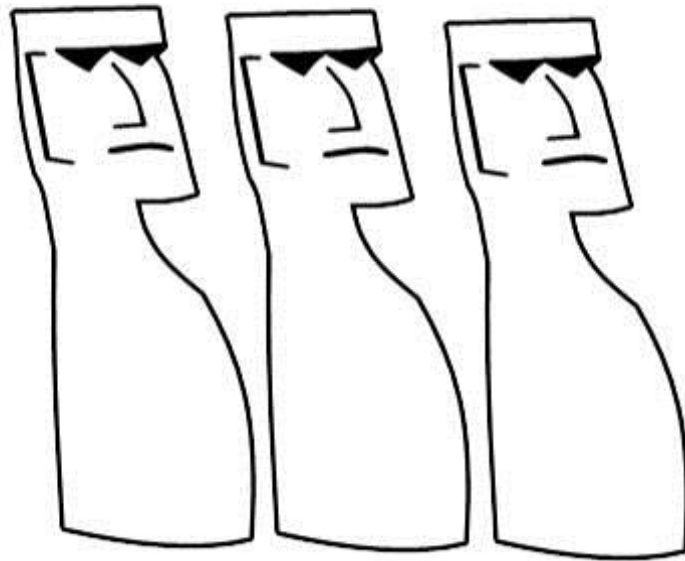


嘉義縣第 55 屆國民中小學科學展覽會
作品說明書



科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：進擊的巨人--復活島摩艾石像行走之謎

關鍵詞：重心、物體移動、簡單機械

編號：

作品名稱：進擊的巨人-復活島摩艾石像行走之謎

摘要：

本研究以復活島上的摩艾石像垂直行走為主題，探討石像可以垂直行走的科學證據。以市售縮小版石像模型進行實驗，結果發現要能垂直行走需要左前右前與後方三方的拉力，來維持石像平衡與前進是最佳的移動方式。在這種方式下，透過操作仿製石像模型發現，石像垂直移動與重心位置高低、底部形狀、拉力角度等有關。

進一步以自製作長方體模型，探討影響石像垂直移動的相關變因。發現石像垂直行走的模式是藉由重心移動，讓物體呈 Z 字型前進，物體底部形狀以接近正方形、長方形、圓方形，讓物體移動效率最好，重心高於 1/2 物體高、且重心在物體前面比較好操作。而這種垂直型行走方式雖然省力，但最重要是要經過三方拉力互相配合，才能達到理想的行走方式。

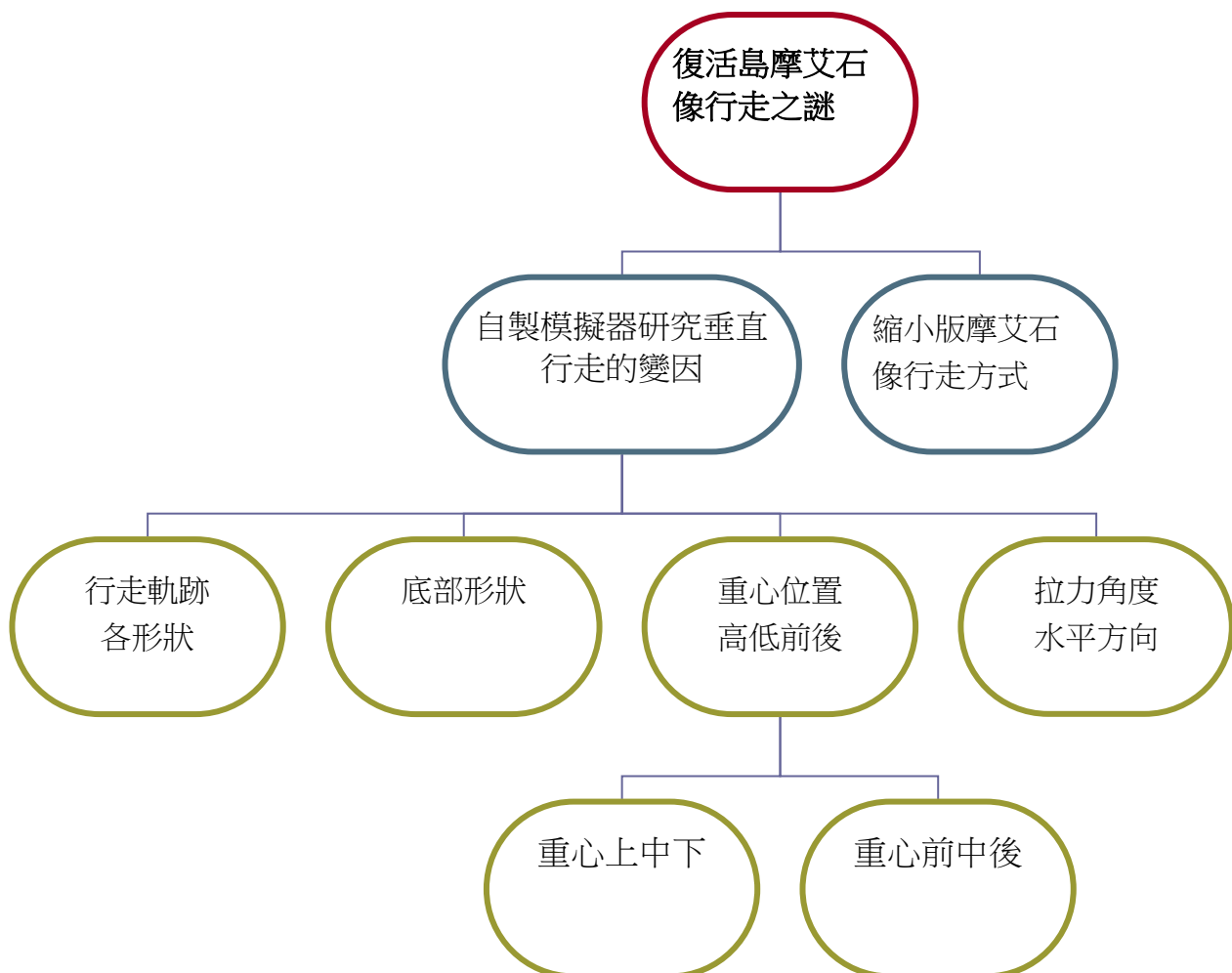
研究動機

「復活島上的摩艾石像可以在地上走路，你們相信嗎？」小如有一次在國家地理雜上看到報導有關復活島石像的內容，引起她對這主題的興趣，心想這麼笨重的石像，卻可以移動到島的四周整齊的排列。許多考古學家前往研究，針對石像移動提出許多的觀點，其中有人提出石像可以垂直行走，令世人議論不已。小如對這話題心中充滿許多的疑惑，於是上網蒐集相關資料，並到學校與老師與同學討論石像移動之魚謎，嘗試設計實驗並找出其中原因。

壹、研究目的

- 一、研究摩艾石像垂直形式可能移動的方式
- 二、探討縮小版摩艾石像重心位置
- 三、研究縮小版摩艾石像以左右搖擺方式移動軌跡
- 四、研究縮小版摩艾石像傾斜不倒最大角度與需要的拉力
- 五、探討不同拉力角度對摩艾石像以左右搖擺方式移動的影響
- 六、研究底部形狀對摩艾石像以左右搖擺方式移動的影響
- 七、研究重心位置對摩艾石像以左右搖擺方式移動的影響

研究架構



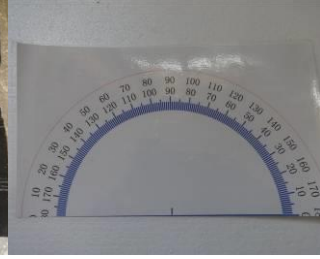


貳、研究設備及器材

一、器材明細表

1.彈簧秤	2.量角器	3.竹子	4. 鐵絲	5.拉秤	6. 3 kg啞鈴	7.拉繩
8.複寫紙	9.白色海報	10.角木	11.木心板	12.鐵釘	13.膠帶	14.皮尺

二、附照說明

			
拉秤	縮小版摩艾石像	木心板製的底板	自製長方體模擬器
			
拉繩	複寫紙併接全開大小	自製量角器	3KG 啞鈴

參、研究過程或方法

一、研究摩艾石像垂直形式可能移動的方式

方法：

- (一) 大家討論與上網收集資料，歸納出可以垂直形式移動的方式。
- (二) 實際用縮小版摩艾石像操作各種移動的方式。
- (三) 將結果記錄在記錄表上。

二、探討縮小版摩艾石像重心位置

方法：

- (一) 拉一條可承受縮小版摩艾石像（重 12.6 公斤、高 94.8 公分）的繩子。
- (二) 將摩艾石像分別以垂直、水平、橫放的方式放在繩上，當石像平衡不易倒下時，記錄其位置。
- (三) 連接三個向度平面其交叉點為物體重心。

三、研究縮小版摩艾石像以左右搖擺方式移動軌跡

方法：

- (一) 以 A4 複寫紙在地上黏貼鋪成全開大小的平面。
- (二) 將全開圖畫紙放在複寫紙上，再將縮小版摩艾石像放在紙上，以左右搖擺方式移動。
- (三) 以複寫紙記錄其移動軌跡。

四、研究縮小版摩艾石像傾斜不倒最大角度與需要的拉力

方法：

- (一) 將繩子分別綁在縮小版摩艾石像頭部與胸部。
- (二) 以拉秤與量角器測量縮小版摩艾石像傾斜不倒最大角度與需要的拉力。
- (三) 將結果記錄在記錄表上。

五、探討不同拉力角度對摩艾石像以左右搖擺方式移動的影響

方法：

- (一) 將繩子綁在摩艾石像頭部以左右搖擺方式移動。
- (二) 在以不使石像傾倒之下，用適當的拉力，左右各拉 20 下，分別測量在 90 度、60 度、30 度、0 度下的移動距離。
- (三) 將結果記錄在記錄表上。

六、研究底部形狀對摩艾石像以左右搖擺方式移動的影響

方法：

- (一) 用角木釘製一個高 8 呎寬 2 呎深 1.5 呎的長方柱體。
- (二) 分別用長方形、圓形、正方形、三角形、橢圓、圓方形底，以左右各拉 20 下，測量其移動距離，並用複寫紙紀錄其部份移動軌跡。
- (三) 將結果記錄在記錄表上。

七、研究重心位置對摩艾石像以左右搖擺方式移動的影響

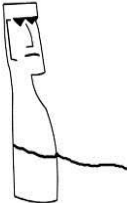
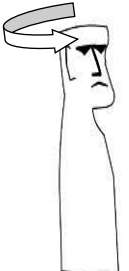
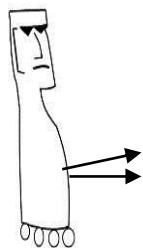
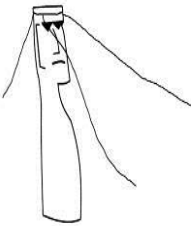

方法：

- (一) 將啞鈴綁在長方柱體上。
- (二) 分別測量啞鈴綁在前面，高度大於 1/2、1/2、小於 1/2 位置，以左右各拉 20 下，測量其移動距離。
- (三) 將結果記錄在記錄表上。
- (四) 分別測量啞鈴綁在高度 1/2 處，前、中、後位置，以左右各拉 20 下，測量其移動距離。
- (五) 將結果記錄在記錄表上。

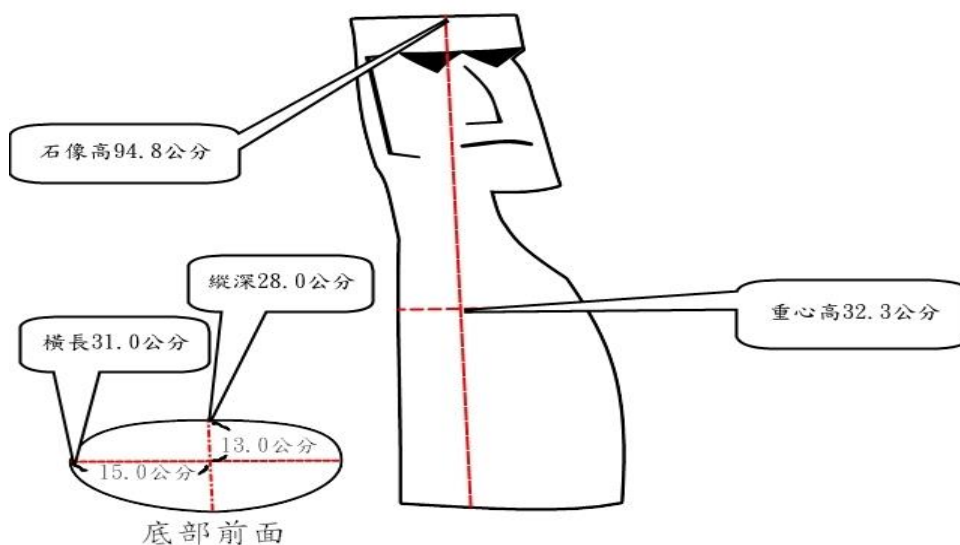
伍、研究結果：

結果一：研究摩艾石像垂直形式可能移動的方式

表伍-一、垂直行走的可能方式紀錄表

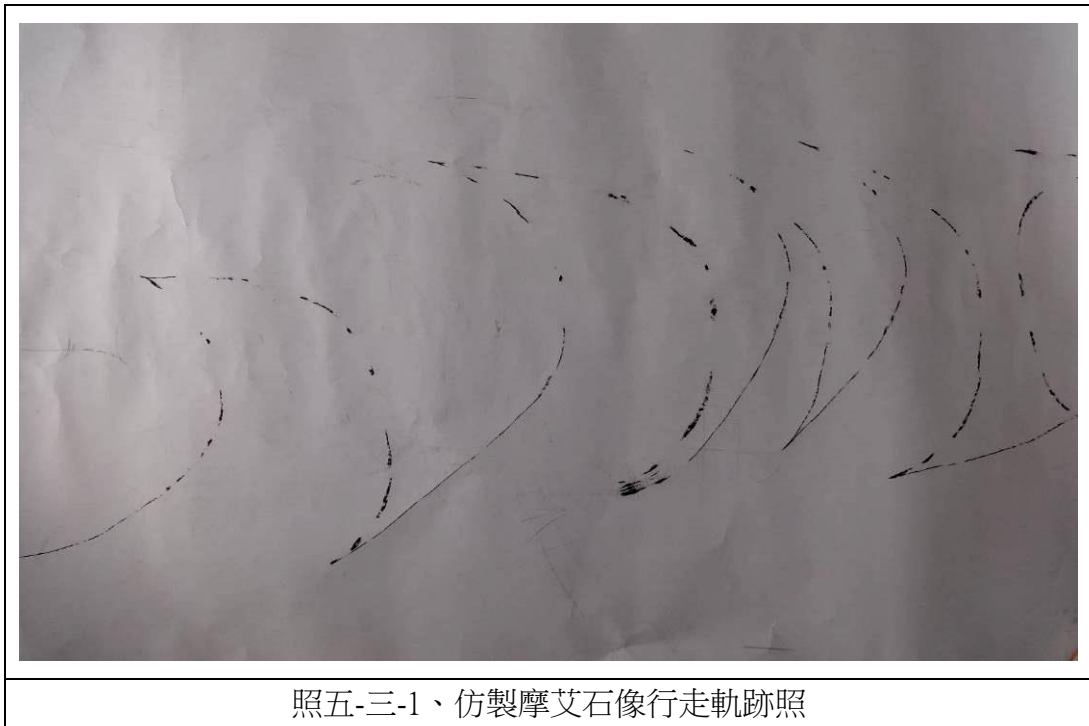
方式	直接拖曳	瓦斯桶滾法	底下放滾輪	左右搖擺	左右滾動
圖示					
實際操作	用拉繩綁在腹部，施力向前拉動石像。	石像要在傾斜平衡中旋轉，施力方向要在其旋轉切線方向。	石像下方放置木樁，施力向前拉動，藉其滾動可讓石像移動。	利用拉繩在石像斜前方拉動，讓石像產生左右搖擺，後方有一拉力預防石像傾倒。	利用拉繩綁在石像頭頂，讓石像產生左右滾動。
結果	移動過程中石像容易跳動而向前傾倒。	石像不易維持平衡，方向也不容易控制，有時容易傾倒。	石像直立在木樁上移動，如沒有繩索固定，在滾動中可能傾倒。	石像會左右搖擺中可以慢慢向前移動。	左右拉均會有一個向下分力，容易讓石像傾倒。

結果二：探討縮小版摩艾石像重心位置



圖伍-二-1、仿製摩艾石像重心剖析圖

結果三：研究縮小版摩艾石像以左右搖擺方式移動軌跡



照五-三-1、仿製摩艾石像行走軌跡照

結果四：研究縮小版摩艾石像傾斜不倒最大角度與需要的拉力

表伍-四-1、施力在頭部的拉力大小紀錄表

方位 測量次數	後	前	左	右
1	1.53	2.37	2.09	1.98
2	1.46	2.39	1.98	2.06
3	1.46	2.38	2.13	2.16
4	1.32	2.44	2.02	2.03
5	1.46	2.35	2.09	2.02
6	1.46	2.37	2.02	2.04
7	1.50	2.36	2.03	2.07
8	1.43	2.43	2.04	2.05
9	1.41	2.34	2.13	2.08
10	1.53	2.24	2.09	2.03
平均	1.46	2.37	2.06	2.05

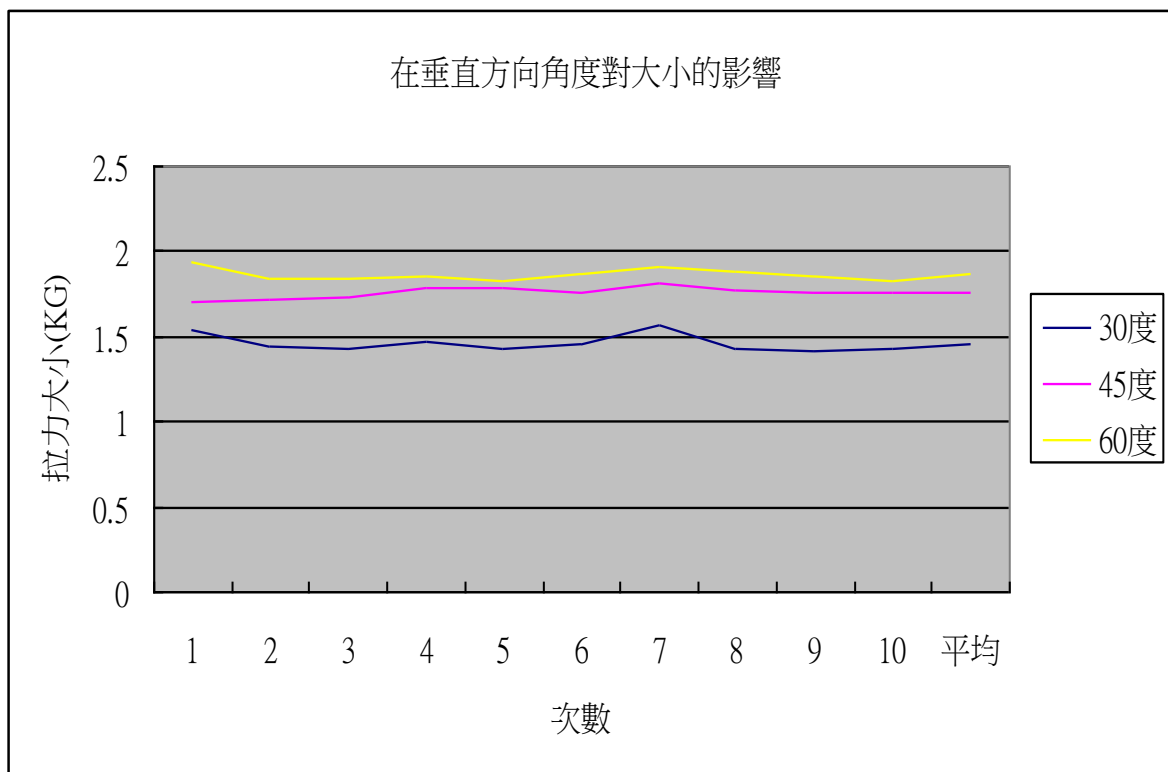
表伍-四-2、施力在頸部的拉力大小紀錄表

位置 測量次數	後	前	左	右
1	2.14	3.56	3.27	3.53
2	2.18	3.6	3.34	3.51
3	2.17	3.58	3.28	3.51
4	2.20	3.56	3.35	3.52
5	2.18	3.6	3.37	3.43
6	2.19	3.56	3.39	3.55
7	2.15	3.56	3.39	3.44
8	2.18	3.63	3.4	3.53
9	2.14	3.63	3.35	3.46
10	2.17	3.63	3.24	3.49
平均	2.17	3.59	3.34	3.50

表伍-四-3、在垂直方向施力角度的施力大小紀錄表

(單位:公分)

角度 測量次數	30 度	45 度	60 度
1	1.54	1.71	1.93
2	1.44	1.72	1.84
3	1.43	1.73	1.84
4	1.47	1.78	1.85
5	1.43	1.79	1.83
6	1.45	1.76	1.87
7	1.57	1.81	1.91
8	1.43	1.77	1.88
9	1.42	1.76	1.85
10	1.43	1.76	1.83
平均	1.46	1.76	1.86



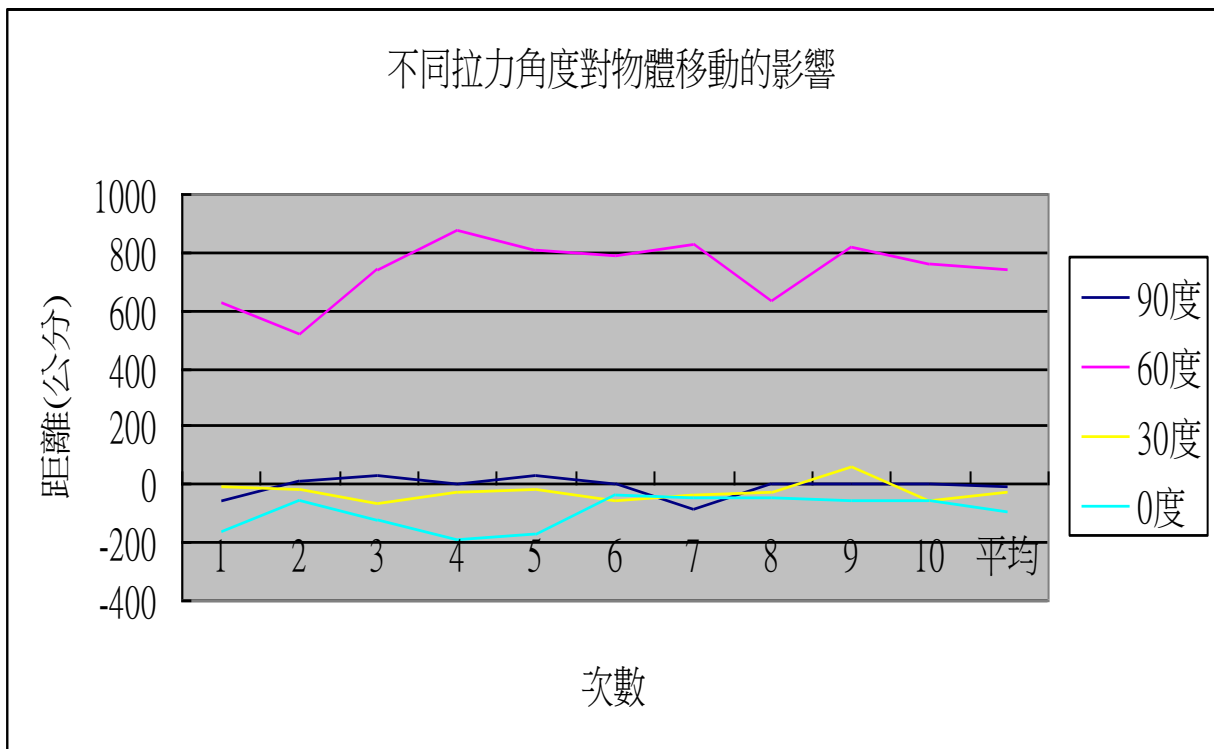
圖伍-四-1、在垂直方向施力角度的施力大小折線圖

結果五：探討不同拉力角度對摩艾石像以左右搖擺方式移動的影響

表伍-五-1、水平方向拉力角度對物體移動紀錄表

(單位:公分)

拉的角度	90 度	60 度	30 度	0 度
1	-55	625	-10	-158
2	16	524	-17	-58
3	33	742	-63	-126
4	-1	873	-22	-193
5	28	807	-19	-168
6	1	786	-54	-40
7	-79	825	-39	-41
8	3	632	-24	-42
9	7	815	60	-55
10	1	761	-54	-50
平均	-4.6	739	-24.2	-93.1



圖伍-五-1、水平方向拉力角度對物體移動折線圖

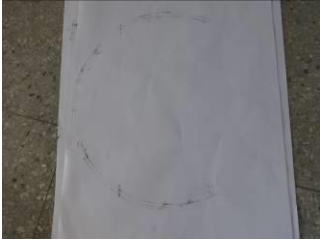
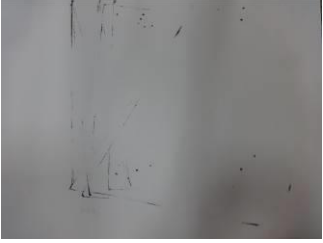
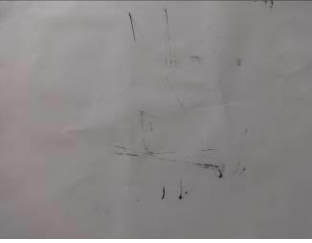


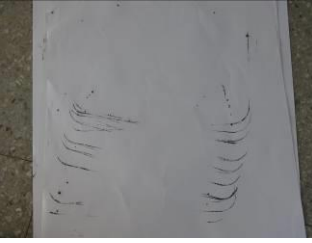
結果六：研究底部形狀對摩艾石像以左右搖擺方式移動的影響

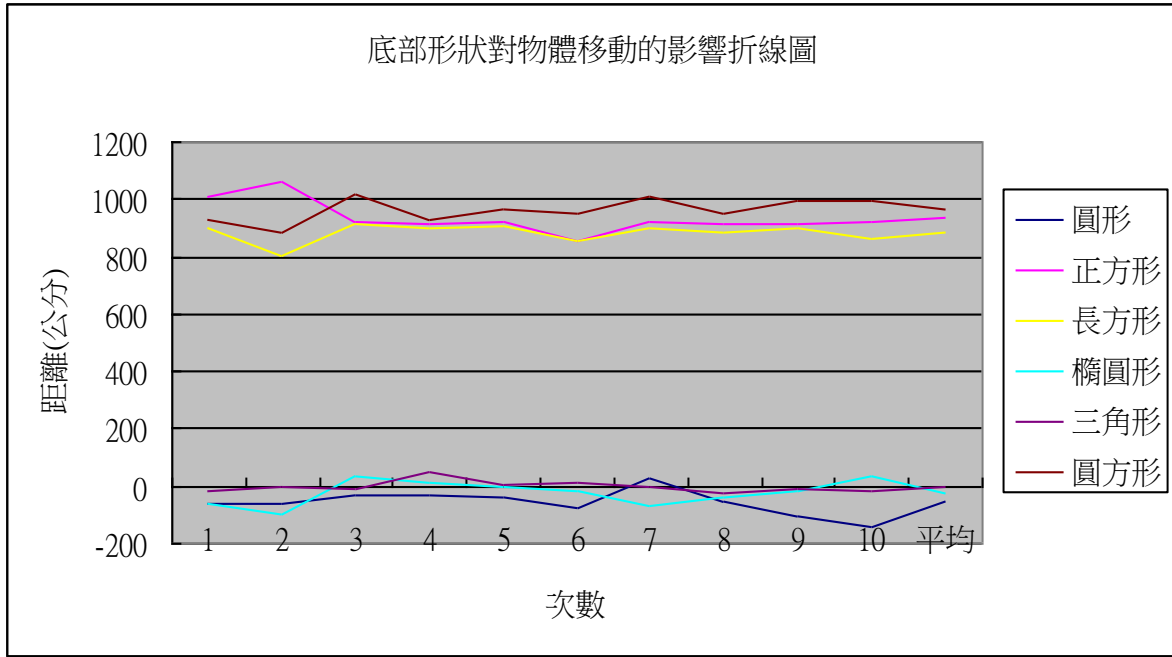
表伍-六-1、底部形狀對物體移動影響紀錄表

(單位:公分)

底部形狀	圓形	正方形	長方形	橢圓形	正三角形	圓方形
1	-58	1013	902	-63	-20	932
2	-60	1064	806	-96	1	882
3	-29	920	914	31	-13	1014
4	-30	917	902	12	50	929
5	-37	920	905	-1	5	965
6	-77	857	859	-19	14	952
7	30	923	902	-65	-1	1010
8	-54	914	883	-41	-22	952
9	-103	917	903	-20	-12	997
10	-138	921	860	31	-15	994
平均	-55.6	936.6	883.6	-23.1	-1.3	962.7

表伍-六-2 底部形狀對物體移動的足跡

底部形狀	圓形	正方形	長方形
照片			
底部形狀	橢圓形	三角形	圓方形
照片			



圖伍-六-1、底部形狀對物體移動距離折線圖

結果七：研究重心位置對摩艾石像以左右搖擺方式移動的影響

表伍-七-1、重心高度對物體移動的影響紀錄表

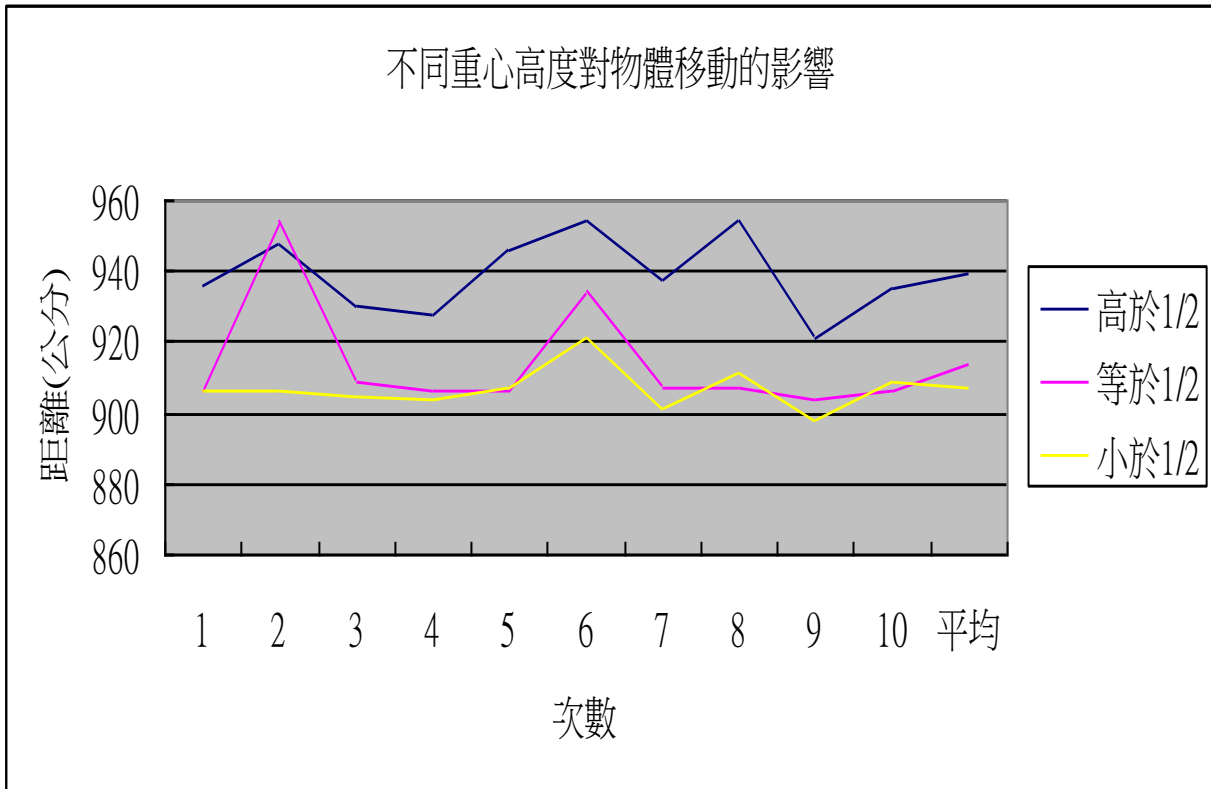
(單位:公分)

位置	高於 1/2	等於 1/2	小於 1/2
1	936	906	906
2	948	954	906
3	930	909	905
4	928	906	904
5	946	906	907
6	954	934	921
7	938	907	901
8	954	907	911
9	921	904	898
10	935	906	909
平均	939	913.9	906.8

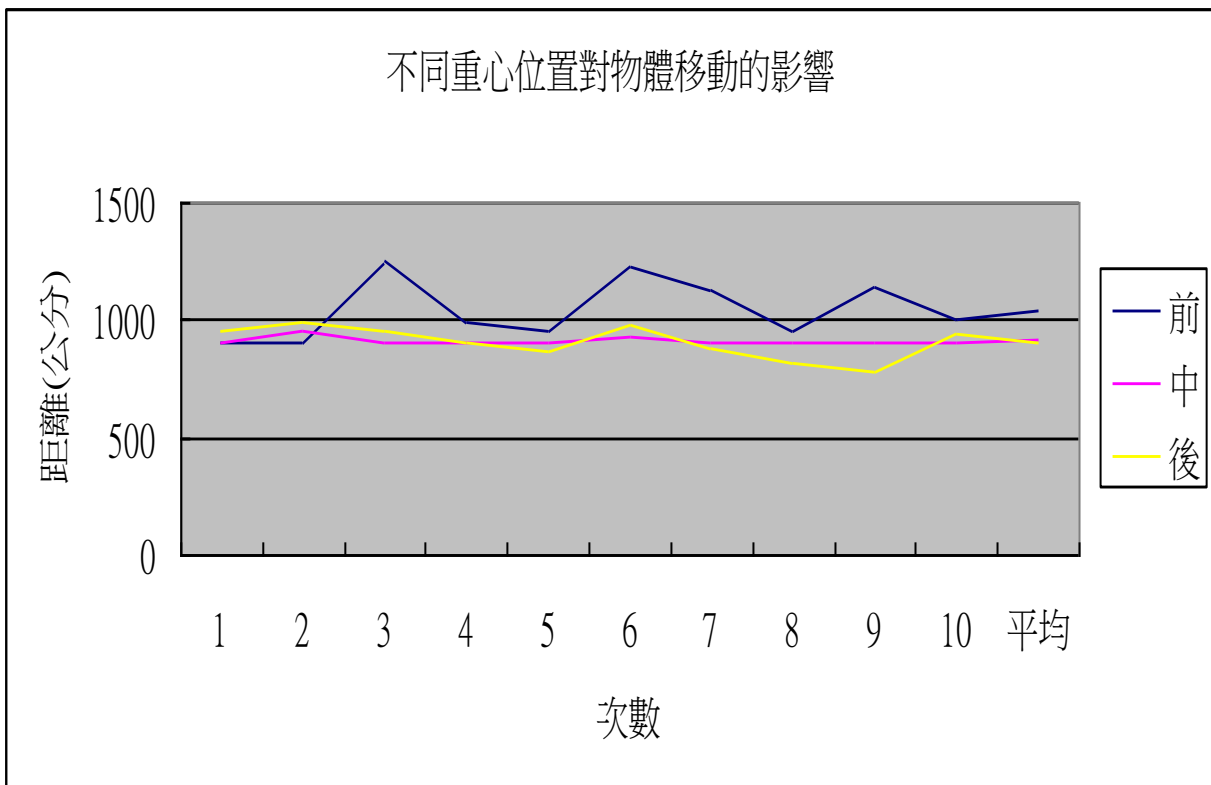
表伍-七-2、重心在前中後對物體移動的影響紀錄表

(單位:公分)

位置	前	中	後
1	906	906	952
2	904	954	987
3	1254	909	954
4	996	906	907
5	952	906	863
6	1226	934	976
7	1125	907	882
8	954	907	819
9	1138	904	776
10	1001	906	941
平均	1045.6	913.9	905.7



圖伍-七-1、不同重心高度對物體移動影響折線圖



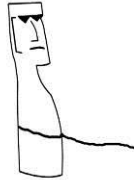

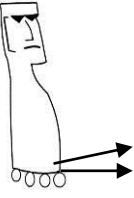
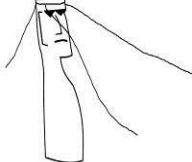
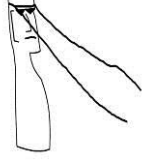
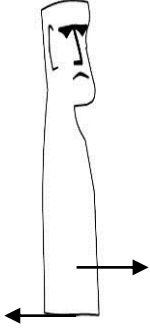
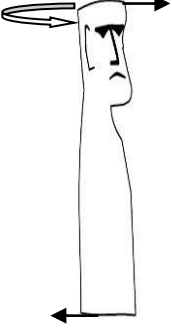
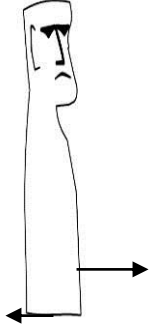
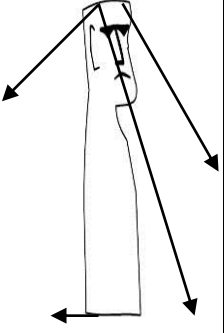
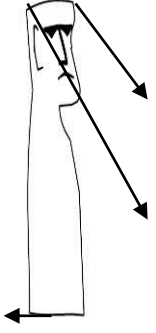
圖伍-七-2、重心前中後度對物體移動影響折線圖

陸、討論：

討論一、研究摩艾石像垂直形式可能移動的方式

一、由表伍-一-1 得知，摩艾石像垂直行走的方式可能有直接拖曳、瓦斯桶滾法、底下方滾輪、左右搖擺法、左右滾動法。我們將各種方式做力的分析表，如下：

表陸-一-1、各種方式做力的分析表

方式	直接拖曳	瓦斯桶滾法	底下方滾輪	左右搖擺	左右滾動
圖示					
力的分析					
討論	看力的分析圖，石像在拖曳過程中，容易因重心高，下面摩擦力的抵抗力而倒掉。	在此種方法，要造成石像滾動勢必在切線方向有一個拉力，施力位置必須與石像同高或更高。但石像都是十幾二十幾高尺高，人類無法以此方法來移動巨大石像。	此種方式，是減少石像與地面的摩擦力，有比直接拖曳的方式省力，但石像重達數十噸木樁是否會破裂值得考驗，另外木樁也未必很圓，也會容易造成石像不穩定。	此方式在石像斜前拉，有一個向下分力與向前分力。向前分力，造成石像向前移動，向下分力造成石像傾斜。後方有一個拉力，預防石像向前傾倒。	此種方式，是希望造成左右向前方向滾動，但左右均會有一個向下分力，容易造成石像不平衡而傾倒。

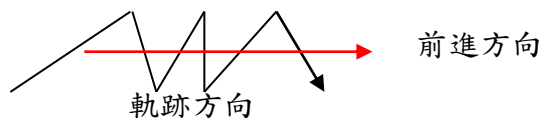
二、由上表分析得知，依可能性來排列，左右搖擺法>底下方滾輪>直接拖曳>左右滾動法>瓦斯桶滾法。所以，我們接下來的實驗，將以石像左右搖擺法的移動方式，來探討其原理與相關的變因。

討論二、探討縮小版摩艾石像重心位置

- 一、經由左右平衡法測得三條平橫軸，其交會點為不規則物體--石像的重心位置，如圖伍-二-1。此仿製縮小版摩艾石像，為玻璃纖維（frp）製成中空石像，重心位置離地面高 32.3 公分、離底部後面 13.0 公分、距離右邊 15.0 公分。重心未超過石像 1/2 且偏後面。於是想進一步測試左右搖擺法行走方式，發現石像比較容易後退，接著進行其軌跡記錄與拉力測試。
- 二、仿製縮小版摩艾石像比較容易向後退，推測其原因，可能其重心在後與底部形狀有關。

討論三、研究縮小版摩艾石像以左右搖擺方式移動軌跡

- 三、將石像在有複寫紙的畫紙上，拉動石像其軌跡如照五-三-1，為 Z 字形行走方式，隨著力量大小而距離有所不同。推論這與物體前傾、重心被拉高，造成物體向前轉移，才會留下 Z 字型軌跡，如下圖。



討論四、研究縮小版摩艾石像傾斜不倒最大角度與需要的拉力

- 一、結合表伍-四-1、2 平均值，綜合分析如下表：

表陸-四-1 各部位拉力平均值比較表

(單位：kg)

方位 測量位置	後	前	左	右
頭部	1.46	2.37	2.06	2.05
頸部	2.17	3.59	3.34	3.50

- 二、由表陸-四-1，發現前面所需要的拉力大於後面，推論重心偏後；左右拉力相差無幾，推論其重心接近在左右中心的位置，此與討論二結果相吻合。而頭部與頸部比較發現，頭部拉力小於頸部，因為位置越高其施力臂越長，結果越省力。
- 三、由圖伍-四-1，發現在垂直方向施力角度越小越省力。

討論五、探討不同拉力角度對摩艾石像以左右搖擺方式移動的影響



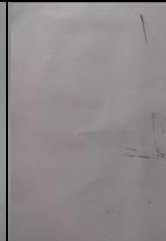



- 一、在前面的討論的得知石像垂直行走以左右搖擺方式會比較容易取得平衡與穩定的向前移動。於是自製一個以木條釘成模擬石像的長方柱體。此假設石像為均勻物體，而釘成的木架為模擬均勻物體，以利我們進一步對拉力角度、底部形狀與重心位置作探討。
- 二、由表伍-五-1 與圖伍-五-1 得知，拉力角度在 60 度物體移動距離比其他組要來的顯

著，而其他組幾乎是在原地晃動。推論，拉力角度要大於 30 度，到 60 度上會有較佳的效果。

討論六、研究底部形狀對摩艾石像以左右搖擺方式移動的影響

一、將表伍-六-1、2 結果匯整如下表：

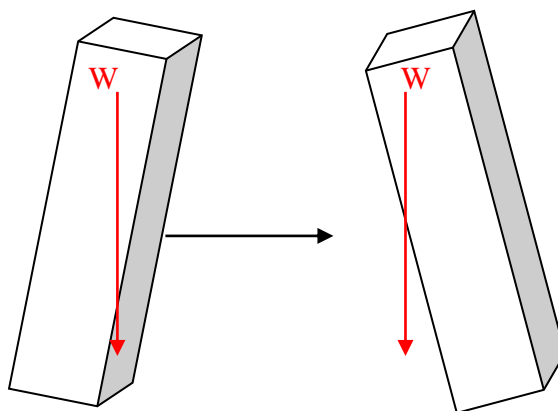
表陸--六-1、底部形狀對摩艾石像以左右搖擺方式移動分析表

底部形狀	圓形	正方形	長方形	橢圓形	正三角形 尖頭朝前	圓方形
平均	-55.6	936.6	883.6	-23.1	-1.3	962.7
照片						
足跡形態	原地左右晃	有 Z 字形移動前進	有 Z 字形	原地左右晃	原地左右晃	有 Z 字形移動前進

二、由圖伍-六-1 與上表得知，底部型狀為正方形、長方形、圓方形表現為最顯著。底部圓形與橢圓形因其前緣有圓幅形，易造成物體原地左右晃；而三角型尖頭朝前，前端阻礙物體移動也易造成物體原地左右晃。

討論七、研究重心位置對摩艾石像以左右搖擺方式移動的影響

- 一、利用 3 kg 重啞鈴綁在長方體木架不同位置上，模擬相同物體但重心位置不同對物體移動的影響。由圖伍-七-1 發現，三組皆可讓物體移動但重心高 1/2 移動比其他組效果好，也比較輕鬆。
- 二、由圖伍-七-2 發現，三組皆可讓物體移動，重心在前移動效果雖沒有特別顯著，但重心在前組還是些許有較佳的效果。
- 三、綜合上面的討論，推論石像以左右搖擺方式移動，重心較高與重心在前比較容易移動，效果也比較顯著。



柒、結論：

- 一、復活島上的波利尼西亞人後裔，流傳摩艾石像靠行走到現在的位置，經由實驗證明是可行的，以左前方、右前方及後方三方互相合作以左右搖擺方式移動石像。
- 二、仿製縮小版摩艾石像比較容易向後退，與其重心在後與底部前緣為圓幅形有關。其垂直足跡型態，是以 Z 字形方式前進。以左右搖擺方式移動石像有比較省力，拉的位置越高越省力；在垂直方向施力角度越小越省力。
- 三、以自製模擬石像的長方柱體為實驗對象，底部形狀以前緣平整一些的正方形、長方形、圓方形有比較顯著的移動成效；重心位置以高 1/2 組與在前組會有比較好的移動成效。所以，綜合論石像要能以此種方法移動，在能穩定為前題下需建造重心偏前與高一點而底部前緣要平一點，在移動時會比較輕鬆容易。
- 四、本實驗是以自製木條長方體模擬石像，或許與實際的實心石像有點差異，如重量與高度，比較缺乏真實感，方待日後有機會能實際操作來印證實驗的推論。或者能到復活島調查所有石像相關數據，作數據比對分析，會讓本實驗更有說服力。
- 五、本實驗在作拉力在水平方向角度對物體移動影響中，沒有找出最佳角度是值得進一步改進的地方。另外在底部形狀的變因探討，沒能控制每一塊板子面積大小一致也是必須改進的地方。未來進一步，以實心物體來進一步研究，以相互驗證結果。另外石像在上坡、下坡、轉彎其施力方式、施力大小也是可以進一步探討的方向。
- 六、想想古代人沒有像現代有重大機械工具，卻可以完成許鬼斧神工的偉大工程，可見古代人建築工藝有許多值得好好研究的地方。而石像垂直移動原理，亦可在媽祖廟裡千里眼、順風耳看見，裡面的人也是操控重心與左右搖擺方式操縱神明移動。另外，日後有巨大的機器人，亦可以將其原理設計到移動程式中，讓機器人在移動時更有效率，相信只要我們持續努力研究，就可以達成許多夢想！

捌、參考資料及其他

- 一、全中平編。（民 104）。科展設計與實作。國立台灣科學教育館。
- 二、王美芬等編。（民 102）。康軒版第八冊第一單元-簡單機械。康軒文教事業。
- 三、呂慧君（民 88）。兒童科學研究專輯(一)。嘉義市：蘭潭國民小學。
- 四、高明美（民 73）。光復科學圖鑑 2-物理篇。台北市：光復出版社。
- 伍、復活節島的巨石像。網址：<http://www.dindon.com.tw/meworks/page1.aspx?no=4534>。
- 六、智利-復活島-莫埃(Moai)巨人石雕群像。網址：<http://lydia6911.myweb.hinet.net/moai.htm>。
- 七、今日新聞。復活島巨石像有下半身又會移動？美考古學家破解謎團。網址：<http://www.nownews.com/n/2012/06/25/128969>。