

# 2022 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

## 國中組 成果報告表單

題目名稱：三浦摺疊~探討摺數與負重量之關係~

### 一、摘要：

因為社團課觀賞摺紙密碼的關係，我們進行一連串之三浦摺疊負重量的實驗，發現同面積下，摺數越大，負重量越大，但摺數與負重量並沒有呈現線性關係，反而摺數越大，負重量有趨於穩定的狀態。其次，三浦摺疊的「形變」與「毀損」負重量的差距也隨著摺數越多，差距越大。

### 二、探究題目與動機

我們團隊在社團課時經老師推薦看了一部名為<摺紙密碼>的影片，其中名為三浦摺疊(ミウラ折り)的摺紙技術，讓我們十分感興趣，研究發現一張紙在用了這種折法後體積會縮小 25 倍，且能撐起超過自身 1000 倍的重物，甚至可以應用在醫學、人造衛星等多方面，但在驚訝的同時我們有了一個疑問，如果三浦摺疊的折數增加是否會讓可承載重量增加呢？真的會撐起超過自身重量的 1000 倍以上嗎？於是我們團隊開始著手這次的探究實驗。

### 三、探究目的與假設

#### (一)名詞釋義：

1. **三浦摺疊**：由日本東京大學構造工學名譽教授三浦公亮所發明的摺疊技術。該技術是以拉開對角兩端來把物品展開，而在收縮時則反向推入。這方法可節省空間外，又可避免摺疊和展開的過程中造成損耗。研究發現這方法可使物件的體積減少 25 倍，並使能量密度加強 14 倍（引自維基百科）。本研究使用 80 磅的 A3 紙張摺製三浦摺疊，經由微量電子秤測出平均重量為 10.2g。
2. **形變**：三浦摺疊打開後的高度變為原來(無負重情形下)的 90%，即為本研究定義的形變。
3. **完全毀損**：當三浦摺疊無法荷重時，令荷重物品「倒塌」時。

#### (二)研究目的與假設

1. 探討三浦摺疊在展開後同面積下不同摺數下，可負載使之**形變**的重量與關係。
  - (1)三浦摺疊在 7 x 9 的摺數下，可負載使之**形變**的重量
  - (2)三浦摺疊在 9 x 11 的摺數下，可負載使之**形變**的重量
  - (3)三浦摺疊在 11 x 13 的摺數下，可負載使之**形變**的重量
  - (4)三浦摺疊在 13 x 15 的摺數下，可負載使之**形變**的重量
  - (5)三浦摺疊在不同摺數下，可負載使之**形變**的重量關係
2. 假設三浦摺疊在展開後同面積下不同摺數下，可負載使之**完全毀損**的重量與關係。
  - (1)三浦摺疊在 7 x 9 的摺數下，可負載使之**完全毀損**的重量
  - (2)三浦摺疊在 9 x 11 的摺數下，可負載使之**完全毀損**的重量
  - (3)三浦摺疊在 11 x 13 的摺數下，可負載使之**完全毀損**的重量
  - (4)三浦摺疊在 13 x 15 的摺數下，可負載使之**完全毀損**的重量
  - (5)三浦摺疊在不同摺數下，可負載使之**完全毀損**的重量關係

#### 四、探究方法與驗證步驟

##### (一)先學會如何摺製三浦摺疊

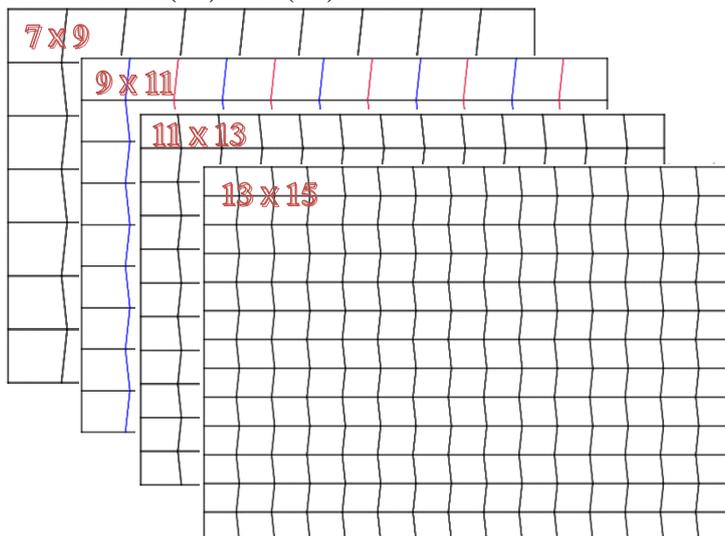
首先，我們在網路上搜尋相關的影片，對這種折疊法有了初步的了解。在經過幾次測試後，發現雖然成功摺出三浦摺疊，但我們四人居然摺出不同樣子，所以我們將其展開成平面，發現摺痕的每一個平行四邊形均不全等。表示在沒有準確的刻度下，會產生極大的誤差，以至於影響實驗之準確性。如圖(一)是我們未用模板摺出三浦摺疊的負重測試。



圖(一)

##### (二)利用數學繪圖軟體(Geogebra)來製作精確的三浦摺疊模板

為增加實驗的準確性，我們查詢了相關資料，顯示平行四邊形的角度為  $84^\circ$  時是最好的角度(參考資料 4)。經過多次修改模板後，我們成功摺出精準的三浦摺疊。由於實驗過程中我們會耗費許多三浦摺疊，所以我們合力摺了許多不同摺數的三浦摺疊。如圖(二)與圖(三)所示。



圖(二)電腦繪圖畫出的模板



圖(三)利用精準模板摺出許多的三浦摺疊

##### (三)設計負重實驗與使用器材

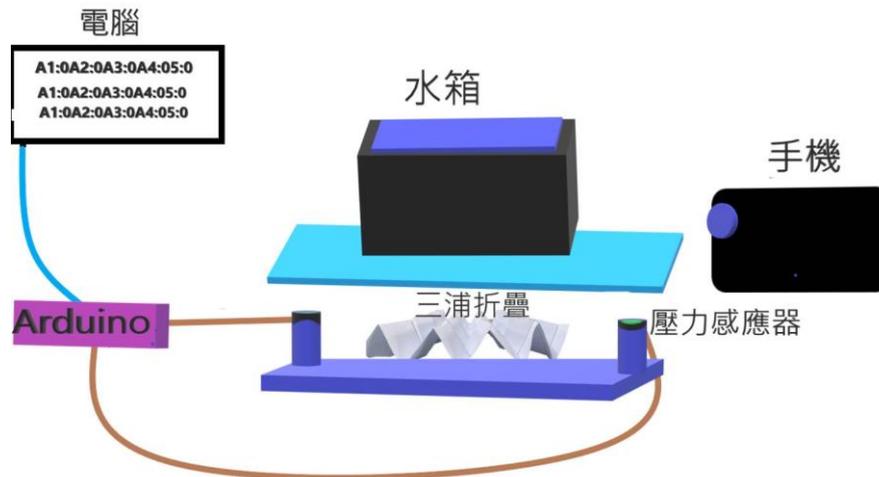
1. 負重物品：根據文獻，經過摺疊後的紙張可以負重超過自身重量的 1000 倍，因此我們決定使用水來當作負重物品，方便易得。
2. 測重儀器：行李秤，因其會受到手施力是否是鉛直垂直地面的影響，因此必須借助水平儀確保拿起行李秤時是水平狀態。此外，我們利用水平儀和行李秤量測標準砝碼量 100g，藉以確認行李秤是可以量測出正確的重量，如圖(四)所示。最後我們購買的行李秤的可測範圍是 50 公克至 50000 公克，每一次跳距為 10 公克。



圖(四)行李秤秤標準砝碼 100g

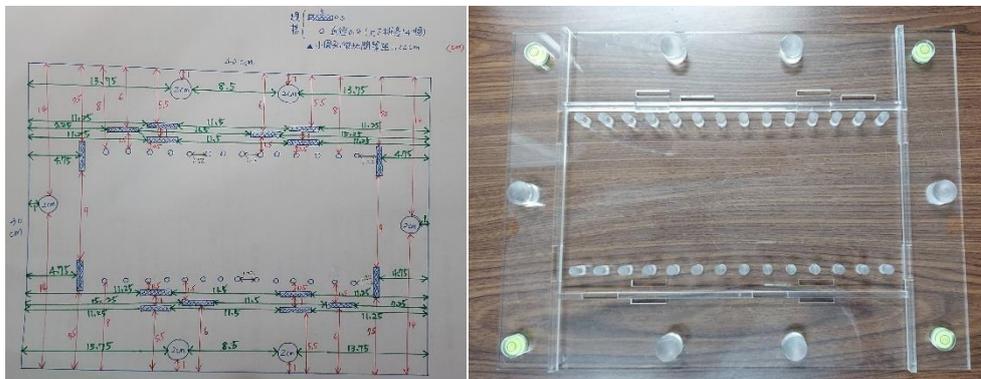
3. 設計實驗器材：

(1)初步實驗所遭遇的問題：三浦摺疊在無任何支撐下，其攤開後容易變形，面積無法固定，經過討論後我們想出以小支撐柱來卡住最旁邊的兩折，以期展開後面積固定。此外，壓力感測器的擺放位置無法放置三浦摺疊的中心，經過討論，我們決定將壓力感測器放於三浦摺疊外的大支撐柱，不同摺數，支撐柱的高度不同，我們以碰到第一個支撐柱為形變的開始。如圖(五)是我們的初步實驗構想之前視圖。

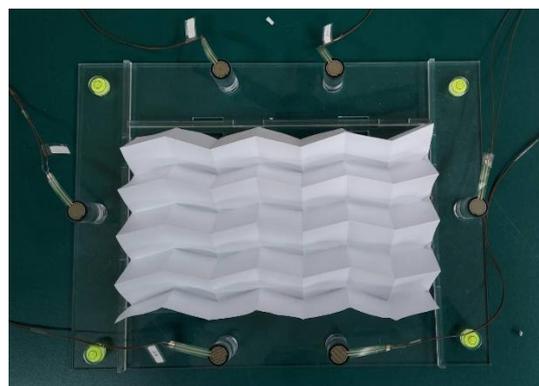


圖(五) 初步實驗構想之前視圖

(2)正式實驗器材：負重實驗要在均質的物品上施測較為準確，所以我們使用壓力板作為實驗器材，底板設計圖之上視圖與成品，如圖(六)所示，在實驗過程中為確保在在水平狀態下實驗，我們借助了四顆水平儀，圖(七)便是我們正式實驗三浦摺疊、壓克力板、水平儀、壓力感測器的擺放位置。



圖(六) 底板設計圖之上視圖與成品



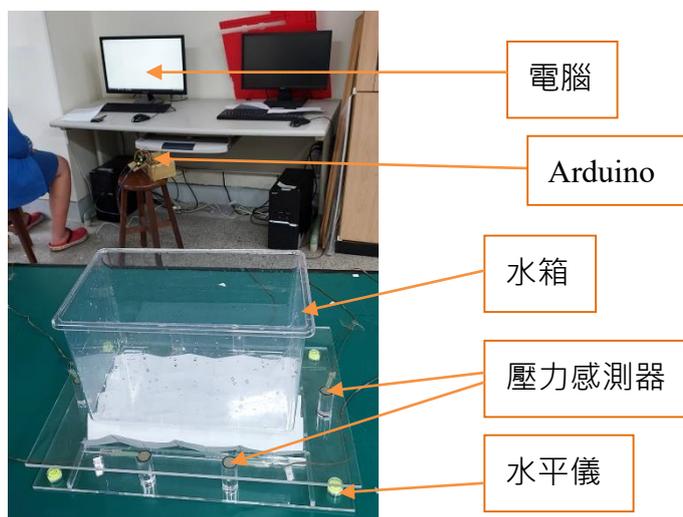
圖(七) 三浦摺疊、壓克力板、水平儀、壓力感測器的擺放位置

#### 4.正式實驗過程：

- (1)實驗過程我們需要的軟硬體有：C 語言、arduino、壓力感測器、蜂鳴器、水平儀、行李秤、電腦、Excel。
- (2)三浦摺疊形變測量：如上圖七所示，我們借助 arduino 來使實驗順利進行，當三浦摺疊發生形變時，壓力感測器偵測重量壓至，安設的蜂鳴器便會發出聲音，我們只要六個大支撐柱其中一個測到壓力即可，即是形變開始發生時的重量，表(一)呈現不同摺數展開後的高度和形變高度，當形變發生時尚不會危及它的結構，實驗過程中可撐住至少 5 分鐘並未使壓力感測器之數值增加。圖(八)呈現我們測試三浦摺疊形變的實驗器材。

表(一) 不同摺數展開後的高度和形變高度

摺數	7 x 9	9 x 11	11 x 13	13 x 15
展開後高度(cm)	4.5	3.7	3.0	2.7
形變高度	4.1	3.3	2.7	2.5



圖(八)三浦摺疊「形變」的器材。

- (3)三浦摺疊完全毀損測量：當負重物品倒塌時便是三浦摺疊於紙張的最大負重量，此時的三浦摺疊已完全毀損。實驗器材與圖(八)相近，只差在無需使用電子設備。

#### (四)負重實驗數據

1.三浦摺疊在展開後同面積下不同摺數下，可負載使之形變的重量(單位：kg)

摺數	7 x 9	9 x 11	11 x 13	13 x 15
第一次試驗	4.630	7.490	11.550	5.700
第二次試驗	4.480	7.560	11.360	5.680
第三次試驗	4.720	7.730	10.460	5.550
平均	4.610	7.593	11.123	5.643

2.三浦摺疊在展開後同面積下不同摺數下，可負載使之**完全毀損**的重量(單位：kg)

摺數	7 x 9	9 x 11	11 x 13	13 x 15
第一次試驗	4.650	8.740	13.850	14.020
第二次試驗	5.050	7.980	12.310	14.600
第三次試驗	5.040	8.090	12.340	13.620
平均	4.913	8.270	12.833	14.080

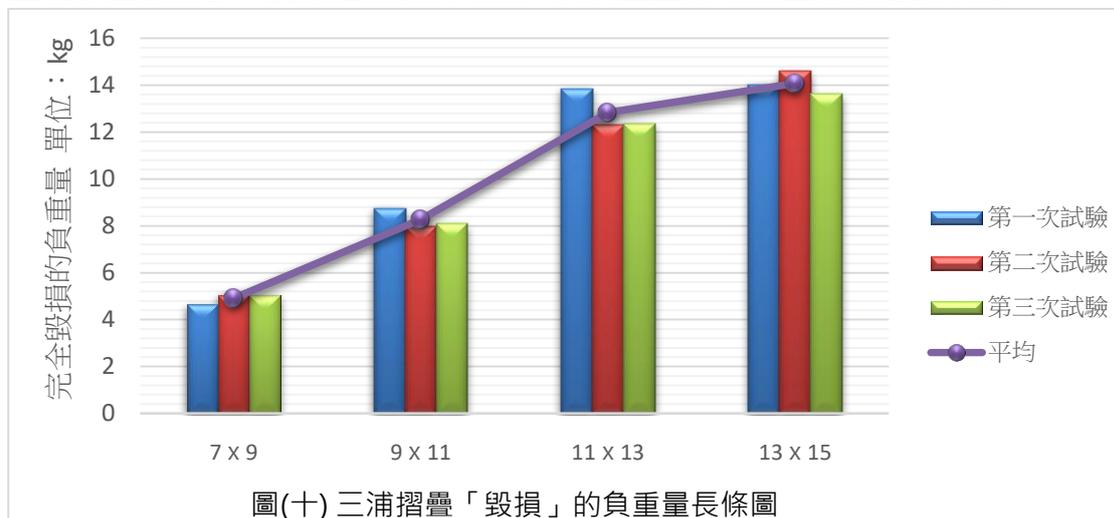
## 五、結論與生活應用

### (一)結論

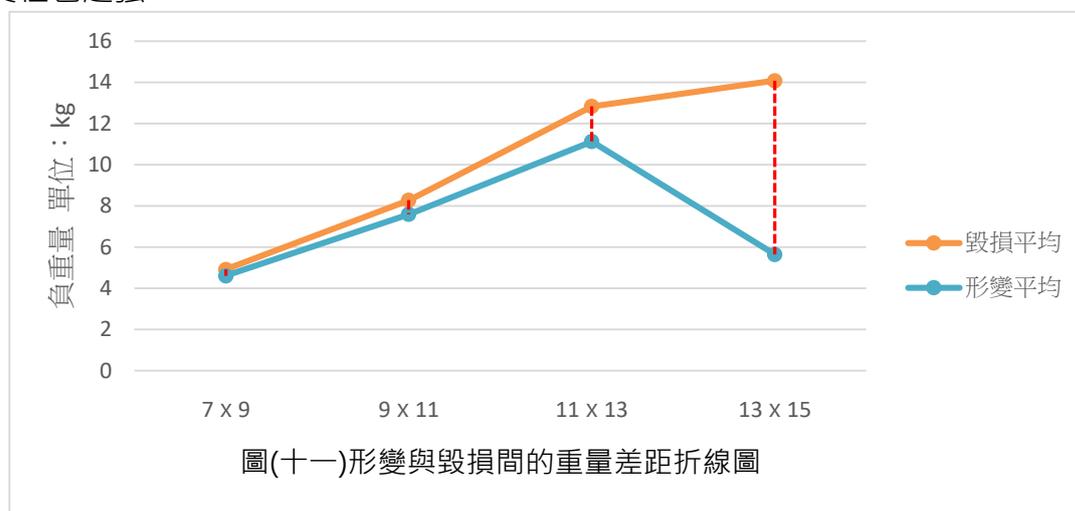
1. 形變：以平均重量每張 10.2g 的 A3 紙張，當開始形變時，其重量統計圖如圖(九)所示，我們發現其形變負重量最重的為摺數 11 x 13，令人意外的是 13 x 15 的形變負重量只和 7 x 9 相差無幾。我們推測是因為展開後形變量高度影響的關係。



2. 毀損：以平均重量每張 10.2g 的 A3 紙張，當開始形變時，其重量統計圖如圖(十)所示，我們發現其毀損的重量最重的為摺數 13 x 15，但是隨著摺數增加，與負重關係並「沒有呈現線性關係」，反而是摺數若增加，其負重量的增加量反而趨於平緩。



- 當負重量要為 A3 紙張本身(10.2g)的 1000 倍以上，無論形變或毀損我們發現摺數都需要 11 x 13 以上才行。
- 形變量與毀損間的重量差距，由圖(十一)可知摺數越大時，差距也跟著加大，紙張的耐受力也越強。



- 由於紙張經由三浦摺疊後，負重量就增加許多，若是以較堅韌的材質做成三浦摺疊來負重，那麼相信更可以負載更多重量。
- 我們發現實驗過程中，在三浦摺疊形變或是毀損時，發現幾乎都是由圖(七)中的三浦摺疊的四個頂點或左右兩側方向倒塌。可知頂點處與左右兩側的負重力較差。

## (二)實驗所遭遇的問題

- 環境濕氣會影響紙張的韌性，本研究是在雨天的時候進行實驗。
- 雖然我們極力避免加水時因重力產生影響，但我們卻無法完全避免。
- 我們是手摺三浦摺疊，比起機器摺出來的仍是有些許的誤差。

## (三)生活應用

- 可用於須承受較大重量等物體，例如：橋墩
- 因三浦摺疊可將體積縮小，所以適用物品收納，如：地震救難包
- 鋁罐飲料的堆疊收納會有負重的情況，可用三浦摺疊為飲料罐的外形，除了有造型外，還可防變形與堆疊收納。

## 參考資料

- 公視主題之夜~摺紙密碼：<https://youtu.be/6eWfUNNSk6Y>
- 摺紙密碼 -三浦摺疊面積縮小率和承受重量大小探討 -屏東縣第 60 屆國中小科學展覽。  
引自：[http://sci.ptc.edu.tw/Upfile/Works/1583323515\\_469566\\_43.pdf](http://sci.ptc.edu.tw/Upfile/Works/1583323515_469566_43.pdf)
- 維基百科—三浦摺疊：  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%B8%89%E6%B5%A6%E6%91%BA%E7%96%8A>
- 三浦摺疊：<https://agoogleaday.pixnet.net/blog/post/316921788>