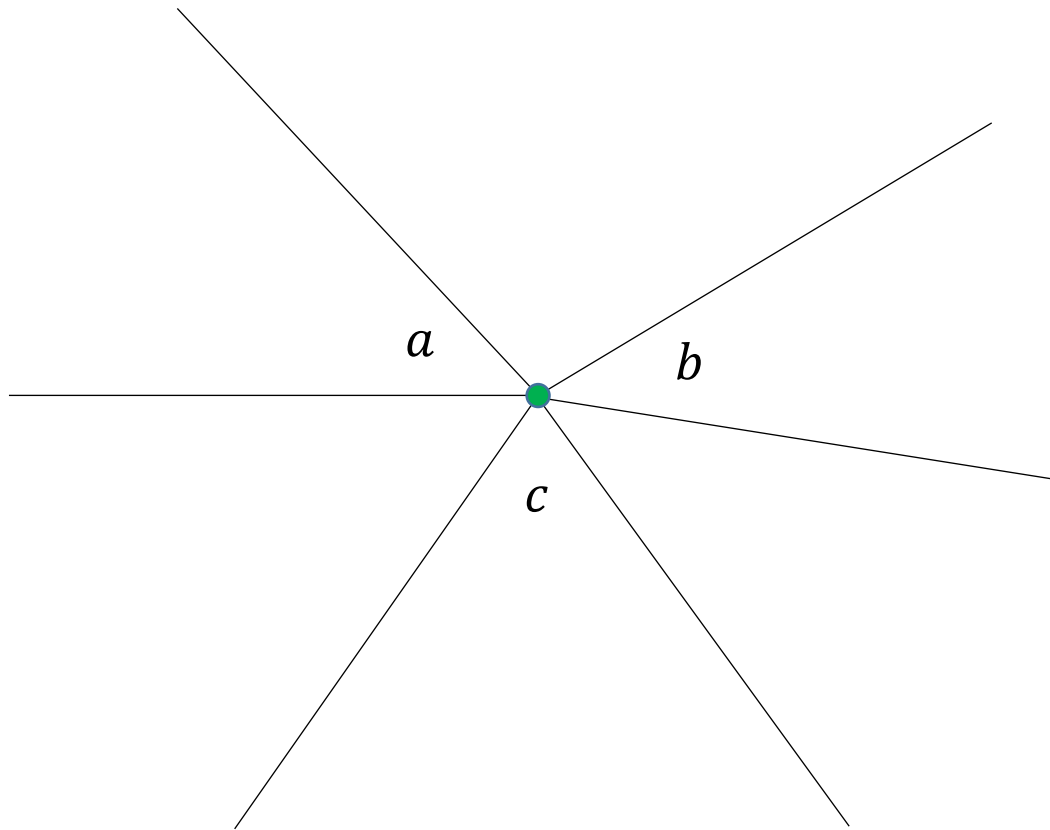
## 【実践】折り紙を折りたたむ

折り紙を適当に折りたたんでみましょう。



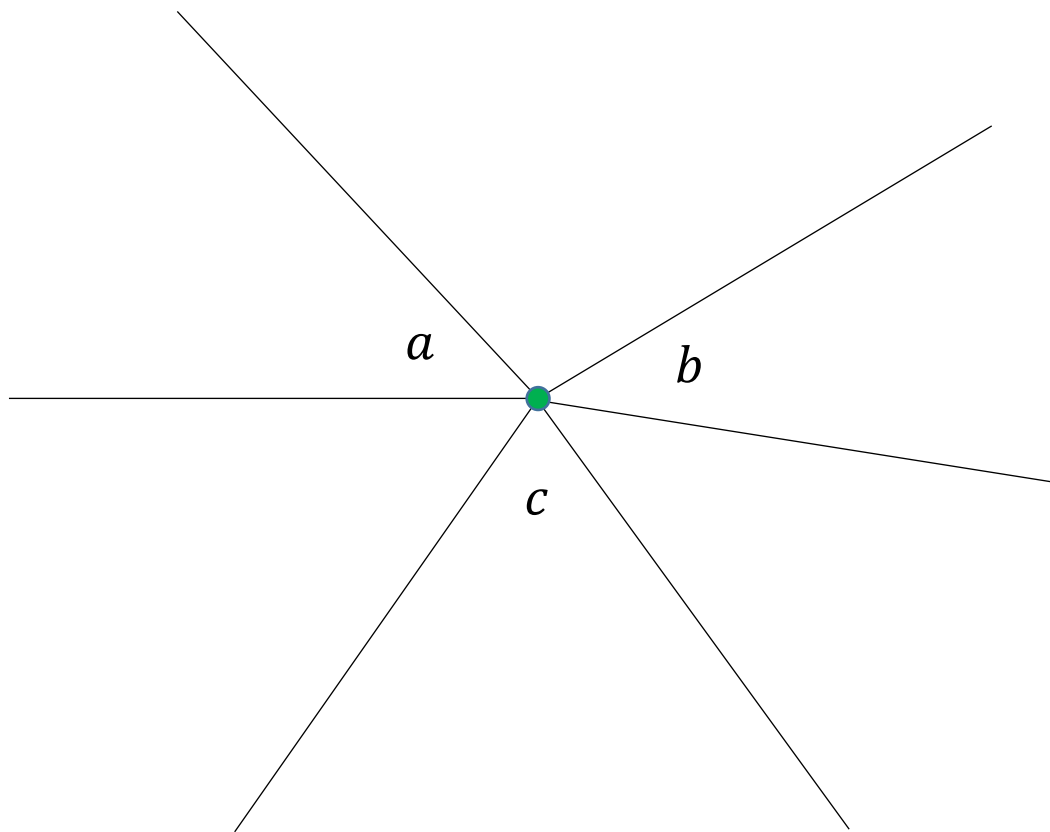
Q. 頂点周りの線の角度の関係性は？

# 【実践】折り紙を折りたたむ



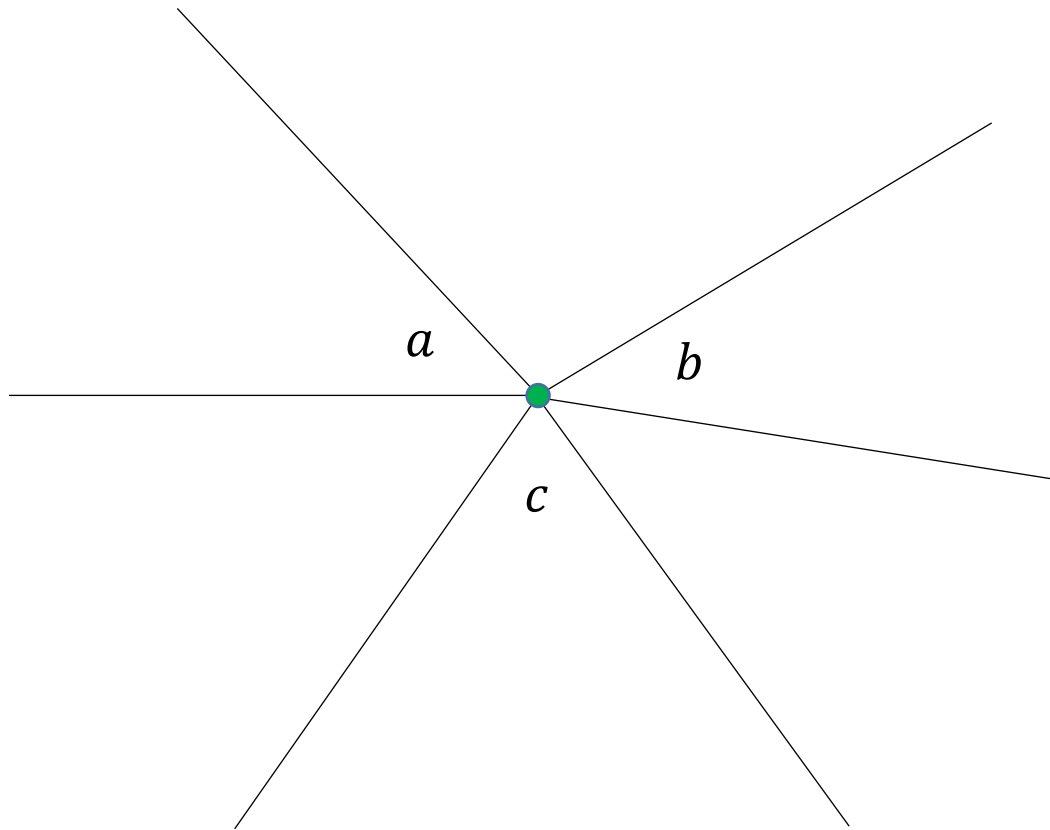


# 【実践】折り紙を折りたたむ



$$a + b + c = 180^\circ$$

# 【実践】折り紙を折りたたむ



$$a + b + c = 180^\circ$$

## ②平坦折りの理論

折り紙が平坦に折りたためる



- ・頂点まわりの折り線は必ず**偶数本**
- ・折り線のなす角の一つおきの和は **$180^\circ$**

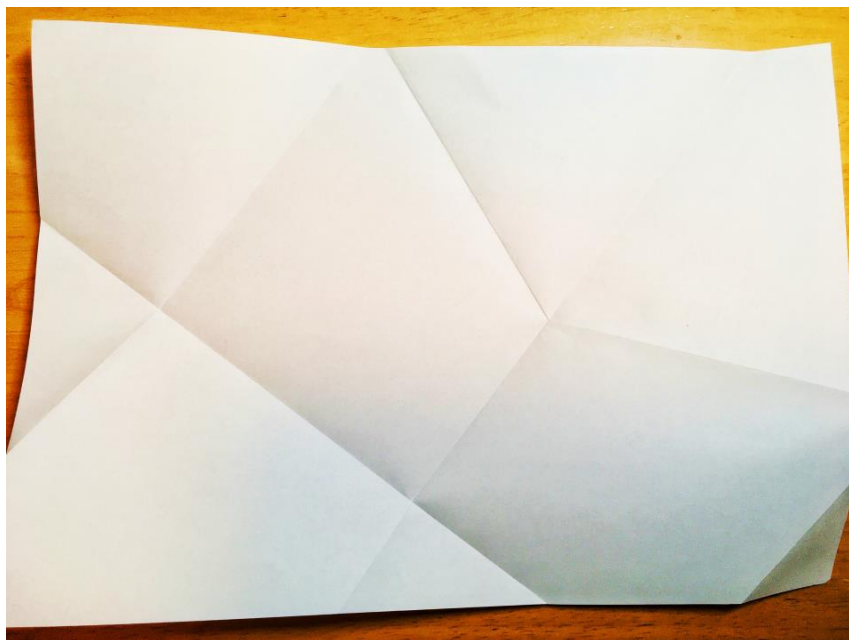
## 【実践】折り紙を折りたたむ

折り紙を適当に折りたたんでみましょう。

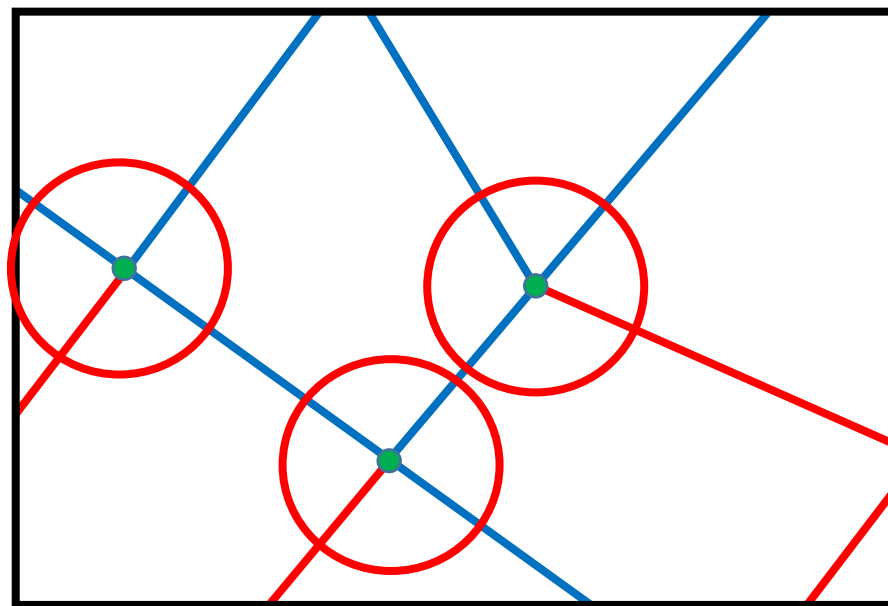


Q. 頂点周りの山折りと谷折りの数の関係は？

## ②平坦折りの理論



折り目を観察する

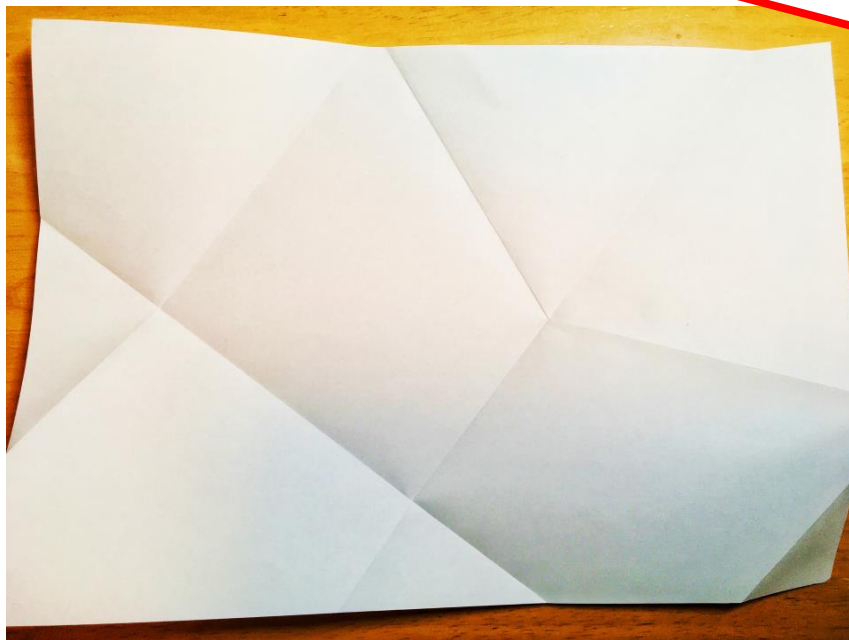


山折りと谷折りで色分けする

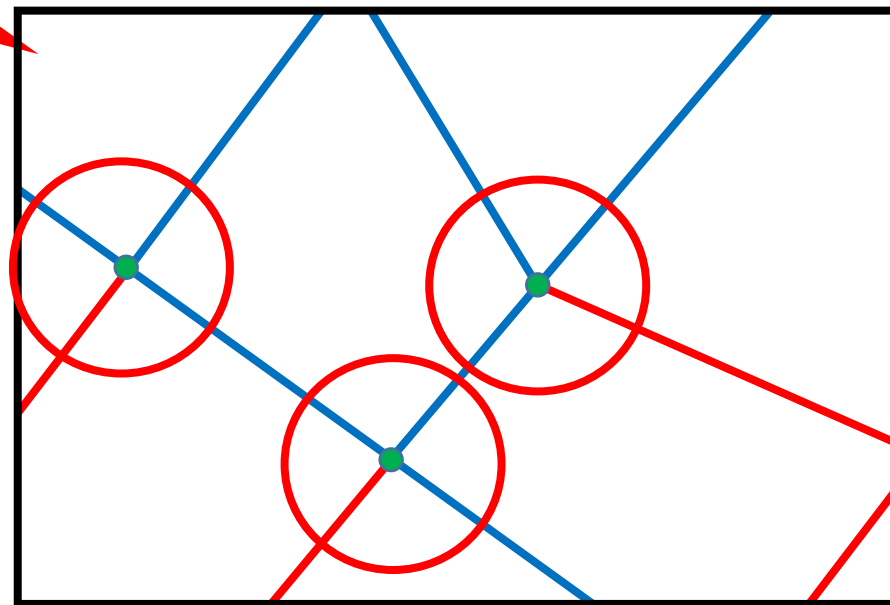
山折り: 赤    谷折り: 青

## ②平坦折りの理論

全ての頂点回りで 青－赤＝2



折り目を観察する



山折りと谷折りで色分けする

山折り: 赤 谷折り: 青

## ②平坦折りの理論

折り紙が平坦に折りたためる



- ・頂点まわりの折り線は必ず**偶数本**
- ・折り線のなす角の一つおきの和は **$180^\circ$**

折り紙が平坦に折りたためる



頂点から出ている山折り線の本数と  
谷折り線の本数の差は**2**

## 【実践】折り紙を折りたたむ

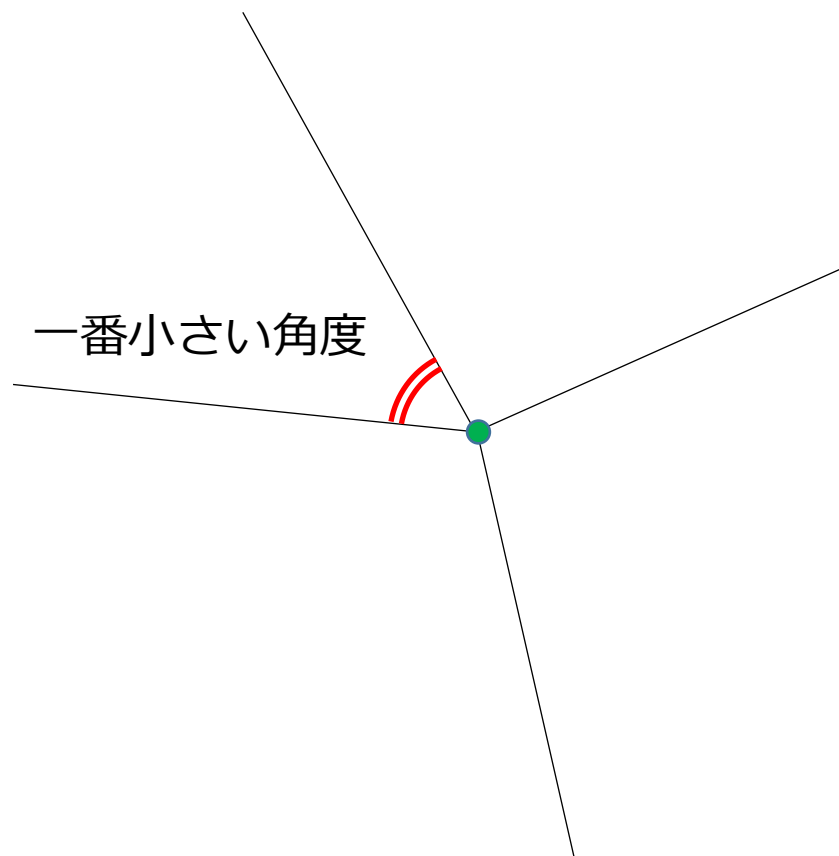
折り紙を適当に折りたたんでみましょう。



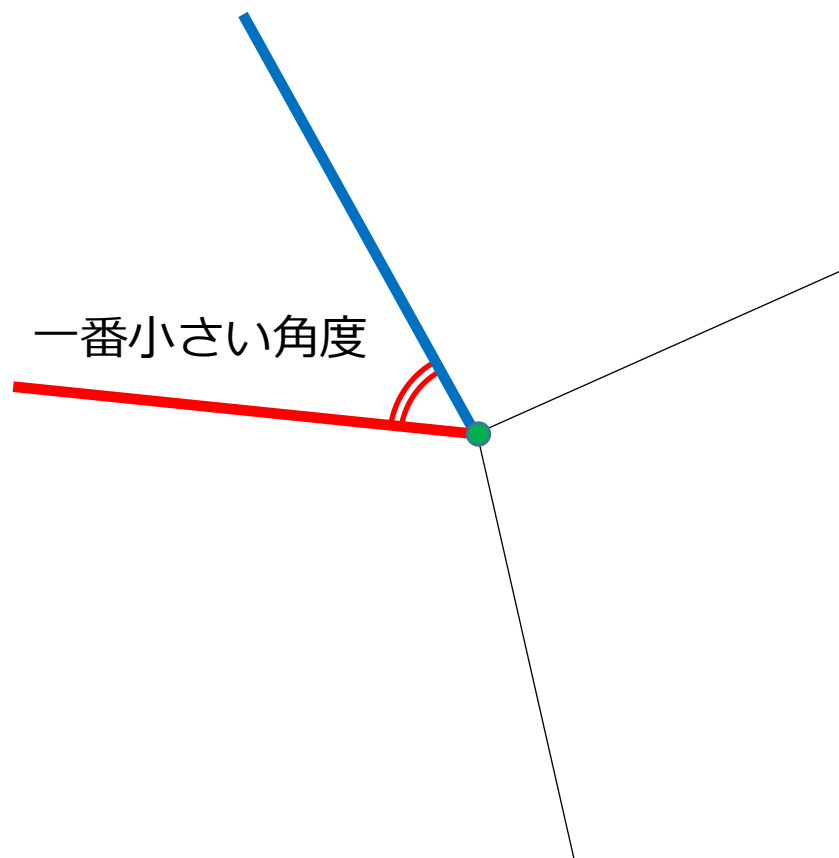
Q. 山折り線と谷折り線の角度は？



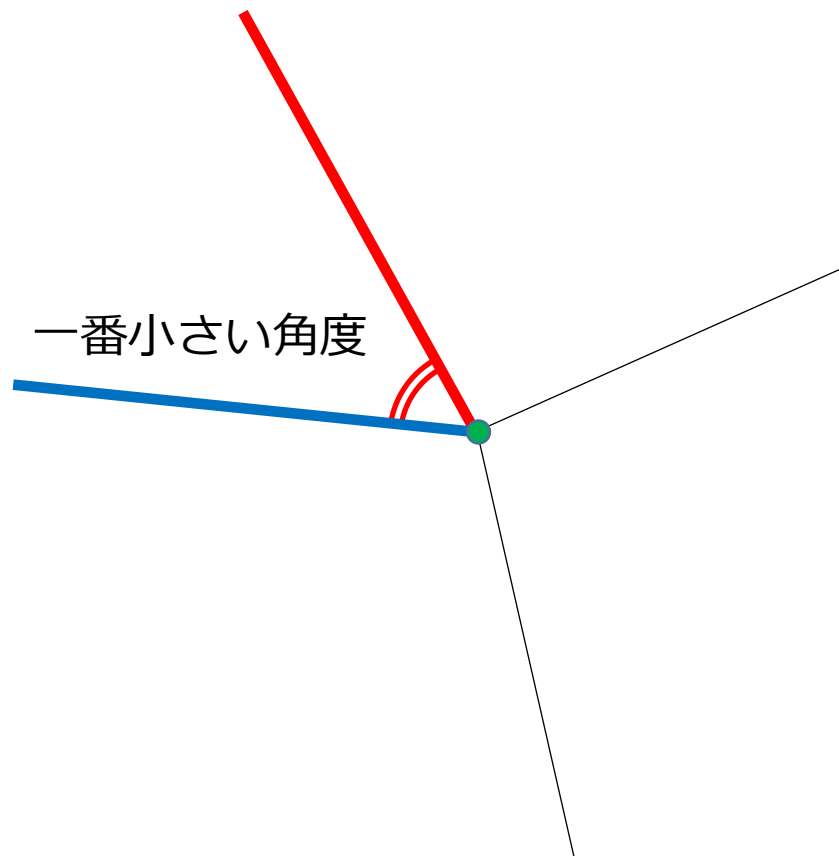
# 【実践】折り紙を折りたたむ



# 【実践】折り紙を折りたたむ

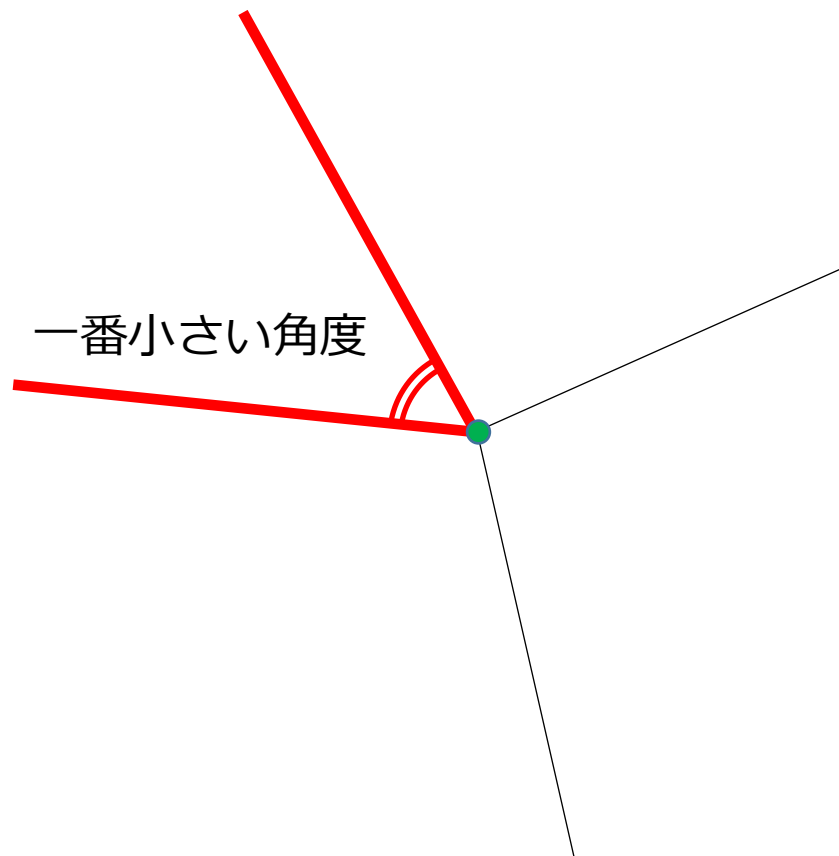


## 【実践】折り紙を折りたたむ



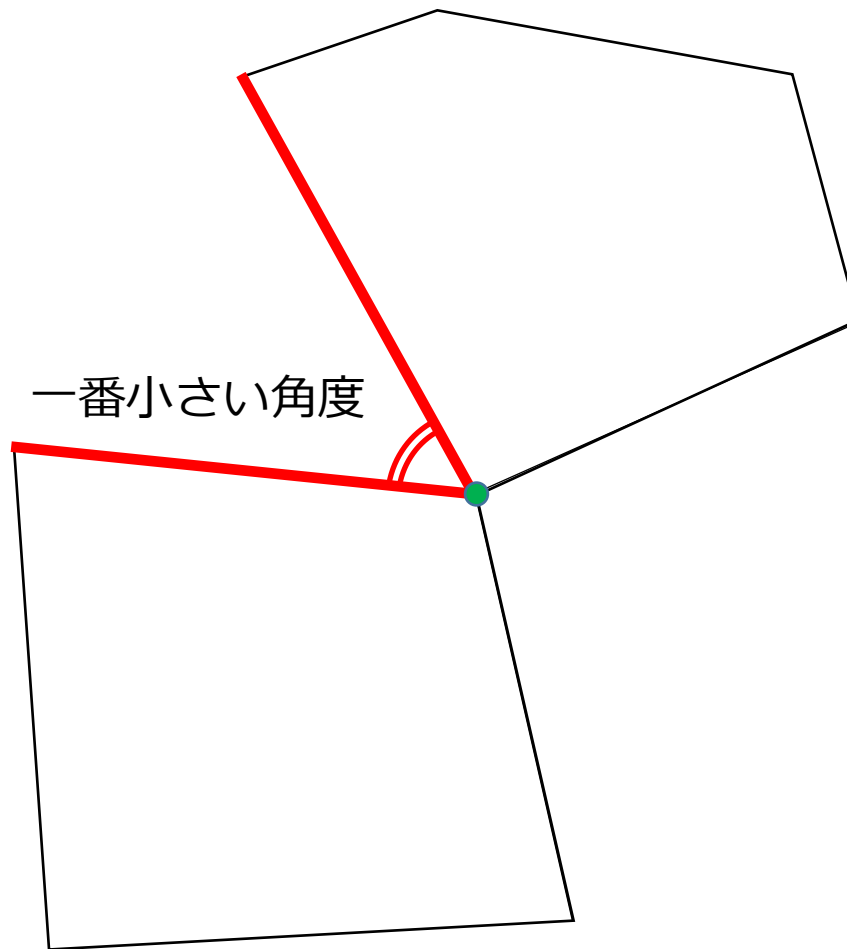
一番小さい角度の間で山折りと谷折りが切り替わる

## 【実践】折り紙を折りたたむ



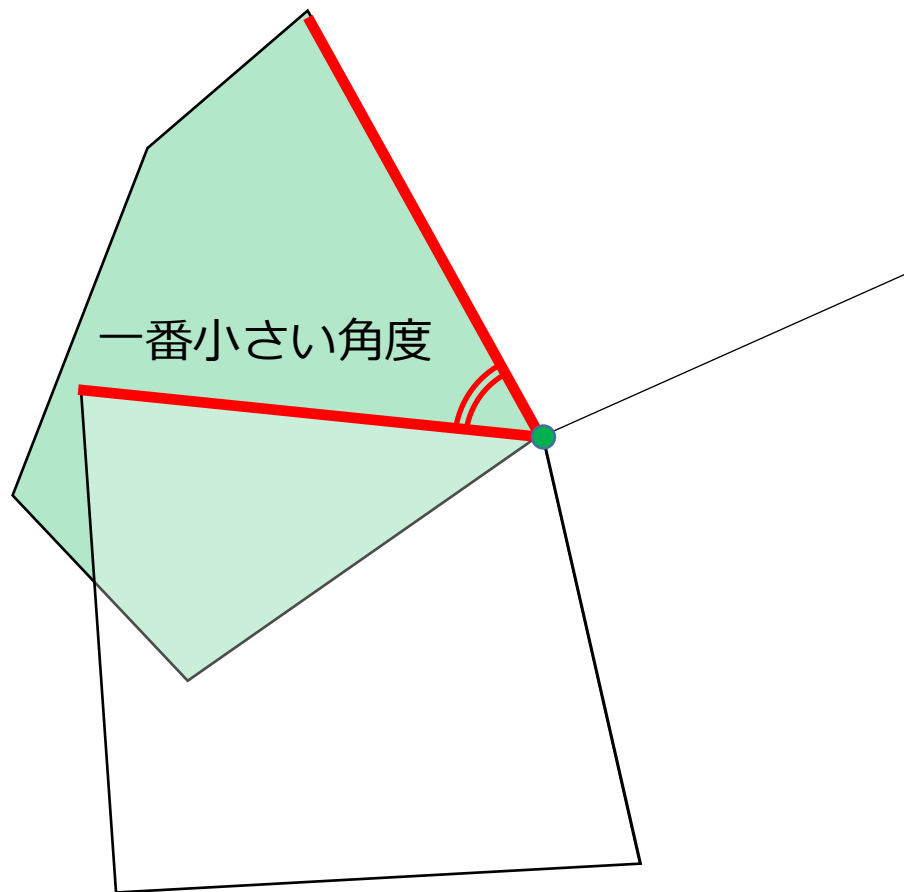
もしも折り方が同じとき、平坦に折れない！

## 【実践】折り紙を折りたたむ



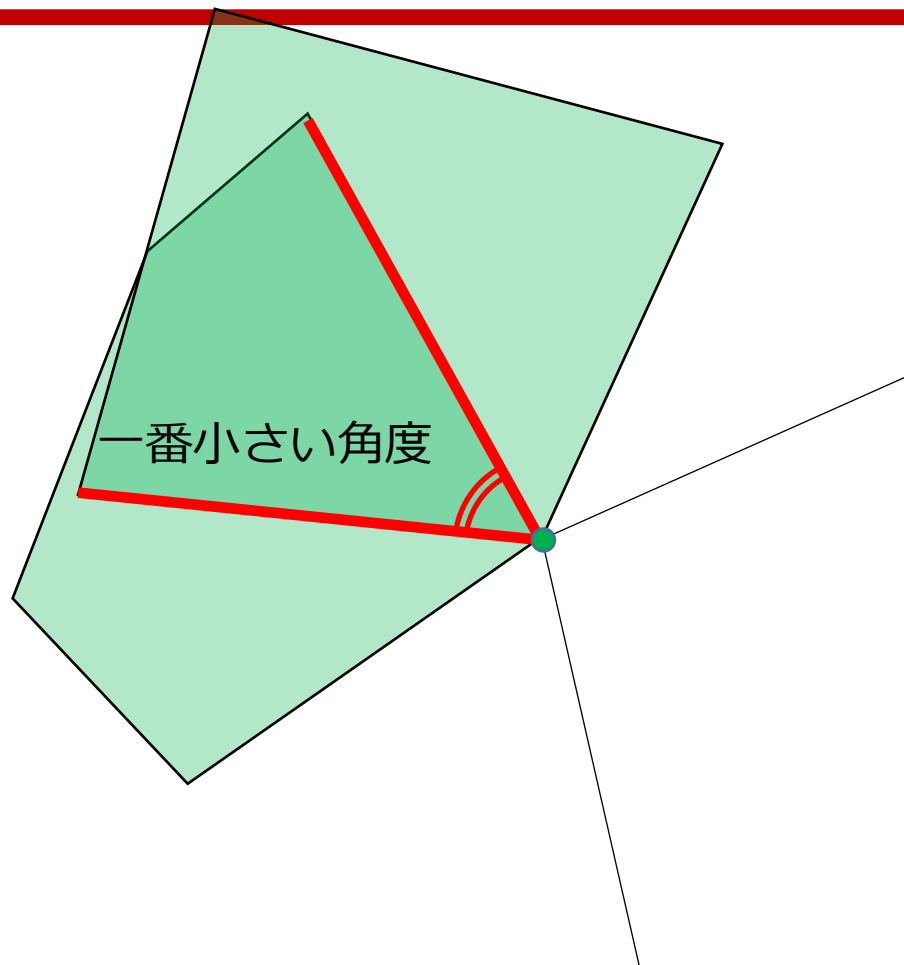
もしも折り方が同じとき、平坦に折れない！

## 【実践】折り紙を折りたたむ



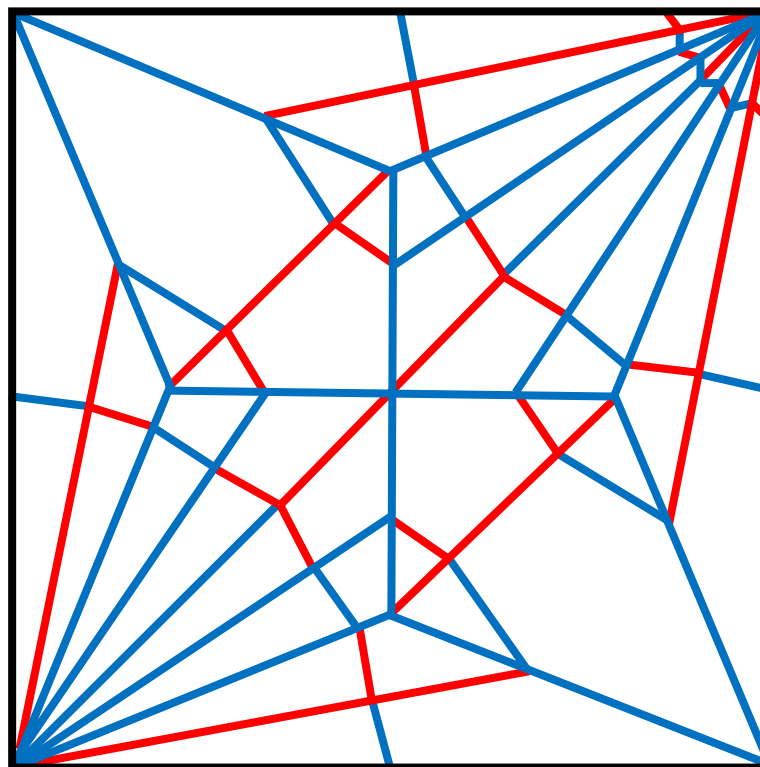
もしも折り方が同じとき、平坦に折れない！

## 【実践】折り紙を折りたたむ



もしも折り方が同じとき、平坦に折れない！

# 折り鶴の展開図

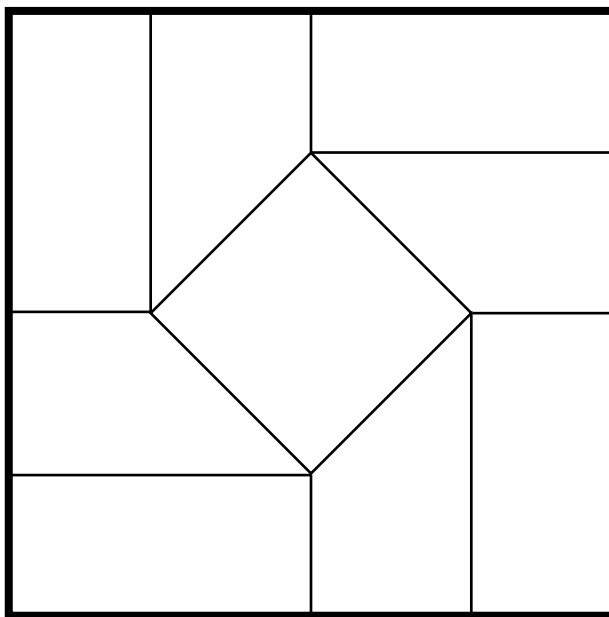


折り鶴の展開図で確認してみましょう。



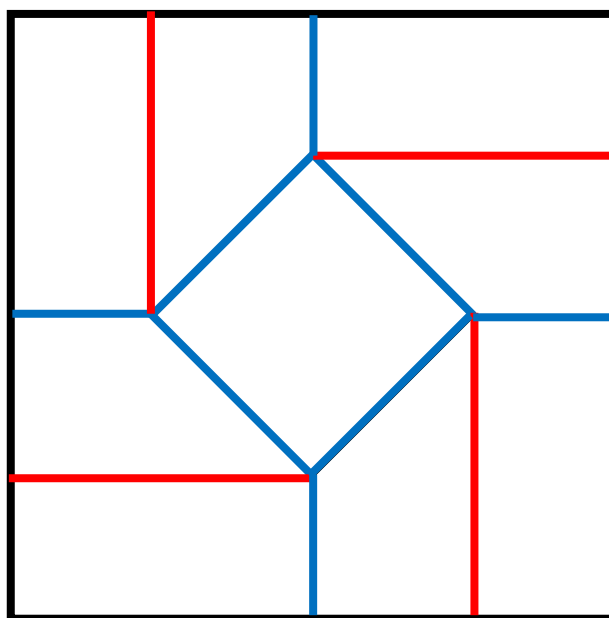
## ②平坦折りの理論（応用）

折り目を線で表現した図を「形式的折り線図」といいます。



## ②平坦折りの理論（応用）

ここを谷折りとする



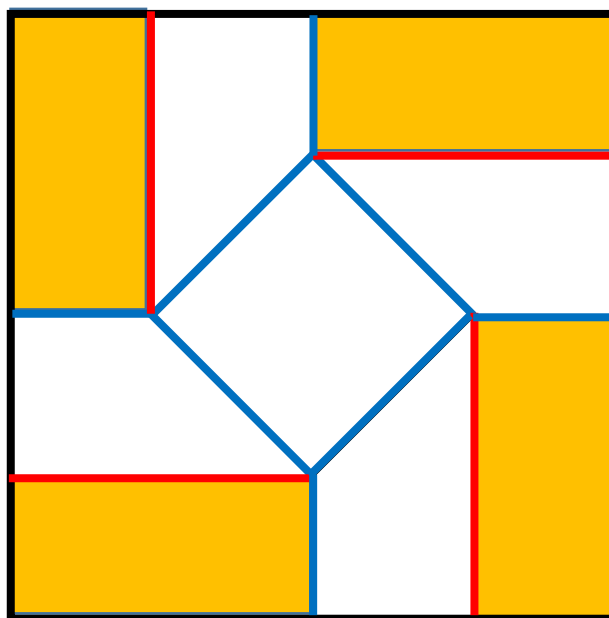
谷折り: 青

山折り: 赤

折り紙の基本定理を使うと、実は実現可能な折り線は1通りしかないとわかる。

## ②平坦折りの理論（応用）

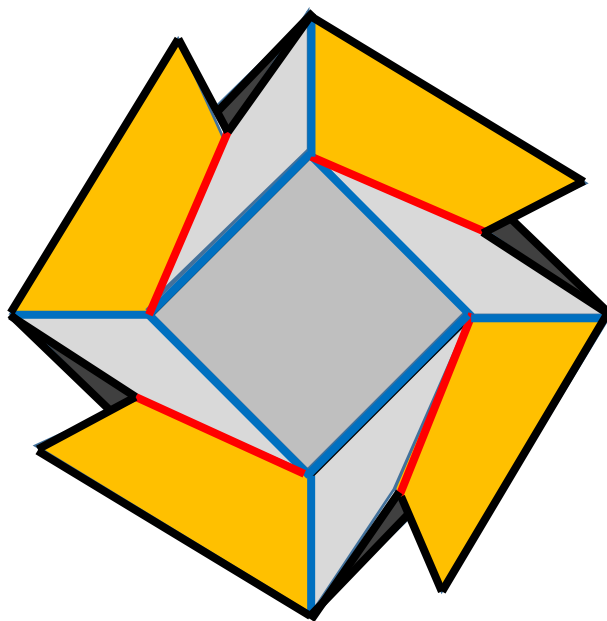
ここを谷折りとする



谷折り: 青

山折り: 赤

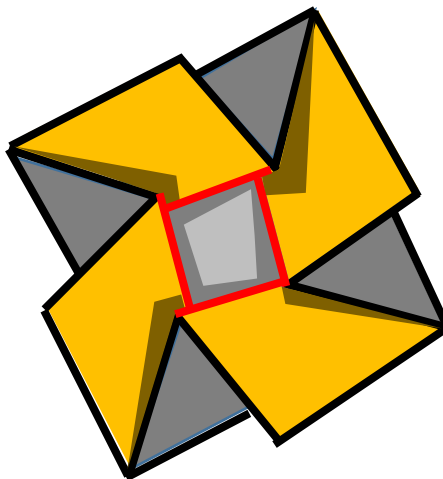
## ②平坦折りの理論（応用）



谷折り: 青

山折り: 赤

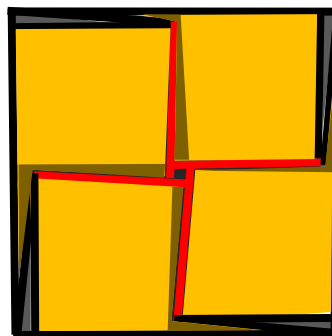
## ②平坦折りの理論（応用）



谷折り: 青

山折り: 赤

## ②平坦折りの理論（応用）

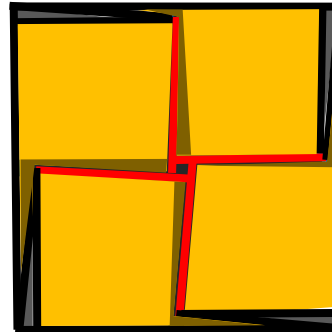


谷折り: 青

山折り: 赤

## ②平坦折りの理論（応用）

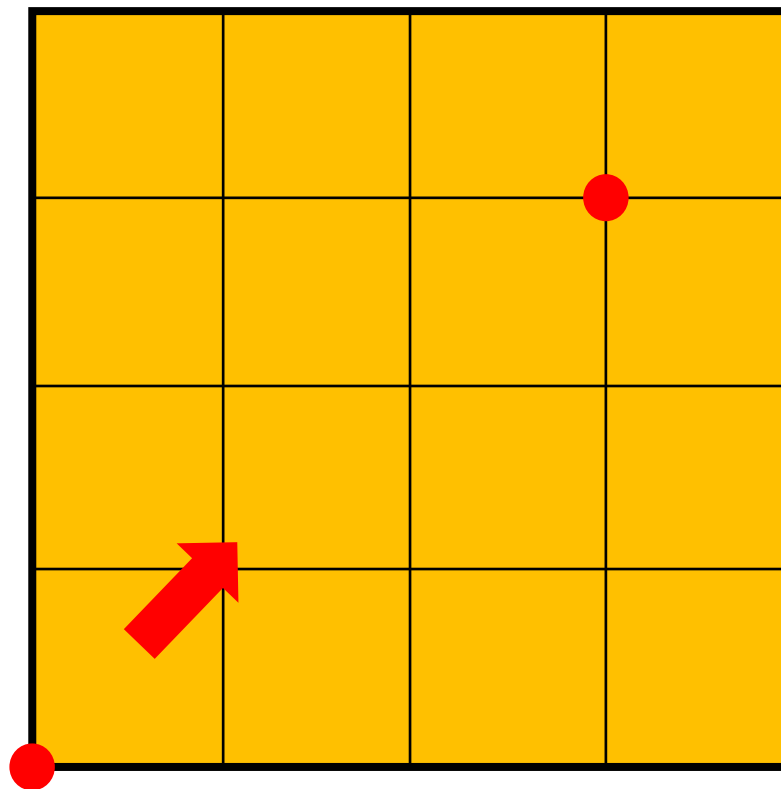
### ねじり折り



谷折り: 青

山折り: 赤

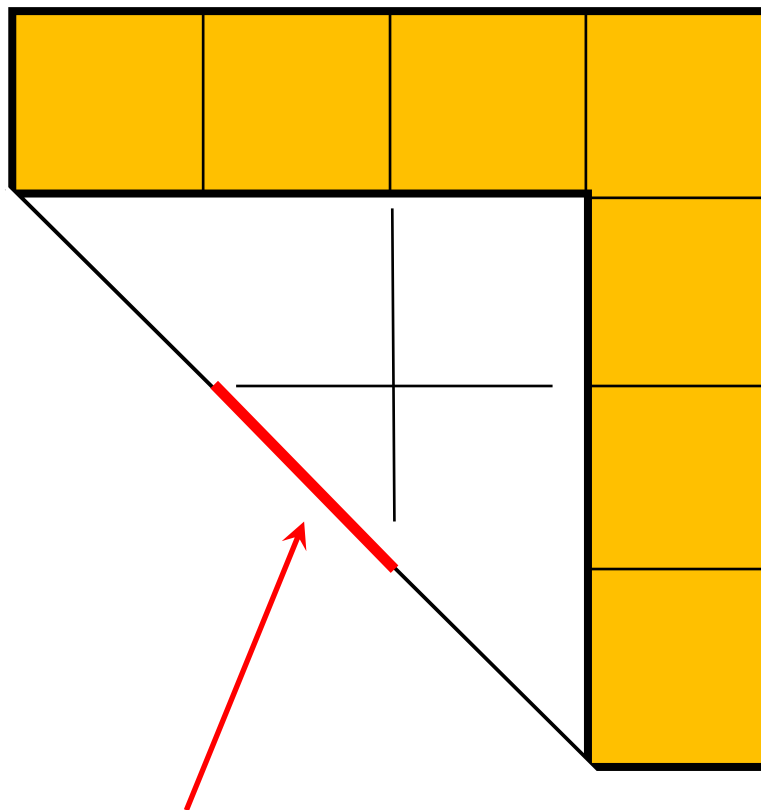
## 【実践】ねじり折りを折ってみる



縦横で4等分の折り目を付けます。

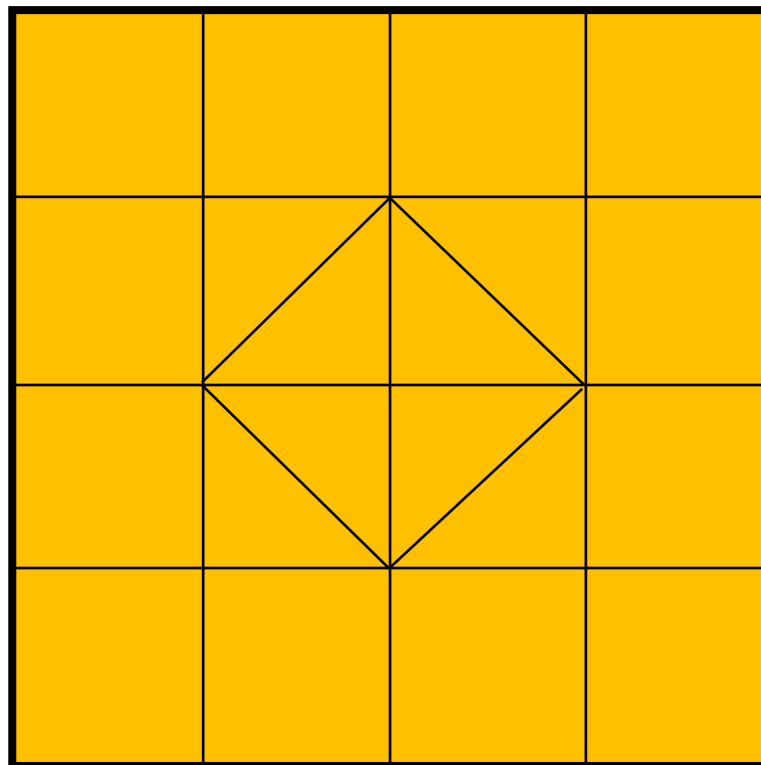


## 【実践】ねじり折りを折ってみる



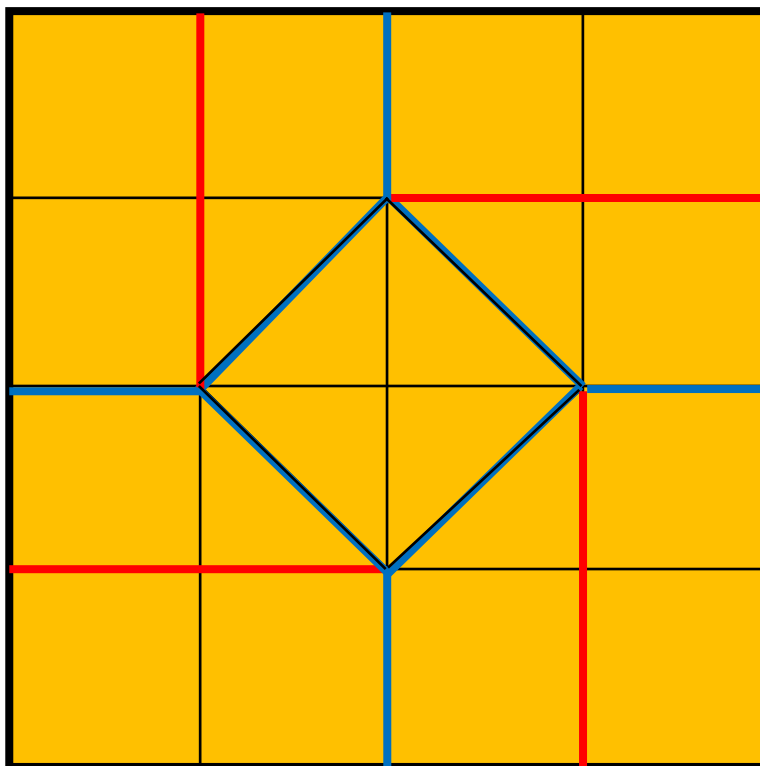
ここだけ折り目を付けます。

## 【実践】ねじり折りを折ってみる



4方向で同じ折り目をつけます。

## 【実践】ねじり折りを折ってみる

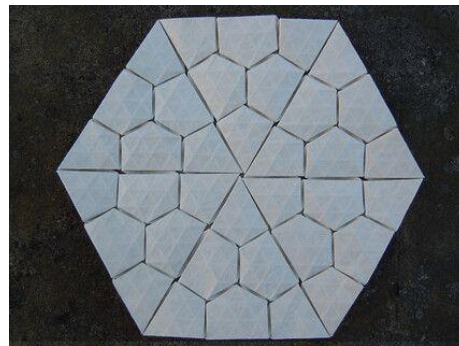


準備完了です。**赤を谷折り**、**青を山折り**として  
ねじり折りをしてみましょう。

## ②平坦折りの理論（応用）

### ねじり折りの応用例

・結晶折り(平織り)



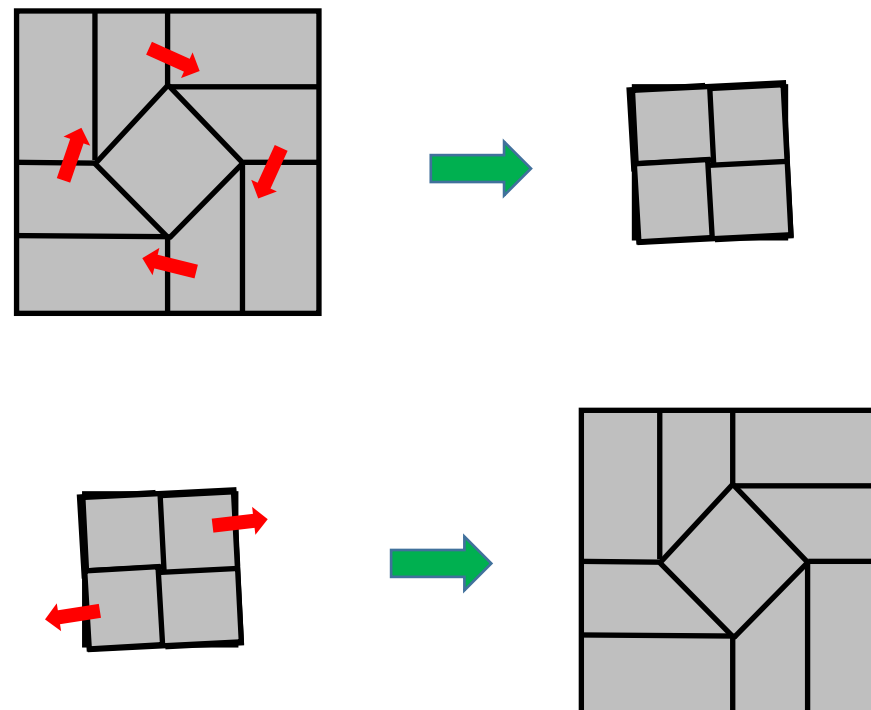
・川崎ローズ



## ②平坦折りの理論（応用）

### ねじり折りの応用例

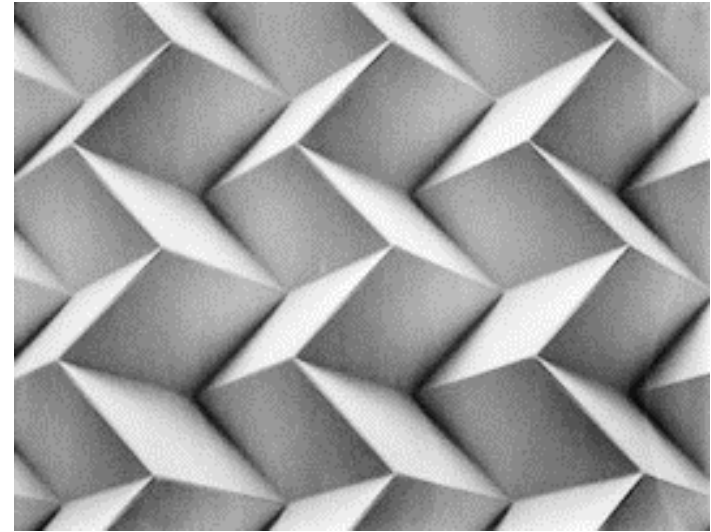
#### ・昆虫の羽の構造



ねじれ折りの構造を利用して折りたたみが容易に

# セミナースケジュール

テーマ	内容	目標
折り紙の歴史	折り紙の歴史について	折り紙の歴史を認識すること。
折り紙と模様	折り紙と模様について	折り紙の図形的性質を理解する。
折り紙と数学	折り紙と数学について	折り紙の数学的な性質を知る。
ミウラ折り	ミウラ折りの数理について	ミウラ折り誕生の歴史を知る。



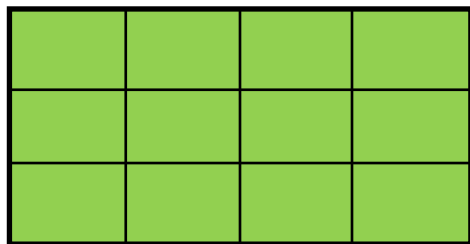
## ミウラ折りの数理

# ミウラ折りとは

## 紙を折りたたむとき

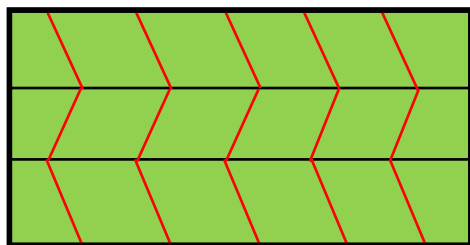
単純な方法

紙と垂直な直線で折り、一つ一つが長方形。



ミウラ折り

ジグザグな折り目で、1つ1つが平行四辺形。



開閉に負担がない

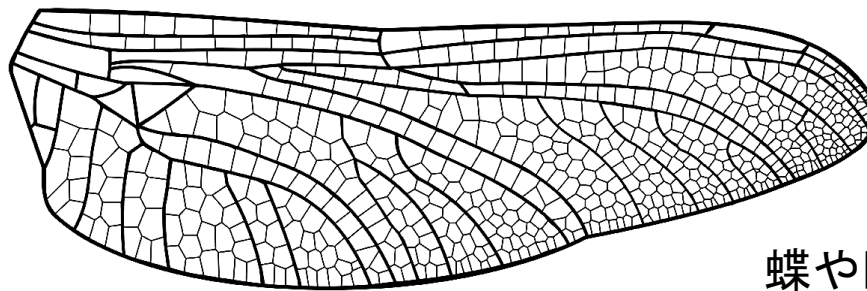


地図やパンフレットに活用



# ミウラ折りの応用

「折りたたみ」の  
最も自然な構造



蝶やトンボなどの羽



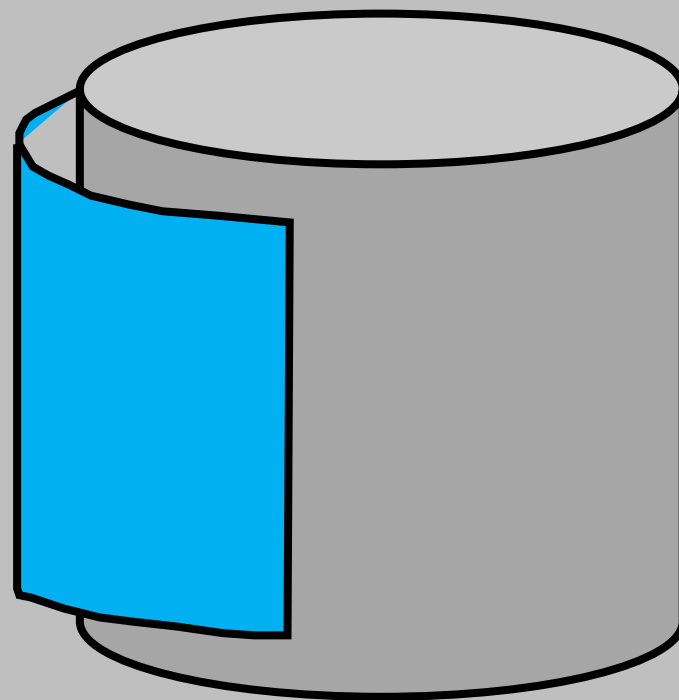
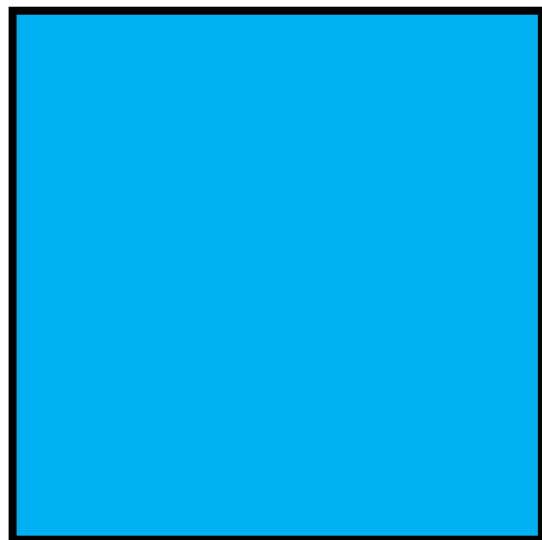
太陽光パネルの開閉に応用



若葉

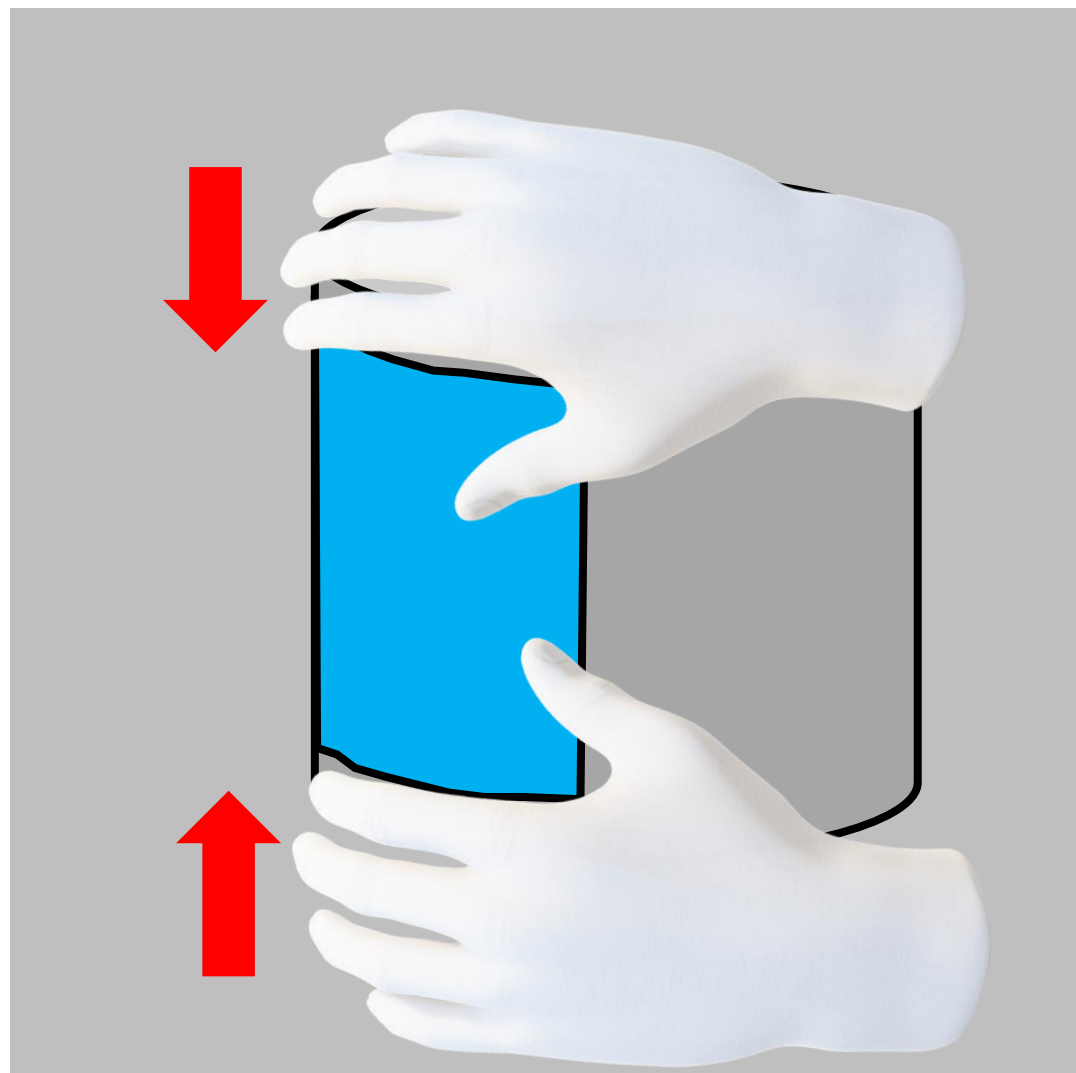
# ミウラ折りができるまで

紙の構造を理解する



# ミウラ折りができるまで

紙の構造が崩れる実験

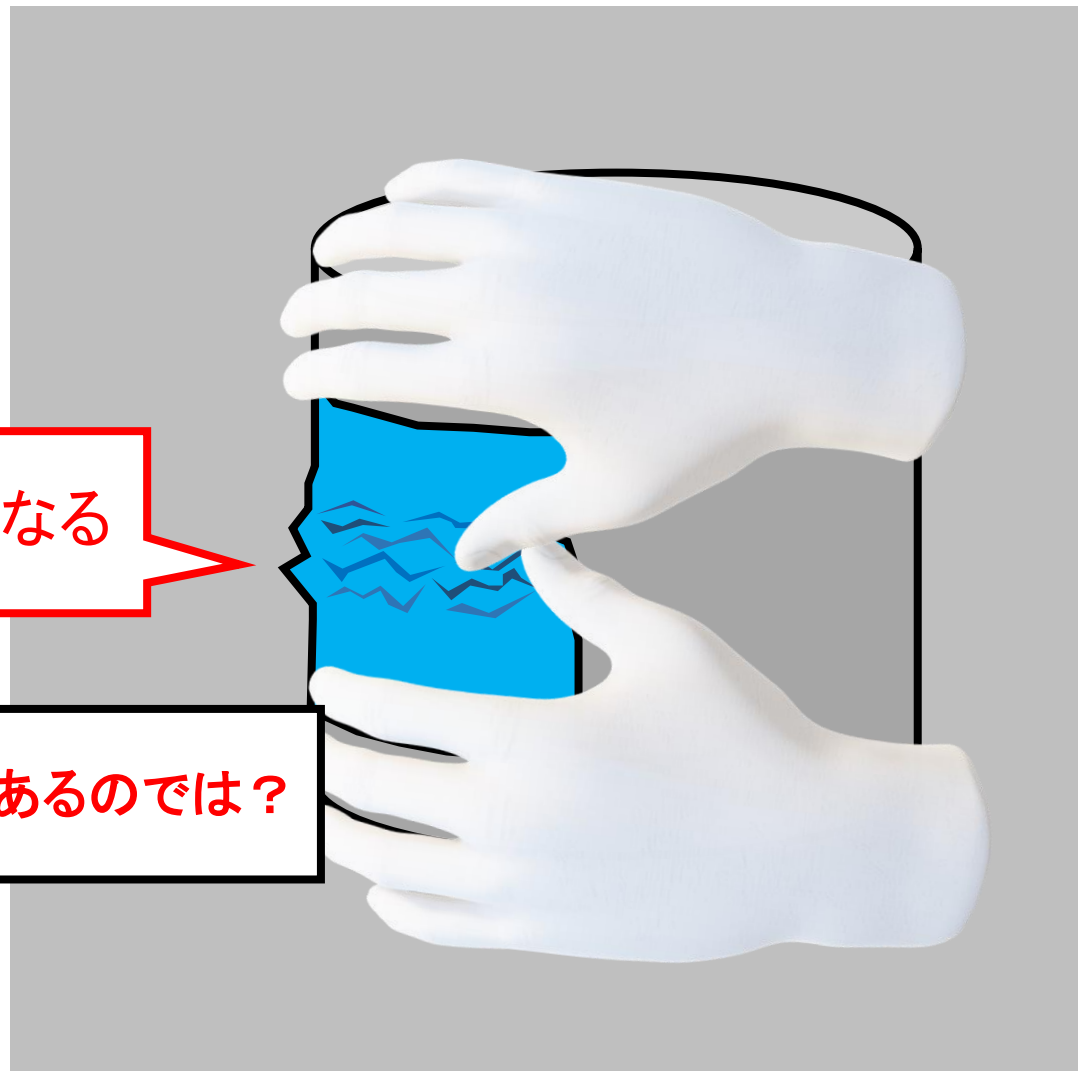


# ミウラ折りができるまで

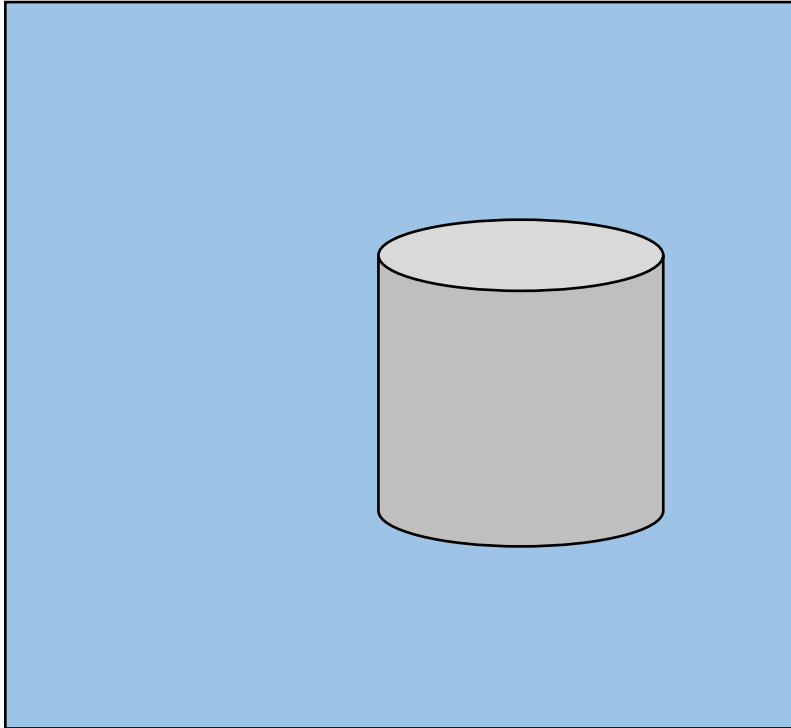
「ぐしゃっ」となる



「ぐしゃっ」にもパターンがあるのでは？



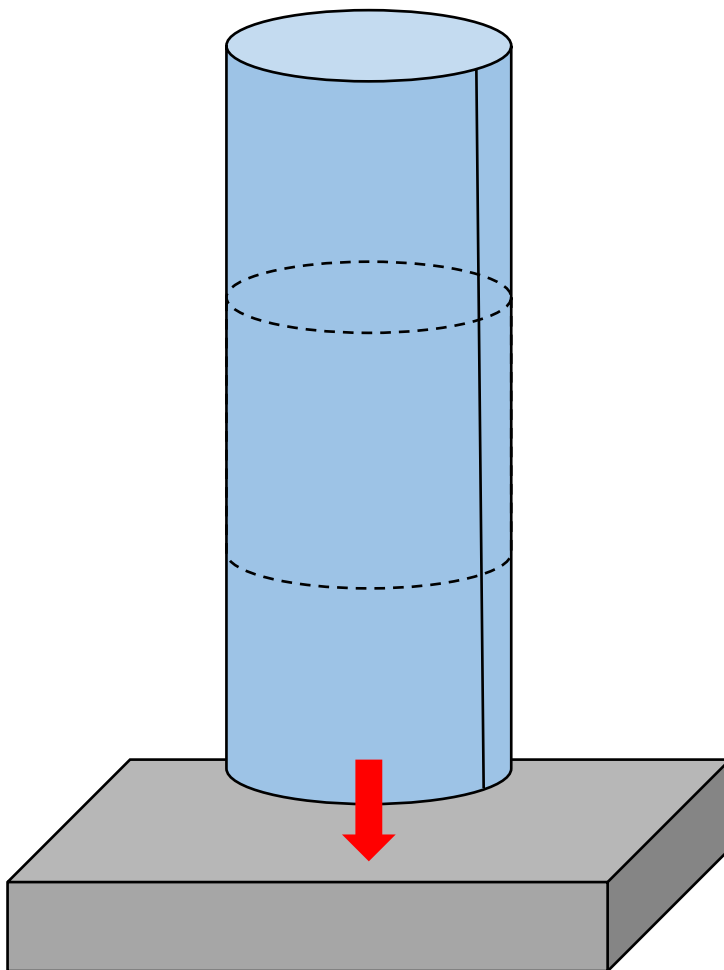
## 【実践】紙の構造破壊



①円柱形のものを用意(コップなど)

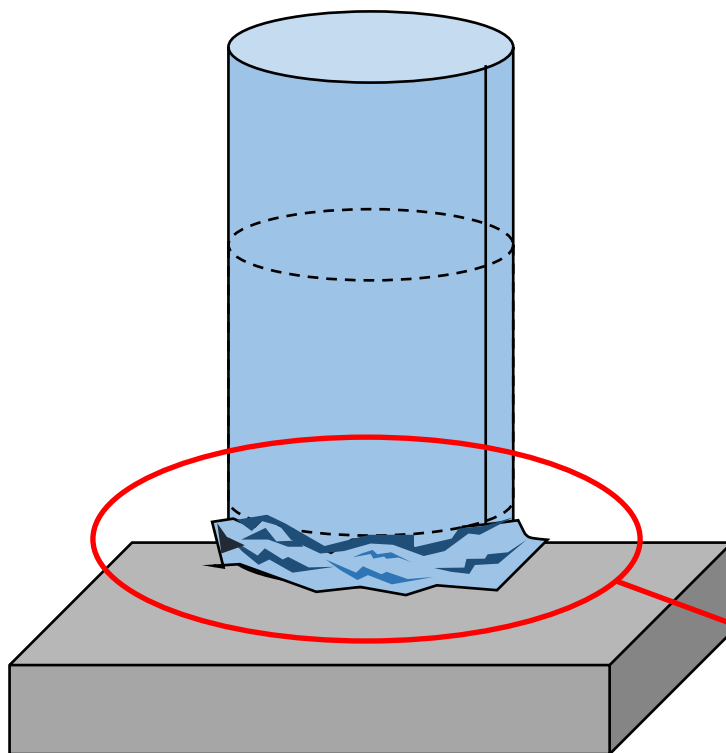
②紙を巻き付ける

## 【実践】紙の構造破壊



- ①円柱形のものを用意(コップなど)
- ②紙を巻き付ける
- ③台にたたきつける

## 【実践】紙の構造破壊



①円柱形のものを用意(コップなど)

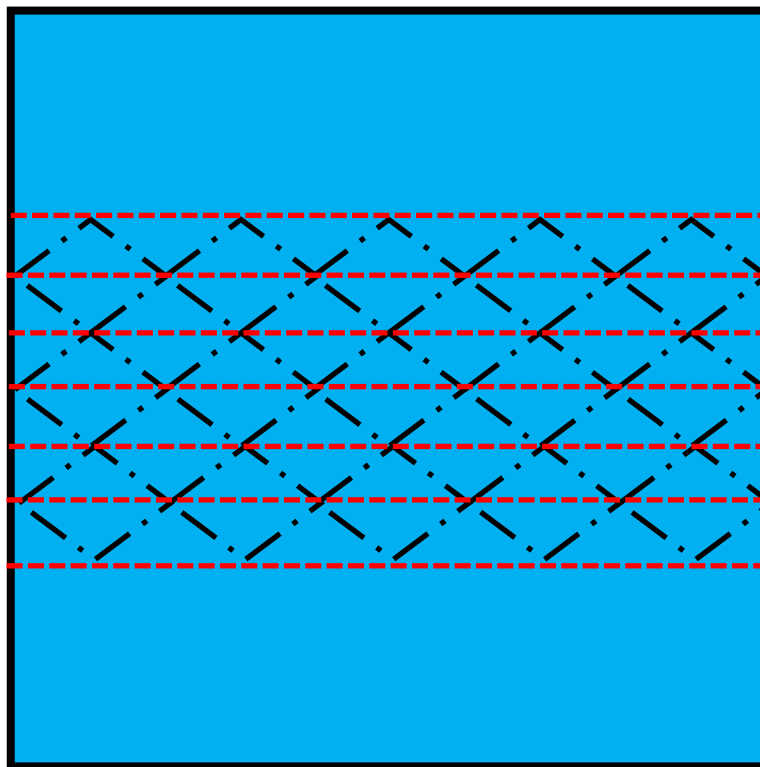
②紙を巻き付ける

③台にたたきつける

どんな模様ができるでしょう？

# ヨシムラパターン

円筒の破壊構造の研究を行っていた吉村慶丸教授にちなんで「ヨシムラパターン」と呼びます。



----- 谷折り

- · - 山折り



# ヨシムラパターン

## 様々なヨシムラパターン



ジーパンの膝裏のシワ

横方向の圧縮に強く頑丈



ダイヤモンドカット缶

# ミウラ折りの着想

## 三浦公亮教授の発想

円筒上で「ぐしゃっ」



ヨシムラパターン



平面上で「ぐしゃっ」



?

紙が崩れる物理法則は同じであるはずなので、何か規則的な模様ができるはず。

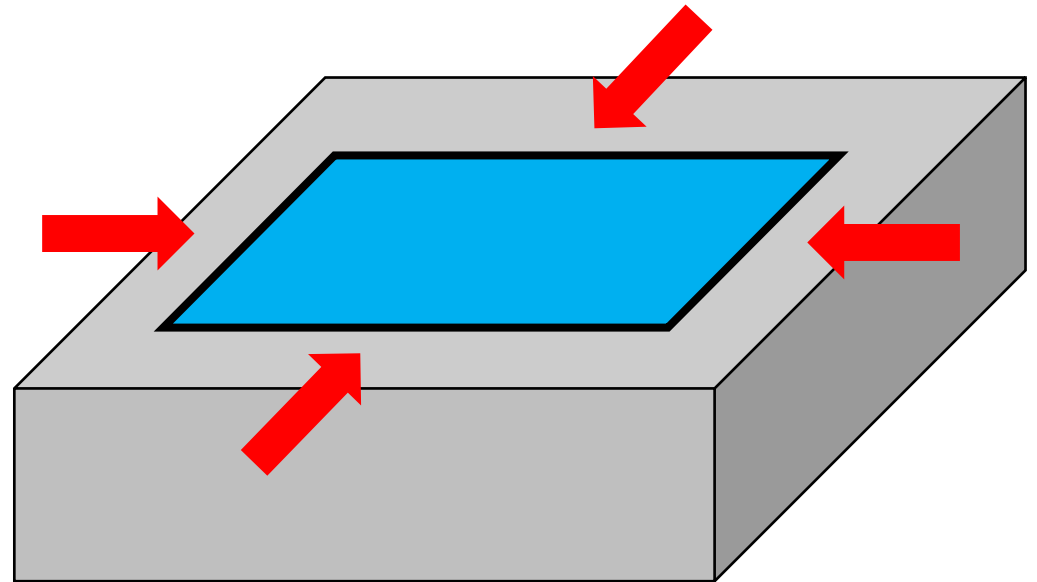


三浦公亮教授  
1930～

NASAで宇宙ステーションの設計にも携わる

# ミウラ折りの着想

平面上で「ぐしゃっ」とするイメージ

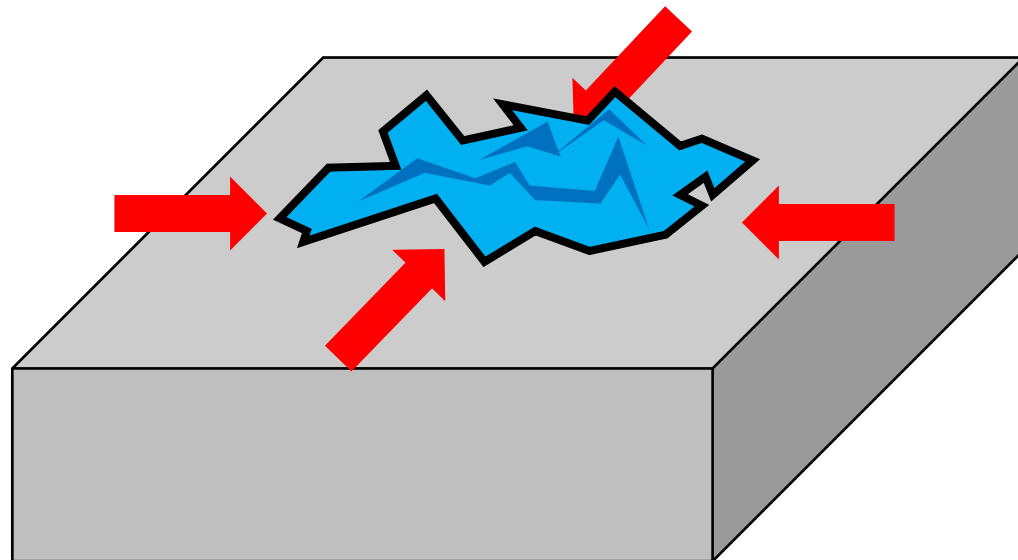


# ミウラ折りの着想

平面上で「ぐしゃっ」とするイメージ

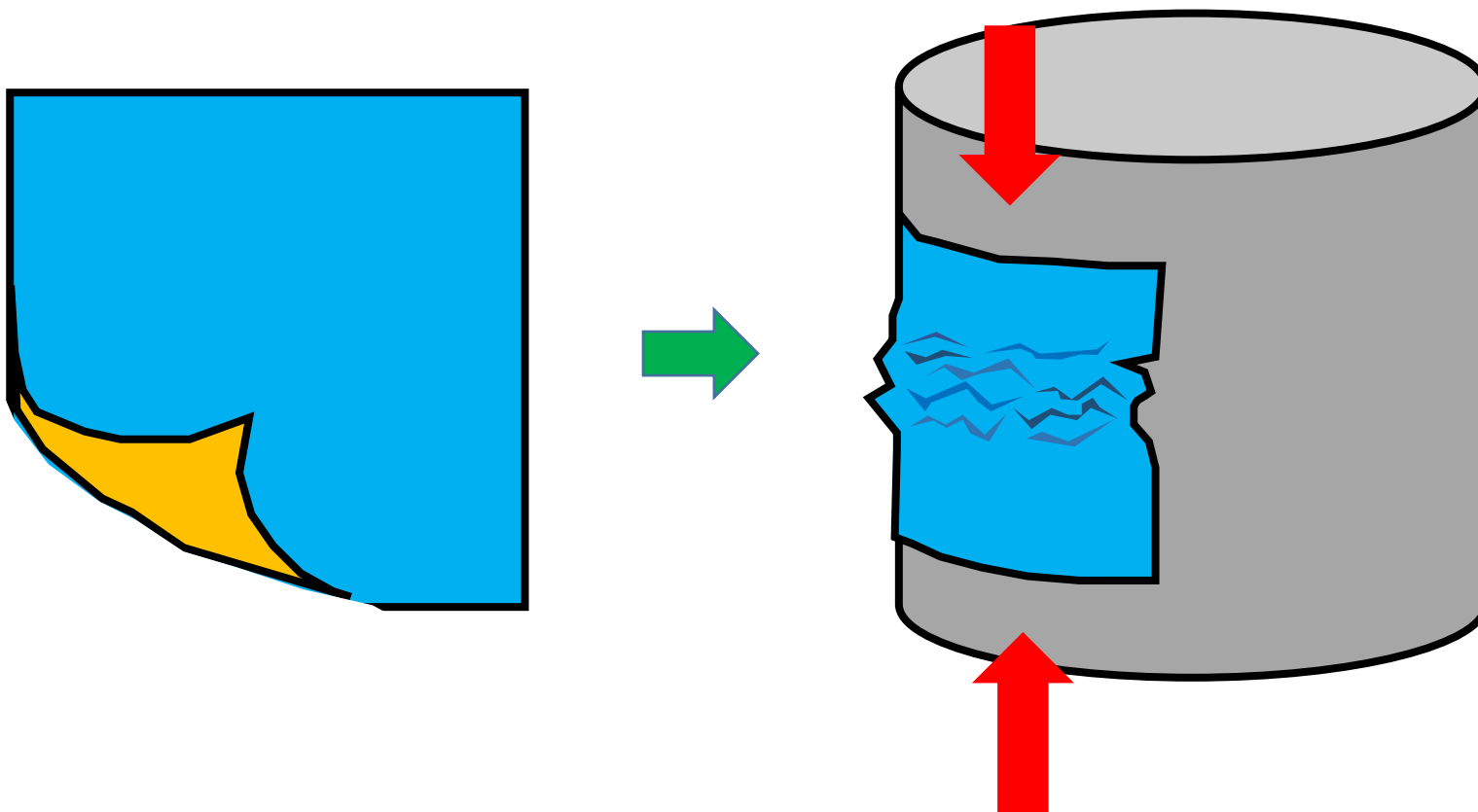


なかなかうまくいかない…。



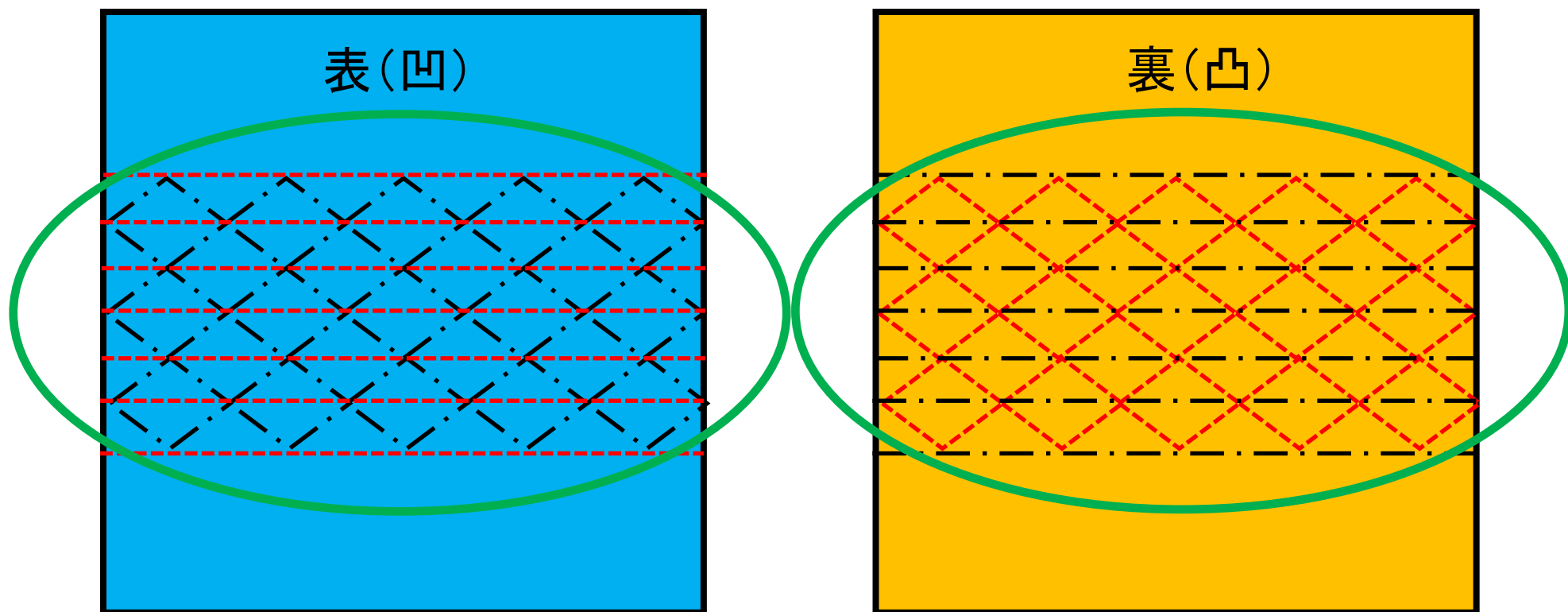
# ミウラ折りの着想

裏表のヨシムラパターンを観察する



# ミウラ折りの着想

山・谷が逆になっている2つのパターンをうまく合わせればいいのでは！

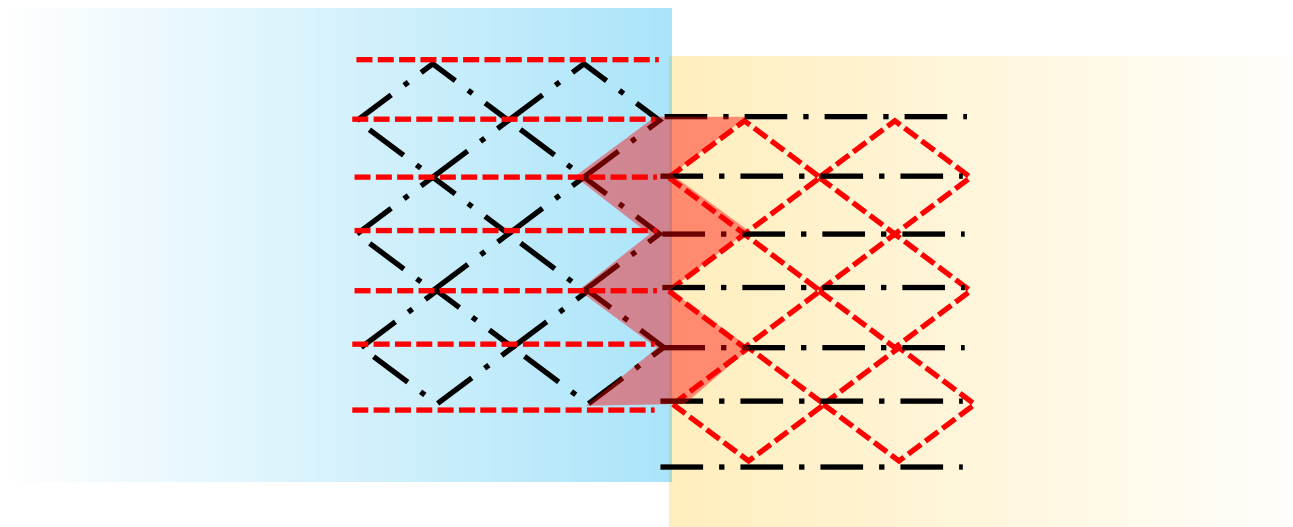


----- 谷折り    - · -    山折り

----- 谷折り    - · -    山折り

# ミウラ折りの着想

1段ずらして組み合わせる

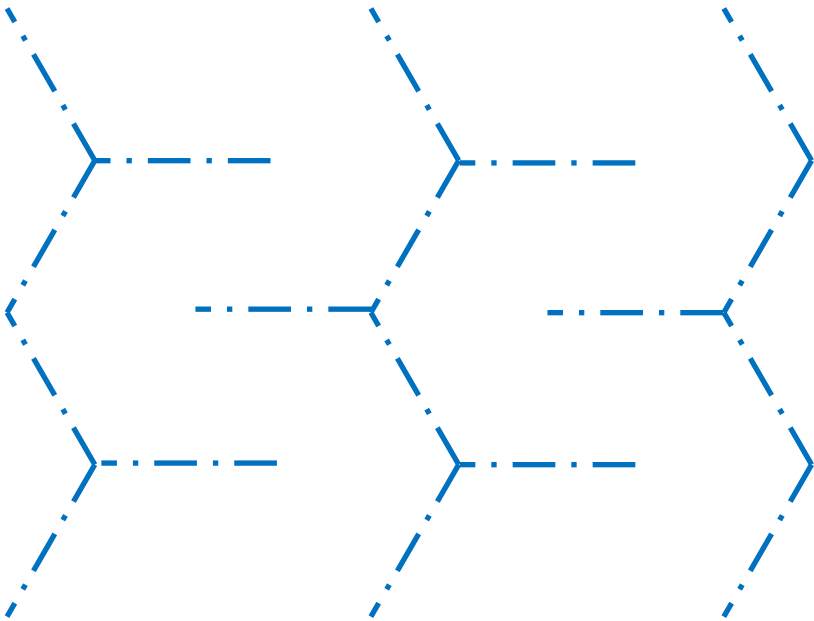


平行四辺形が現れる



ミウラ折り誕生の瞬間

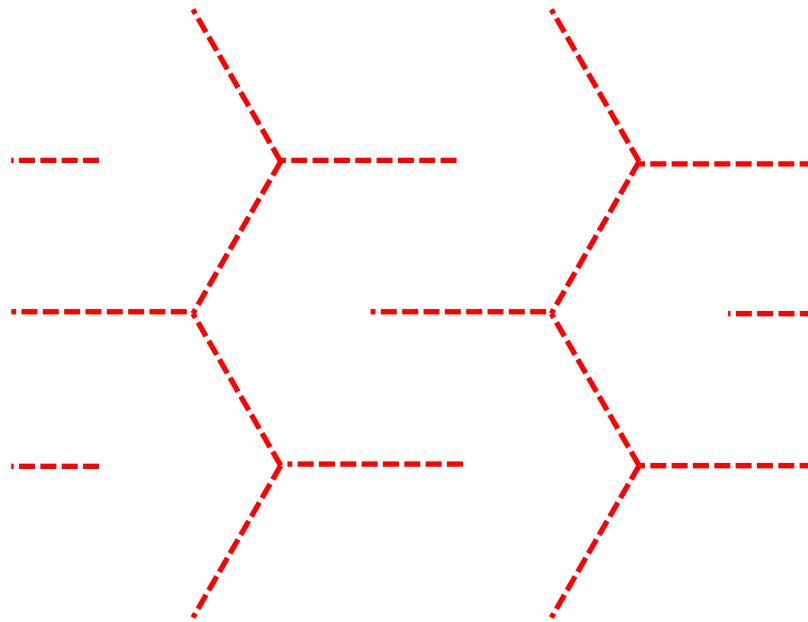
# ミウラ折り



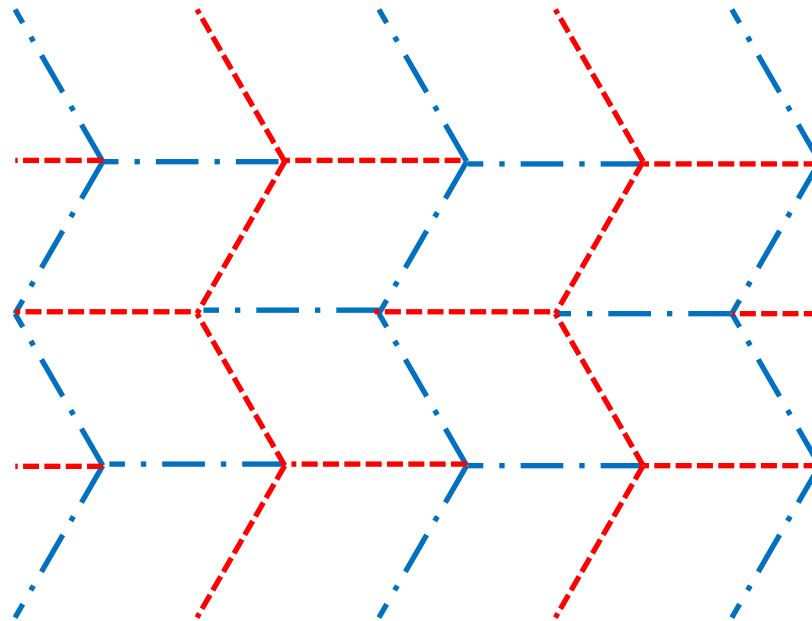


# ミウラ折り

---

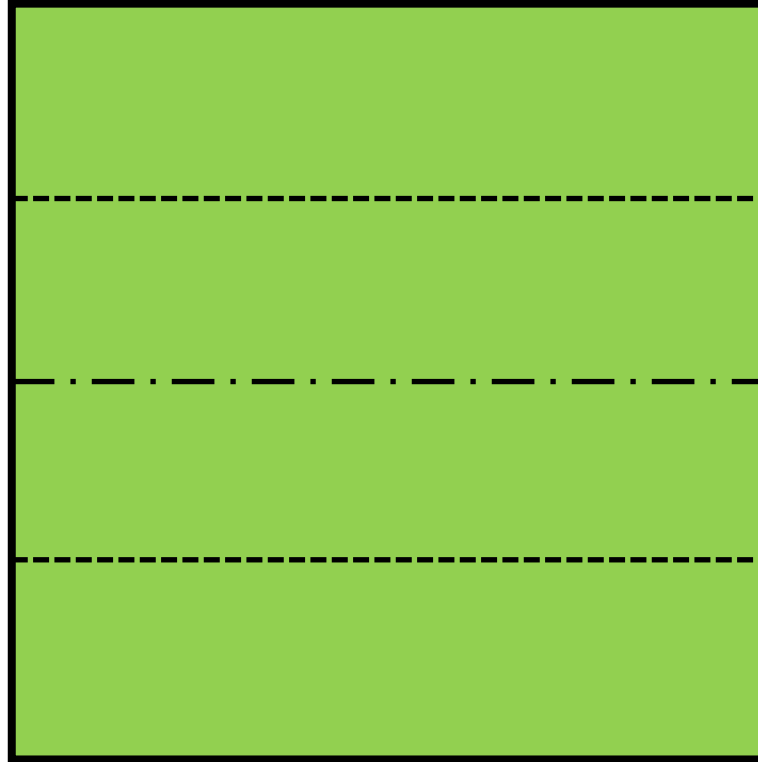


# ミウラ折り



## ミウラ折りの基本構造

## 【実践】折り紙でミウラ折り



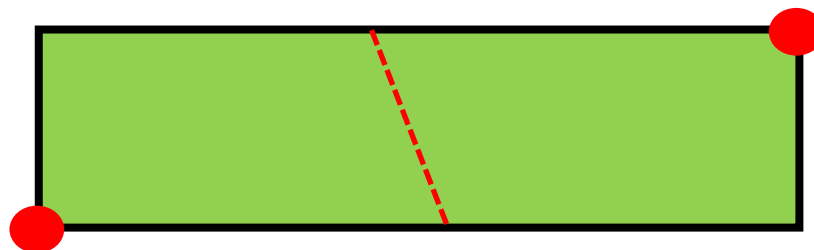
# 【実践】折り紙でミウラ折り

---



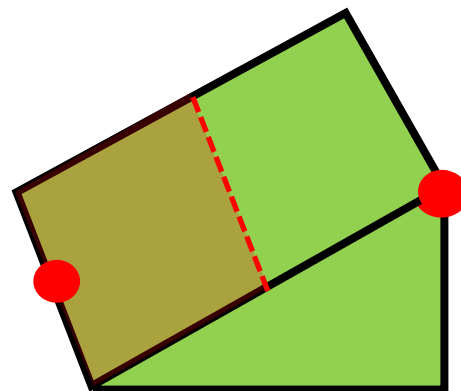
# 【実践】折り紙でミウラ折り

---

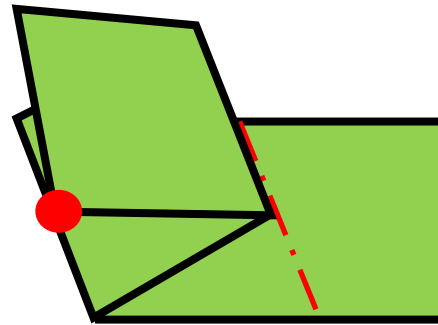


# 【実践】折り紙でミウラ折り

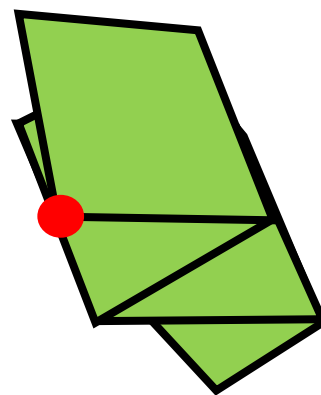
---



# 【実践】折り紙でミウラ折り



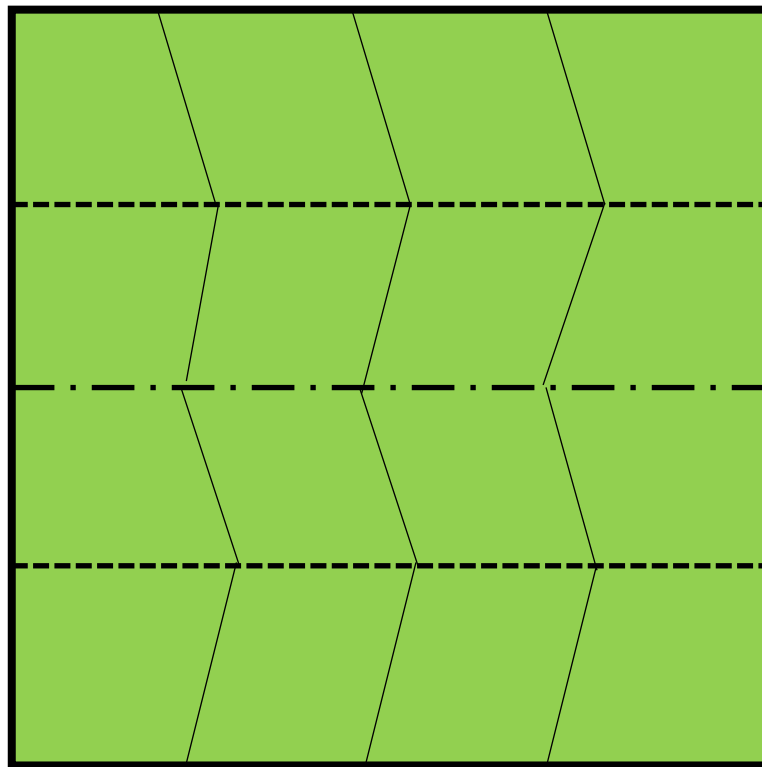
# 【実践】折り紙でミウラ折り



開く

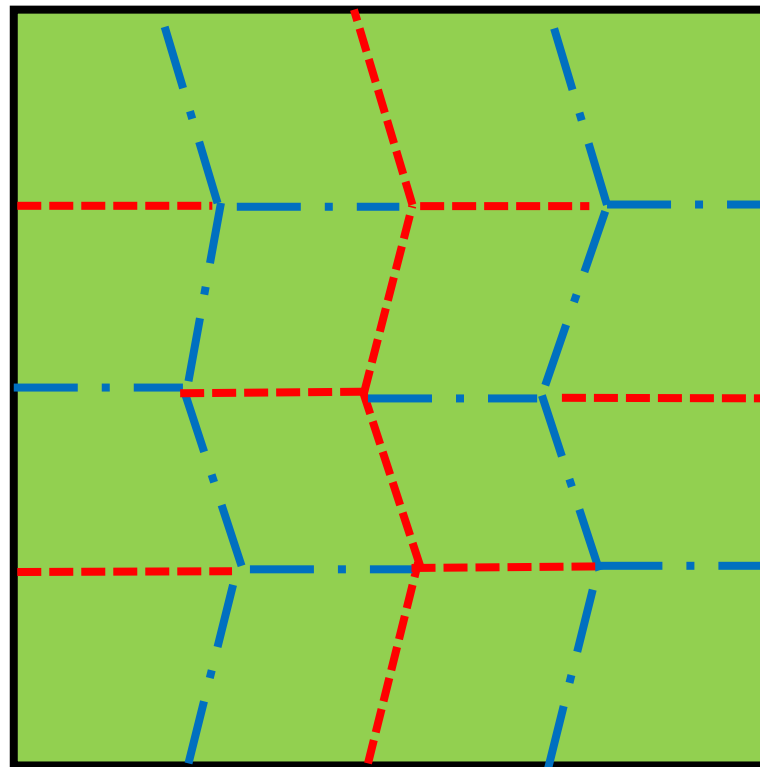


## 【実践】折り紙でミウラ折り



山折り谷折りを決める

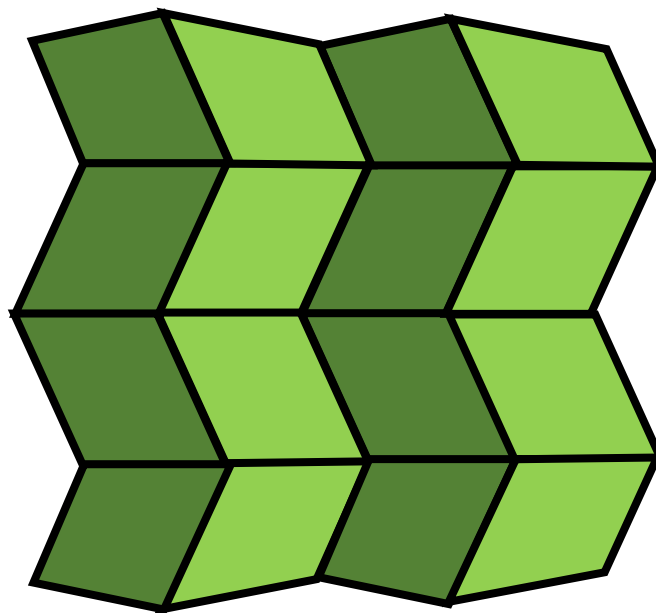
# 【実践】折り紙でミウラ折り



— · · 山折り

- - - 谷折り

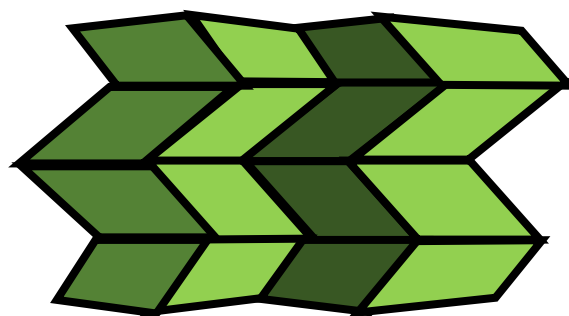
# 【実践】折り紙でミウラ折り



— . . 山折り

- - - 谷折り

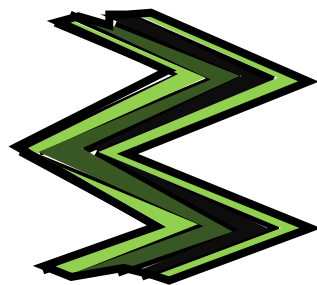
# 【実践】折り紙でミウラ折り



— · · 山折り

----- 谷折り

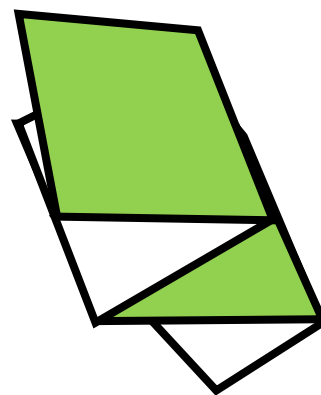
# 【実践】折り紙でミウラ折り



— . . 山折り

- - - - 谷折り

# 【実践】折り紙でミウラ折り



完成

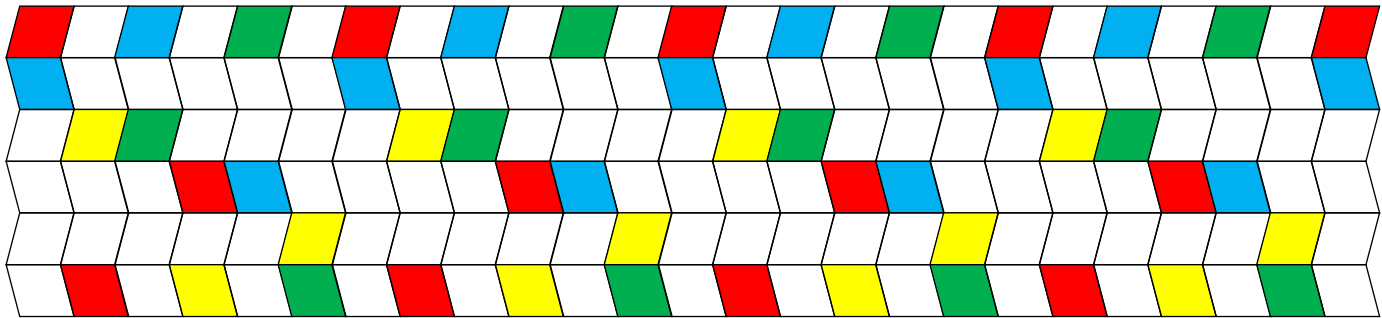
注: 地図などでは利便性のため奇数等分で折られます

# 【実践】ミウラ折りデザイン方法

---



# ミウラ折りのデザイン





# ミウラ折りデザインのグッズ化

SUZURI \_ グラス \_ Walker \_ ミウラ折りデザイン グラス



## ミウラ折りデザイン

グラス

1,850円 (税抜)

およそ 6 日 で発送 (土日祝を除く)

[🛒 このアイテムを購入する](#)

♡ 0

このアイテムについて

宇宙工学にも応用されている「ミウラ折り」の模様でグッズを作ってみました。

サイズ・素材について

配送・印刷について

📁 オモイデに追加

[ツイート](#) [埋め込む](#)

# デザインのグッズ化

---

① デザインを行う。

# デザインのグッズ化

---

① デザインを行う。

② 画像の加工（着色や透過）

# デザインのグッズ化

---

① デザインを行う。

② 画像の加工（着色や透過）

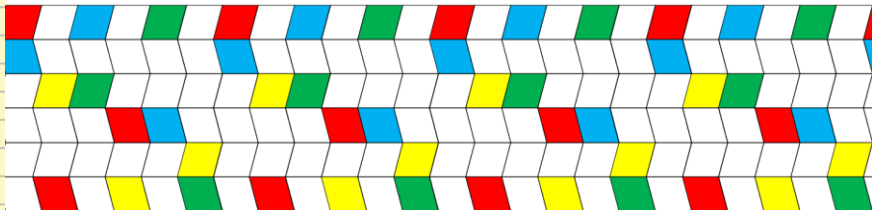
透過加工

# デザインのグッズ化

① デザインを行う。

② 画像の加工（着色や透過）

透過加工

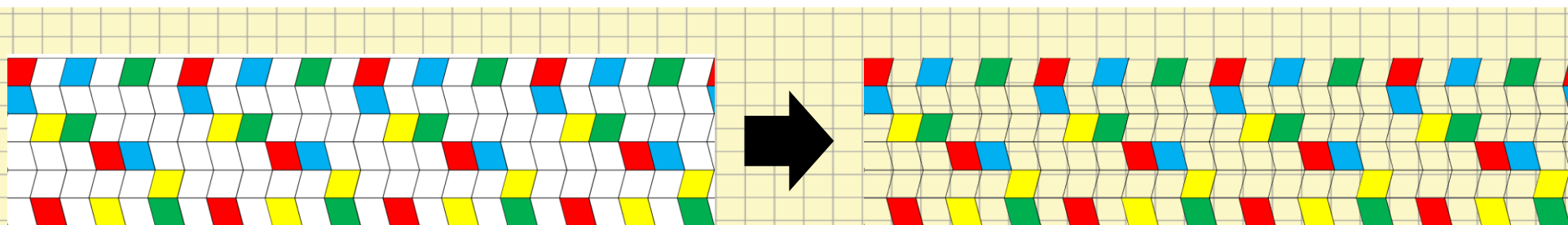


# デザインのグッズ化

① デザインを行う。

② 画像の加工（着色や透過）

透過加工

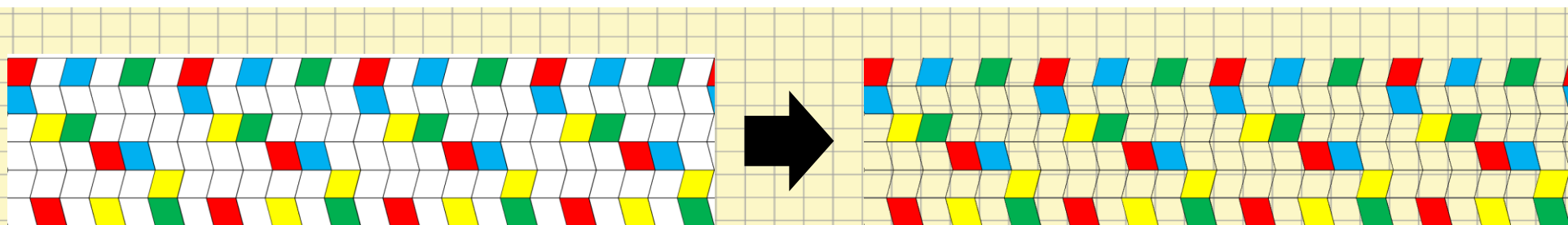


# デザインのグッズ化

① デザインを行う。

② 画像の加工（着色や透過）

透過加工



③ グッズ作成サイトへアップロード

例：SUZURI, オリラボマーケット etc