

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 地球科學科

第二名

最佳創意獎

080505

雙颱風效應與地形效應之模擬與探討

學校名稱：嘉義市西區興嘉國民小學

作者： 小五 拱明哲 小五 翁悠閑 小五 張佑瑋	指導老師： 拱玉郎
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：雙颱風效應、水漩渦、地形效應

【題目】雙颱風效應與地形效應之模擬與探討

摘要

藉由水漩渦實驗，我們提出 5 個「評估藤原效應強度」的參考方法：(1) 兩漩渦中心點的壓力下降值 (2) 水漩渦的傾斜角度 (3) 管內水漩渦偏離的程度 (4) 壓力弧線的彎曲程度 (5) 葫蘆形等壓線。

通過「大山脈」比通過「小山脈」，漩渦傾斜角度更明顯，角度壓的更低，間接驗證弱颱風的山脈地形效應較為顯著。水漩渦經過「小山脈」，空氣柱跳躍過山；若是漩渦經過「大山脈」，空氣柱會有消失較長的一段時間，然後再重新產生，驗證了強颱風的「連續過山」和弱颱風的「不連續過山」的現象。

水漩渦由遠慢慢接近黃色的「大山脈」時，藍色液面呈彎曲狀，可以發現「副中心」生成之證據。模擬颱風經過臺灣的中央山脈，可發現空氣柱會往山脈和陸地的外側傾斜，推論真實颱風在臺灣北端和南端都較容易吸引氣流，所以會有偏向南北機率較高的情形。

壹、研究動機

臺灣每年都遭到 3~4 個颱風的侵襲，使得人民的生命和財產受到重大損失。去年 2010 年 8 月 31 日，氣象報告有南修、萊羅克、康伯斯三個颱風夾擊臺灣的報導，令人印象深刻，氣象報告有「藤原效應」一詞，於是引起我們研究探討的興趣。

我們在國小自然課本六（上）康軒版第一單元，有學到氣團、等壓線、高低氣壓和颱風等相關知識，於是想以水箱模擬雙颱風效應，並以不同的觀察視角去檢測雙颱風效應。

本實驗想改進他人的科展作品，在參考資料中的他人科展作品之共同特徵為「只將模擬的現象以文字敘述，而非精密測量與計算，大都沒有數據化」，因此不利於進一步的分析。我們藉由更精密更嚴謹的水箱設計，來探討雙颱風效應。並設計水漩渦通過臺灣中央山脈的模型，期望探討地形效應對颱風路徑的影響。並針對颱風侵台的路徑偏離的原因，提出部分的模擬與解釋。

我們想藉由水箱的創意實驗設計，以「側視圖」的平視角度觀察水漩渦，自己提出數種可以評估藤原效應強度的可能參考方法，並將實驗結果數據化，以助進一步的科學分析。

貳、研究目的

- 【問題 1】我們的水箱之設計方法？特色呢？
- 【問題 2】有辦法知道水流的流速嗎？有限制嗎？如何做呢？
- 【問題 3】兩水管慢慢靠近，以模擬雙颱風互相接近，會有何現象發生呢？
- 【問題 4】兩水管慢慢靠近，以模擬兩個颱風互相靠近，水壓的等壓線將會如何變化呢？
- 【問題 5】兩水管合併再慢慢下沉，以增強流速，用來模擬雙颱風強度增強，將會有何現象發生呢？
- 【問題 6】左水管由淺處往下降，右水管固定深度，以模擬雙颱風一強一弱之相互影響，結果會如何呢？
- 【問題 7】何謂壓力弧線呢？如何發現呢？有何意義呢？
- 【問題 8】左水管固定，右水管水龍頭慢慢關小，情形又如何呢？
- 【問題 9】模擬颱風過臺灣的中央山脈，氣流會如何偏向呢？
- 【問題 10】若把上述的【問題 9】的「小山脈」改成「大山脈」，並將照片倒立分析，結果會如何呢？
- 【問題 11】可以模擬出颱風副中心的產生嗎？其特徵為何呢？

【問題 12】漩渦看不見時，仍具有吸力嗎？

【問題 13】本實驗其他有趣的聯想？

參、研究材料和設備

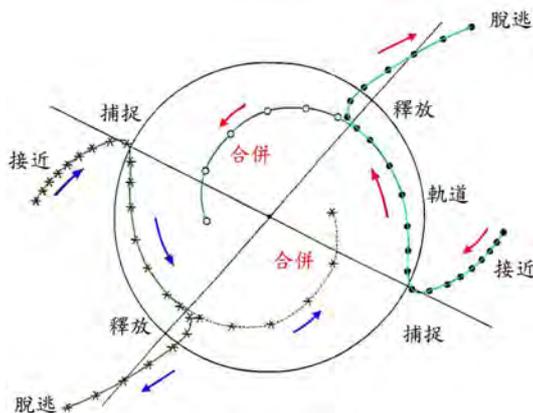
1. N-AREA 揚水馬達（出水量 110L/min//） 2. 塑膠水管（口徑為 1.2cm） 3. 魚缸（44cm x32cmx36cm） 4. 藍色塑膠盤 5. 橡皮擦 6. 紅墨水 7. 數位相機（Nikon E8700）
8. 影像處理軟體 PhotoImpact 11 9. 水龍頭開關 10. 電壓調整器 11. 三用電表

【參考文獻回顧】

近年來全球暖化問題，更讓天氣型態劇烈變化。臺灣正位於颱風的熱門路徑上，有時天氣圖會同時出現兩個或三個颱風。當雙颱風距離達到 1000~1200 公里時，就可能發生藤原效應（又稱為雙颱風效應）。

依據【參考資料 1】，當雙颱風效應發生時，常見以下三種情形：（1）**強颱風牽引弱颱風移動**--比較強勁的颱風會影響那股比它弱的颱風之移動方向，這時比較強的颱風會令那股比它弱的颱風繞著它的環流逆時針旋轉。（2）**兩者合併**--如果條件適合的話，比較強勁的颱風還會把較小的颱風吸收、融合。（3）**兩者互旋**--如果兩者強度差不多，那麼，兩者便會互相圍繞一個共同中心旋轉，直至兩者受到其它天氣系統影響其移動，或其中一方減弱為止，才會脫離互相影響的局面。

【圖 1】**雙颱風效應**的概念模型（1995, Lander 和 Holland）。顯示雙颱風之間的接近、捕捉、釋放、合併、脫逃。而我們本篇報告的重點在「合併」的階段的探討。【參考資料 2】



根據【參考資料 1】，得知影響颱風移動的因子可能是：（1）「**引導氣流**」--颱風的運動被前美國國家颶風中心主管尼爾·弗蘭克博士（Dr. Neil Frank）形容為「**葉子被水流帶動**」。（2）**太平洋高氣壓**為導引颱風運動的主要「駛流場」。（3）颱風生成後的移動路徑主要受副熱帶高氣壓外圍氣流影響，所以副熱帶高氣壓的位置和範圍基本上決定了颱風的路徑。

而以下數篇參考資料是歷屆臺灣科展中，有關雙颱風的模擬分析之報告。

【參考資料 3】是將塑膠容器下方打兩個洞，以自由水流再加上紅墨水來進行實驗，此實驗設計有水位下降快速，漩渦可觀察時間太短，也不利由側面觀察。【參考資料 4】是以雙馬達為動力進行實驗，但只是將觀察到的現象文字敘述，沒有數據化之分析。在【參考資料 5】是臺灣 2002 年國際科展展覽會作品是探討地形效應，詳細歸納分析侵台的颱風路徑，但在模擬實驗的部分較為不完整，我們想要以自己的模擬實驗來檢驗其準確性。

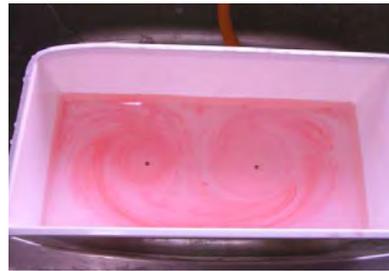
肆、研究過程和方法

【問題 1】我們的水箱之設計方法？特色呢？

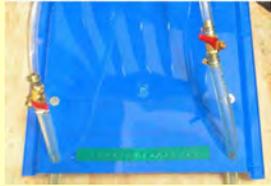
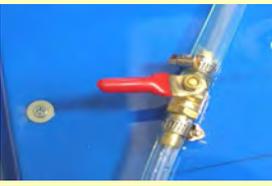
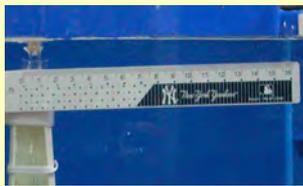
【實驗方法】 首先我們想要改進別人的實驗設計。在別人的實驗【參考資料 3】是以打兩個洞的自由水流，如【圖 2】，在我們的預備實驗中，**發現打兩個洞的自由水流有以下的缺點**：(1)一開始沒有水漩渦產生，**要水位降至較低的位置才開始產生漩渦**。(2)因為水會一直由下方的孔洞流失，水位不停的下降，所以產生漩渦的**時間極短**，會來不及觀察雙颱風效應的細節。(3)**不能擁有穩定的液面**，不方便觀察雙漩渦的相互作用。(4)不方便由側面觀察。(5)**觀測結果不易數據化**。

【圖 2】

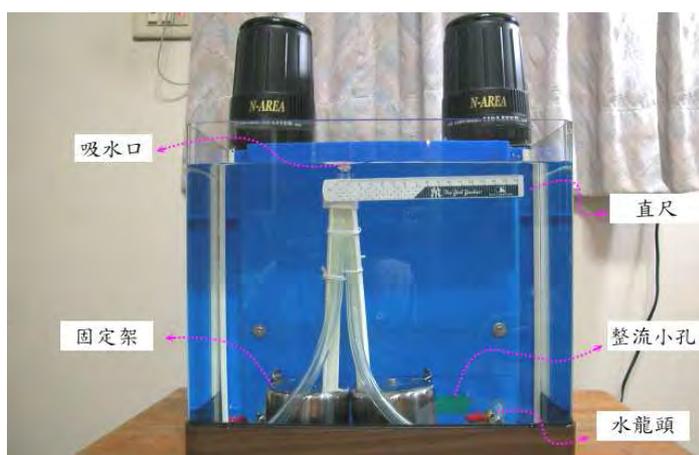
我們以【參考資料 3】的方法所做的預備實驗，以打兩個洞的自由水流，以紅墨水染色，模擬雙颱風



【圖 3】多功能實驗水箱之設計

(1) 兩個規格相同的抽水馬達	(2) 藍色塑膠板：將水箱隔離出前後水槽，底色為藍色有利於觀察漩渦	(3) 水龍頭：可調節水管水量	(4) 整流小孔：具整流作用，穩定由後槽流向前槽的水流。
			
(5) 固定架：固定兩個水管，可調整兩水管的距離、高度。	(6) 直尺：測量兩水管的距離，可當各項實驗的比例尺	(7) 電壓調整器：以電壓以控制馬達轉速的大小。	(8) 水箱俯視圖
			
(9) 前水槽水流平穩，後水槽波濤洶湧	(10) 加入白色浮板：具有觀察紅墨水漩渦的功能。	(11) 山脈、陸地模型：具有模擬颱風過境臺灣中央山脈的功能	(12) 小山脈木架：架設在水箱兩側上緣，可以左右水平移動山脈模型。
			

【圖 4】我們設計的多功能實驗水箱



【我的發現】

我們的多功能實驗水箱之特色：精密、穩定、微調。

- (1) 「循環水」能穩定液面高度。
- (2) 兩顆相同的強力馬達用以模擬雙颱風，可產生兩個「逆時針」的水漩渦。
- (3) 利用「藍色塑膠檔板」擋住後半水槽內的洶湧的水流，水流會由塑膠檔板下方一排小孔緩慢流到前半水槽，小孔具有「整流作用」，使得前半水槽液水面**非常平穩**，以方便實驗精密的進行。
- (4) 具有相當重量的**固定架**，可控制兩水管的距離和水管深度，手可以不用置入水槽內，因此不會干擾漩渦的水流。
- (5) 塑膠板「**藍色**」的底色，有利於觀察透明漩渦的外型。
- (6) 「**水龍頭**」可控制水管內的水流大小。
- (7) 「**電壓調整器**」可控制電源的電壓，因此可調整馬達的強弱，再藉助「**三用電表**」可讀取電源的電壓數據。

【問題 2】有辦法知道水流的近似流速嗎？有限制嗎？如何做呢？

【實驗方法】 在歷屆相關的科展報告中，很少有測到水流流速之報告，我們想挑戰測定水流的流速，以便瞭解水漩渦的各項基本特性。

我們調整揚水馬達的「水管出水口方向」，使水流強力撞擊玻璃水缸表面，以產生許多細小的氣泡，由相片【圖 5】比例尺可得知氣泡直徑僅小於 0.1mm，氣泡經塑膠板的小孔來到前面的水槽，然後流到塑膠水管的吸水口。

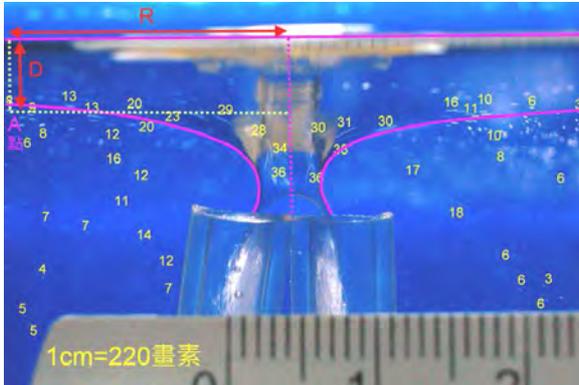
我們的實驗發現，以影像處理軟體 PhotoImpact 測量相片的氣泡畫素，再配合相機曝光時間，可以知道水漩渦各點近似流速。

【流速計算方法】

在【圖 6】中每公分 = 220 畫素，10mm = 220 畫素，1 畫素 = 1/22mm，快門曝光 1/125 秒，以圖中的「A 點」氣泡為例子，長度為「8 畫素」，又因 **距離÷時間 = 速度** 所以「A 點」流速為 $(8/22) \text{ mm} \div (1/125) \text{ 秒} = 45 \text{ mm/秒} = 4.5 \text{ cm/秒}$

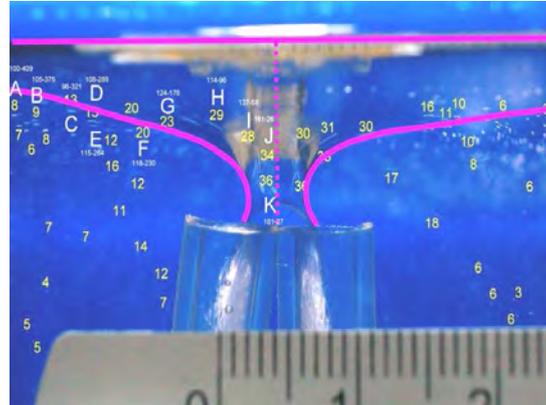
【實驗結果】

【圖 5】黃色數字是各點的長度，以畫素為單位（原圖為 844x562 畫素），只分析粉紅色線漩渦附近的氣泡速度。



【圖 6】各點氣泡流速分析

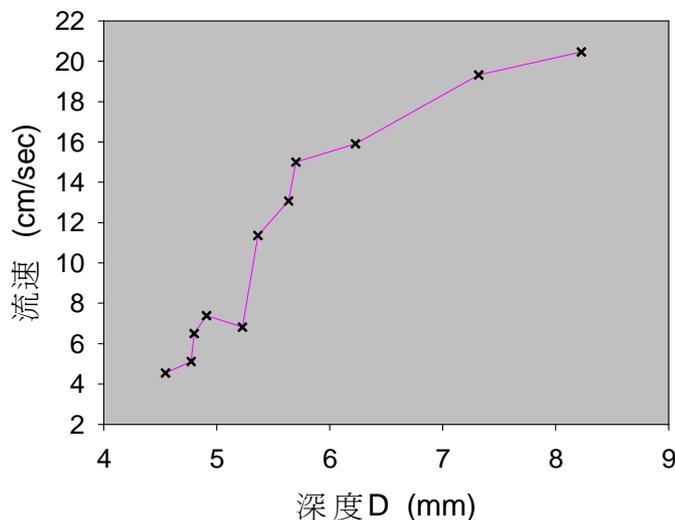
- (1) 距離漩渦中心越遠，則白色線條較短。
- (2) 越接近吸水口、深度越深，則白色線條較長。



【表 1】各點氣泡流速之數值分析表（粉紅色線條附近的氣泡）

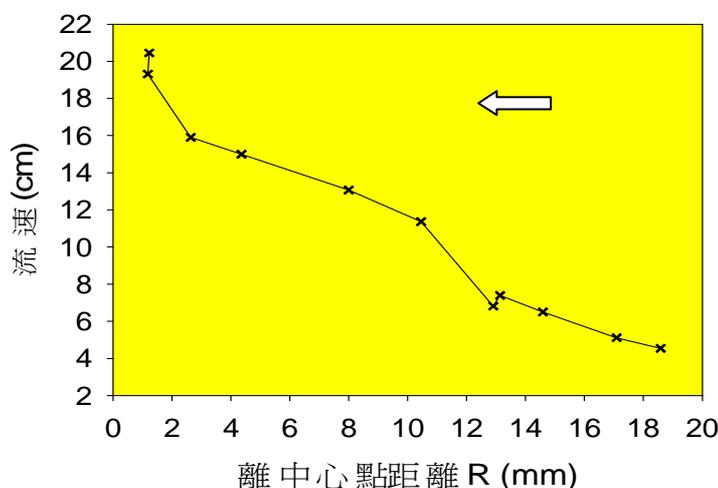
各點氣泡	流速 (畫素)	深度 D (畫素)	中心點距離 R (畫素)	流速 (cm/sec)	深度 D (mm)	距離中心點距離 R (mm)
A	8	100	409	4.5	4.5	18.6
B	9	105	376	5.1	4.8	17.1
C	13	96	321	7.4	4.4	14.6
D	13	108	289	7.4	4.9	13.1
E	12	115	284	6.8	5.2	12.9
F	20	118	230	11.4	5.4	10.5
G	23	124	176	13.1	5.6	8.0
H	29	114	96	16.5	5.2	4.4
I	28	137	58	15.9	6.2	2.6
J	34	161	26	19.3	7.3	1.2
K	36	181	27	20.5	8.2	1.2

【圖 7】氣泡深度與流速的關係圖。實驗結果發現：氣泡的深度越深，則氣泡的流速會越快。曲線的趨勢是先急升再緩升，而由本圖判斷，氣泡的流速會有極大值存在。



【圖 8】氣泡離中心點距離和流速的關係。

實驗結果發現：距離中心點距離越近的氣泡，流速會越快。



【我的發現】

1. 我們發現利用軟體測量相片的氣泡畫素，再配合相機曝光時間，此法可以知道水漩渦流各點流速。
2. 利用氣泡分析流速，可以發現：
(1) 距離漩渦中心越遠，流速會越慢。
(2) 越接近吸水口，深度越深時，流速會越快
3. 本實驗的結果和真實颱風的流速分布情形相類似，越接近颱風中心，風速會越快。
也可以推測出在颱風中心附近，應是「海拔越高」風速會越快。
4. 真實的颱風是內外層都是空氣，本實驗是內層是水而外層是空氣。
5. 氣泡流速並不完全等於水流流速，但因氣泡又輕又細小，兩者數值應該很接近，氣泡流速會略小於水流流速。
6. 漩渦的深度越深，會造成水壓的壓力梯度越大，並對水分子和氣泡同時產生**加速作用**。
7. 產生更多氣泡的方法：調整後槽的馬達出水口，使水流撞擊玻璃水缸表面，並且使水流衝向水缸水位線，以產生較多的氣泡，氣泡通過藍色塑膠盤檔板下方的小孔通過，下排小孔洞具有整流效果，以穩定水流。
8. 【本實驗的優點】
 - (1) 確實可以觀察到各點流速不同的變化，並作有意義的分析。
 - (2) 他人的科展作品未發現有測漩渦流速的報告，而我們能測到流速的近似值。
 - (3) 氣泡直徑小於 0.1mm，會近似水流的流速。
比起放置其他物質而言（例如放置：木屑粉，胡椒粉）會更接近水流速度。

【本實驗的缺點】

不容易觀察到 3D 立體漩渦內的氣泡，所以只好由側面觀察水漩渦在粉紅色切割線附近的氣泡之數值，所以只能觀察到 2D 平面。

【問題 3】兩水管慢慢靠近，以模擬雙颱風互相接近，會有何現象發生呢？

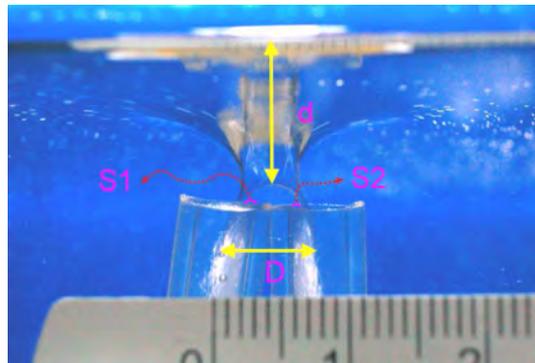
【實驗方法】 我們以【圖 4】的設備進行實驗，強度相同的兩個漩渦慢慢靠近，以模擬雙颱風互相靠近，拍照並分析：兩水管中心點距離 (D)、兩漩渦中心點深度(d)、管內漩渦偏離 (S1 和 S2)。

【實驗結果】

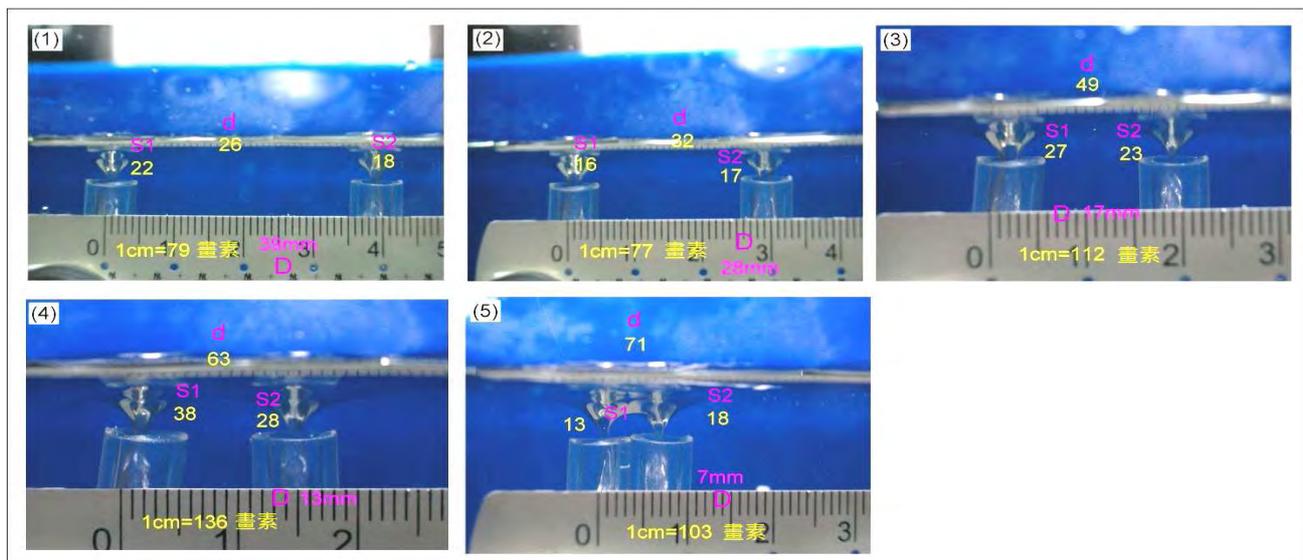
【圖 9】符號標示說明。

兩水管中心點距離 (D)、兩漩渦中心點深度(d)、管內漩渦偏離 (S1 和 S2)，如右圖所示。

當 S1 和 S2 數值越小時，空氣柱越偏向水管的管壁，空氣柱會越彎曲，也代表漩渦被另一個漩渦吸引的更劇烈。



【圖 10】兩水管慢慢靠近過程的實驗相片



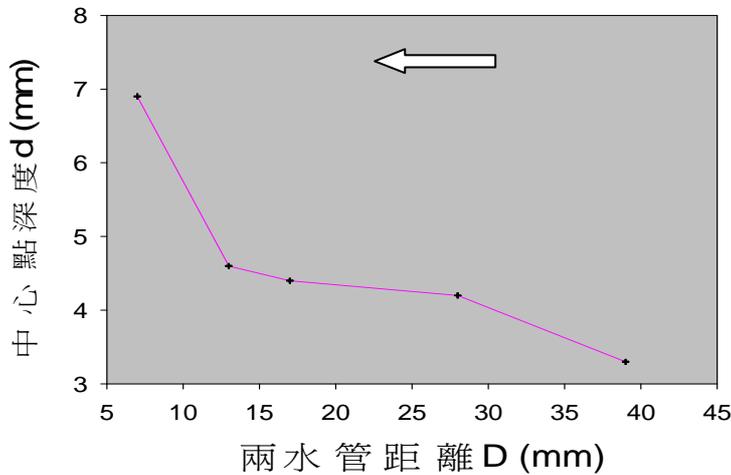
【註】原圖為 1491x784 畫素。由於實驗過程必須移動水管，所以會影響相機鏡頭前後對焦，因此上面各相片比例尺之間會有些差異。

【表 2】兩水管慢慢靠近過程的相片數值換算

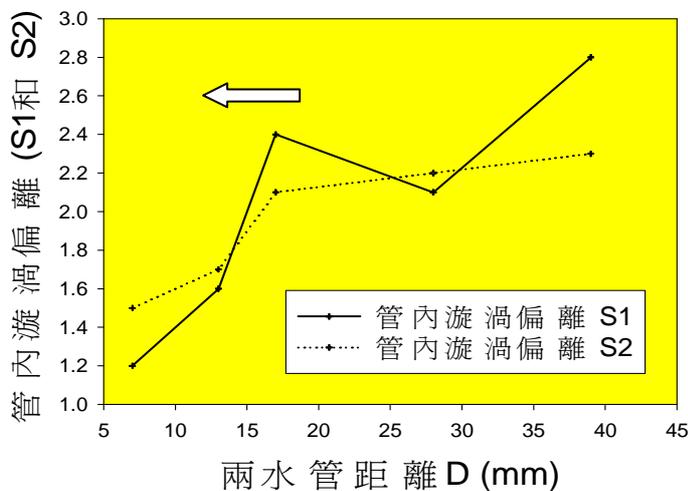
圖	圖片每公分相當於多少畫素	兩水管中心點距離 (D)	中心點深度 (d)	管內漩渦偏離 (S1)	管內漩渦偏離 (S2)
(1)	79 畫素 = 10mm	39 mm	26 畫素 = 3.3 mm	22 畫素 = 2.8 mm	18 畫素 = 2.3mm
(2)	77 畫素 = 10mm	28 mm	32 畫素 = 4.2 mm	16 畫素 = 2.1mm	17 畫素 = 2.2mm
(3)	112 畫素 = 10mm	17 mm	49 畫素 = 4.4mm	27 畫素 = 2.4mm	23 畫素 = 2.1mm
(4)	136 畫素 = 10mm	13 mm	63 畫素 = 4.6mm	38 畫素 = 2.8 mm	28 畫素 = 2.0mm
(5)	103 畫素 = 10mm	7 mm	71 畫素 = 6.9mm	13 畫素 = 1.2 mm	18 畫素 = 1.7 mm

(說明) S1 和 S2 數值越小表示越靠近水管管壁，代表漩渦歪的更厲害

【圖 11】兩水管慢慢靠近時 (D 越小)，會造成兩漩渦「中心點深度 (d)」下降值更大。
我們發現：「中心點深度下降」的數值可以作為評估雙颱風效應的基準之一。
而本曲線的特徵是先「緩升」再「急升」。



【圖 12】「兩水管距離」越近時 (D 越小)，「管內漩渦偏離」會更厲害，S1 和 S2 值會越小。
我們發現：「管內漩渦偏離」的程度也可以作為評估雙颱風效應的基準之一



【我的發現】

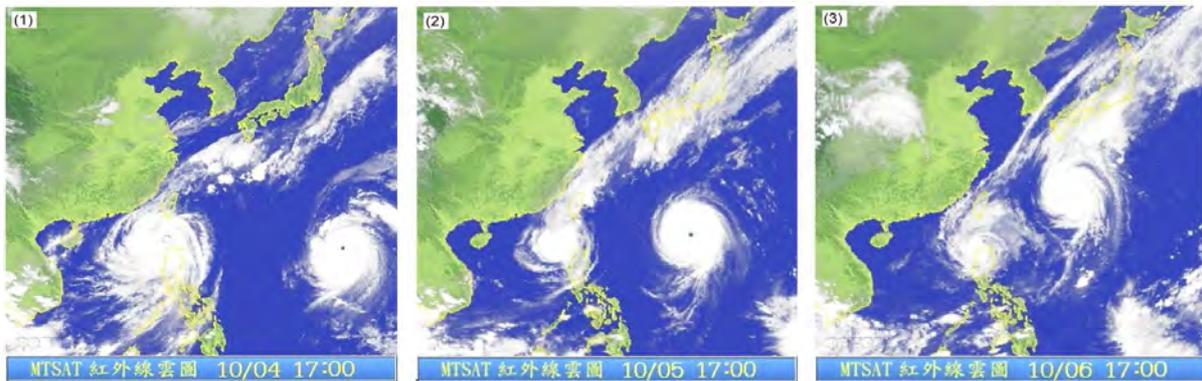
1. 兩水管慢慢靠近時 (D 越小)，會造成兩漩渦中心點深度下降更厲害 (d 越大)。
我們發現「中心點深度」的下降值，可以作為評估雙颱風效應的基準之一。
2. 兩水管距離越近時 (D 越小)，管內漩渦偏離會更厲害 (S1 和 S2 越小)。
我們發現「管內漩渦偏離的程度」這也可以作為評估雙颱風效應的基準之一。
3. 自然界真實颱風的氣流是透明，並不能像本實驗一樣可由側面直接觀察到「漩渦偏離」和「漩渦傾斜」等現象，本研究能由側面觀察水漩渦並推論真實雙颱風的種種可能現象，是個有趣的實驗設計。

【問題 4】兩水管慢慢靠近，以模擬兩個颱風互相靠近，水壓的等壓線將會如何變化呢？

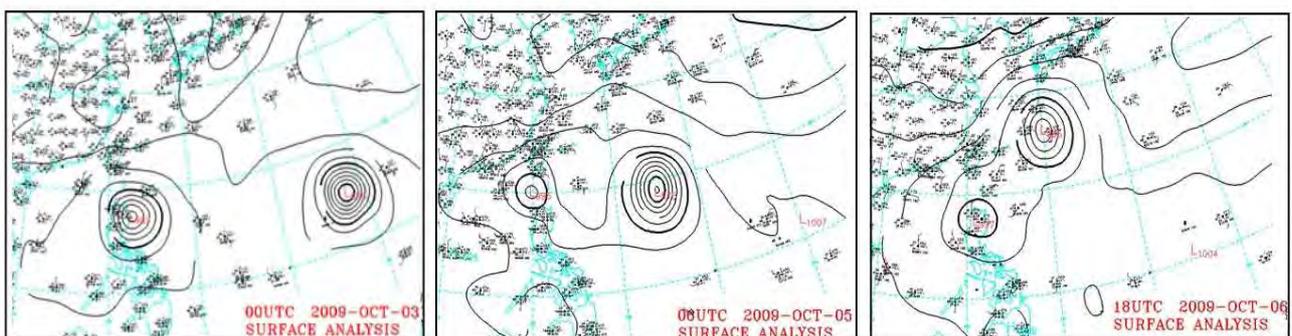
【實驗方法】以【圖 4】裝置，將兩水管慢慢靠近，以模擬兩個颱風互相靠近，拍照後測量相片漩渦的深度，並換算成水壓的等壓線。

【實驗結果】

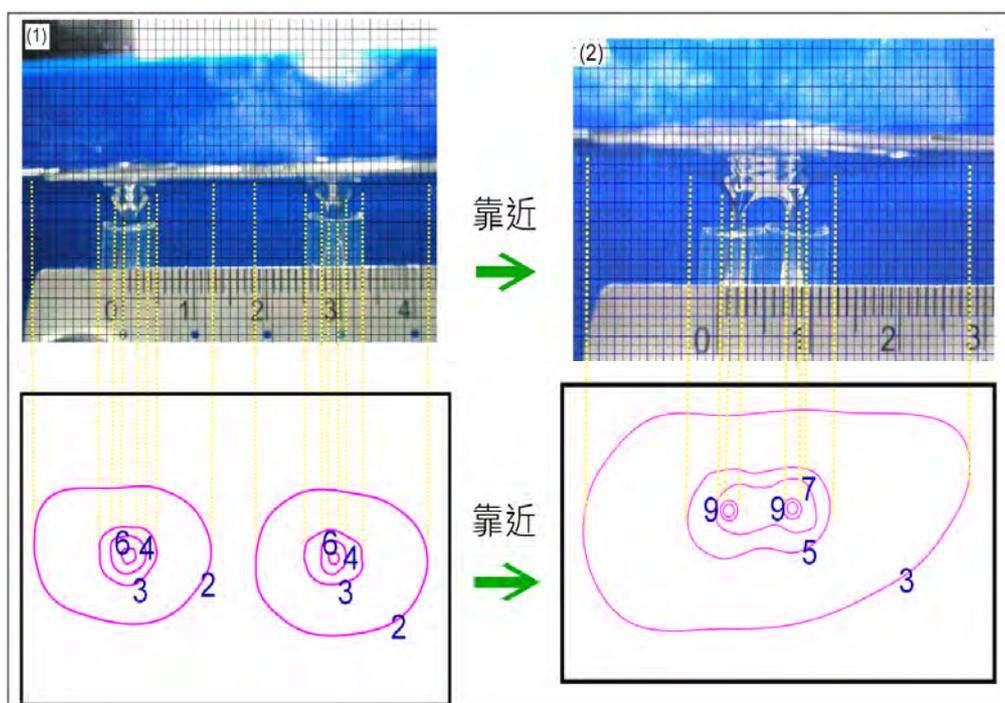
【圖 13】2009 年 10 月 5 日「芭瑪」和「茉莉」颱風的衛星圖，由路徑可發現雙颱已開始產生如【圖 1】所示的「捕捉」和「合併」的現象。**【參考資料 7--颱風資料庫】**



【圖 14】「芭瑪」和「茉莉」颱風的地面天氣圖。由雙颱交接區域的等壓線的「葫蘆狀」變化，可以發現兩者已逐漸發生雙颱效應，本圖整理自**【參考資料 7--颱風資料庫】**。



【圖 15】我們模擬的水壓等壓線圖和上圖【圖 14】的真實雙颱風氣壓等壓線圖相似。
 兩個水漩渦交界處「水壓等壓線」也會形成「葫蘆狀」。造成此種葫蘆狀的等壓線原因，應是【圖 9】的兩漩渦「中心點深度 (d)」下降值所引起的。



【註】上圖的數值代表漩渦內各點的深度的格子數，數字越大代表深度越深，水壓也越高，每格水深 1 mm。

【我的發現】

1. 雙水漩渦的交界處「水壓等壓線」會包住兩個低壓中心形成「葫蘆狀」；
 真實雙颱風的交界處「氣壓等壓線」也會包住兩個颱風中心形成「葫蘆狀」。
2. 造成此種葫蘆狀的等壓線原因，正是我們上面實驗【圖 9】，所敘述之兩漩渦「中心點深度」下降值所引起的。

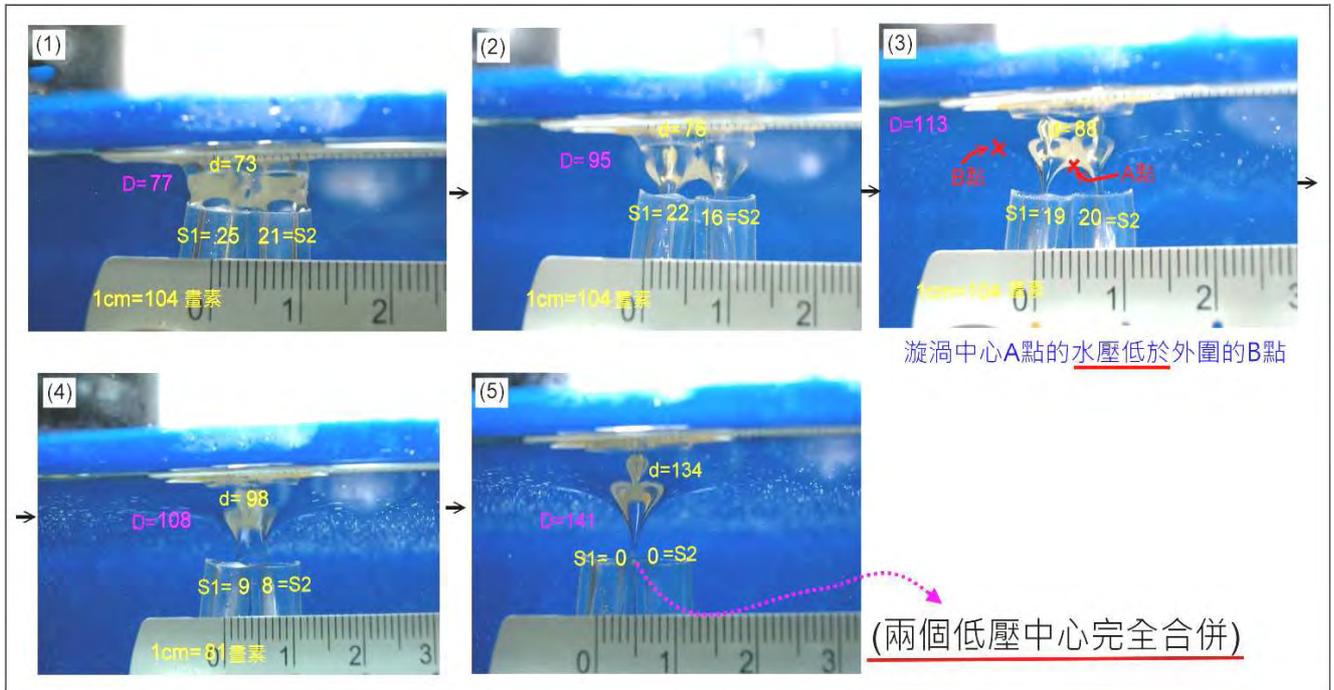
【問題 5】兩水管合併再慢慢下沉，以增強流速，用來模擬雙颱風強度增強，將會有何現象發生呢？

【實驗方法】

因為由【圖 7】得知，漩渦深度加深可以增加水的流速，所以我們將兩水管合併再慢慢下沉，使得水壓的壓力梯度增大，流速增強。以「深度淺的」代表弱颱風，「深度深的」代表強颱風。然後分析相片的兩漩渦「中心點深度」(d) 與管內漩渦偏離 (S1 和 S2)。

【實驗結果】

【圖 16】兩條水管合併再慢慢下沉，當兩漩渦「中心點深度 (d)」變大時，「管內漩渦偏離」越明顯，(S1 和 S2) 數值會越小。可證明當流速增加時，雙颱風效應會越加明顯，甚至會如下【圖】 - (5) 兩個低壓中心會完全合併為一個。

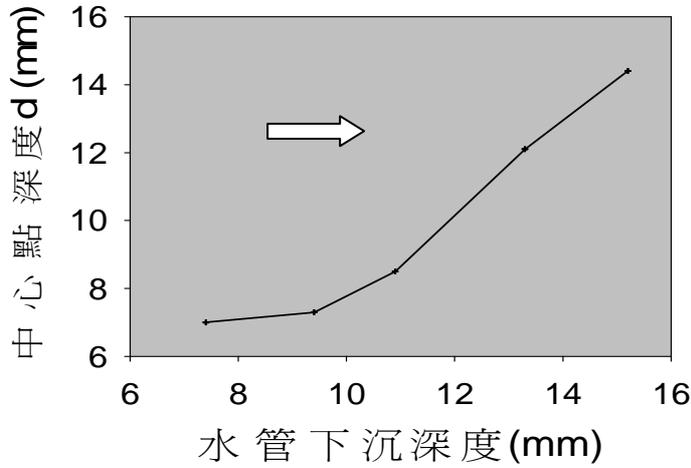


【註】上圖的單位為畫素。原圖為 1520x756 畫素。

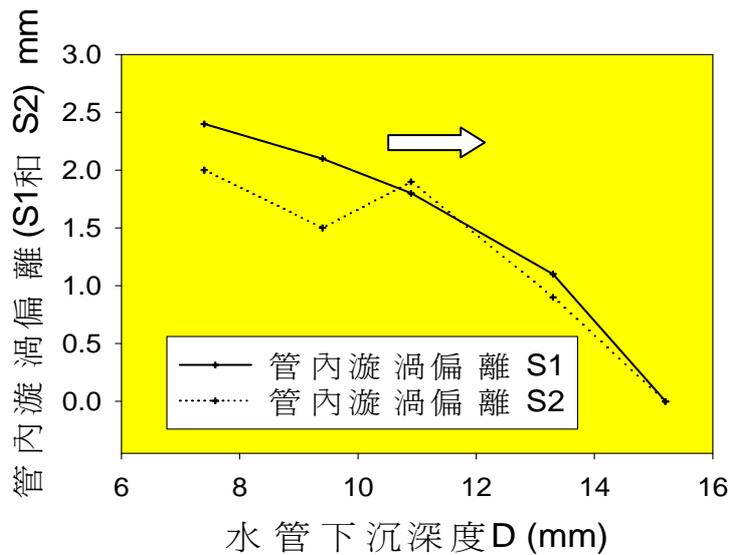
【表 3】兩水管合併再慢慢下沉，兩漩渦「中心點深度」(d) 與管內漩渦偏離 (S1 和 S2) 之分析

圖	每公分相當於多少畫素	水管下沉深度 (D)	中心點深度 (d)	管內漩渦偏離 (S1)	管內漩渦偏離 (S2)
(1)	1cm=104 畫素	77 畫素=7.4mm	73 畫素=7.0mm	25 畫素=2.4 mm	21 畫素=2.0mm
(2)	1cm=104 畫素	98 畫素=9.4mm	76 畫素=7.3mm	22 畫素=2.1 mm	16 畫素=1.5mm
(3)	1cm=104 畫素	113 畫=10.9mm	88 畫素=8.5mm	19 畫素=1.8 mm	20 畫素=1.9mm
(4)	1cm=81 畫素	108 畫=13.3mm	98 畫素=12.1 mm	9 畫素= 1.1mm	8 畫素= 0.9mm
(5)	1cm=93 畫素	141 畫=15.2mm	134 畫素= 14.4mm	0 畫素= 0mm	0 畫素= 0mm

【圖 17】兩水管合併再慢慢下沉，當水管「下沉深度」(D)越大時，兩漩渦「中心點深度」(d) 下降值會越大



【圖 18】水管下沉深度(D)越深，管內漩渦偏離(S1 和 S2)越明顯，數值越小



【我的發現】

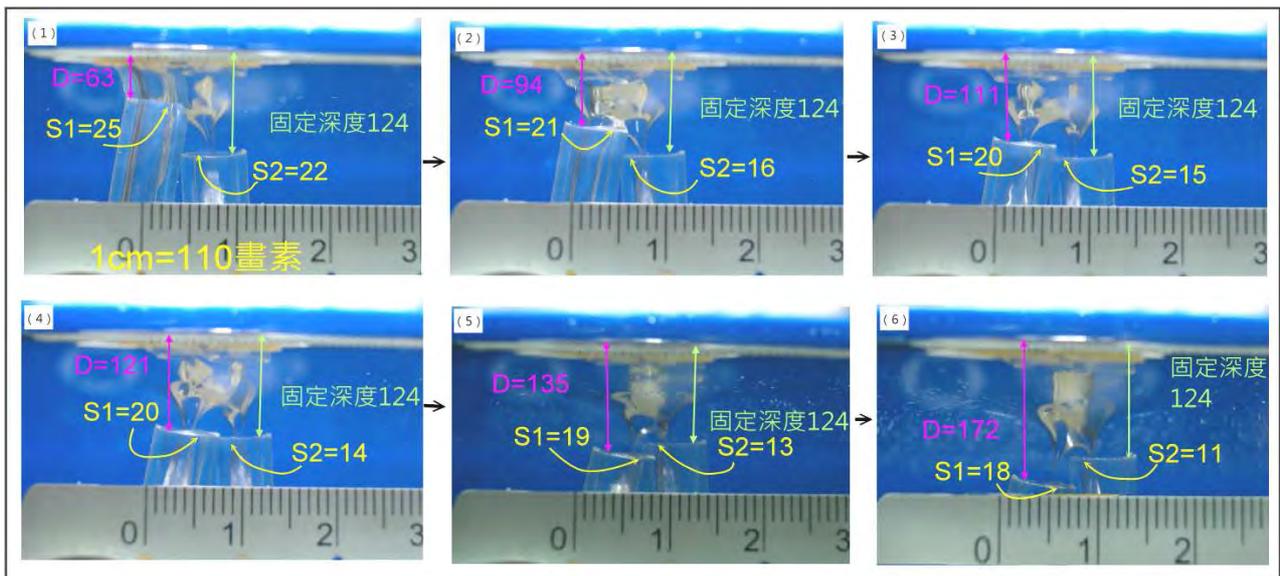
- 1.水管下沉深度(D)越大，兩漩渦「中心點深度下降值」(d) 越大，見【圖 17】。
- 2.水管下沉深度(D)越大，「管內漩渦偏離」(S1 和 S2)越明顯，數值越小，見【圖 18】。
- 3.本實驗可證明當水管下沉深度(D)越大，壓力梯度變大，流速增加，漩渦相互吸力變越強，漩渦中心越靠近兩管中間，而雙颱風效應越會明顯，甚至會像【圖 16】 - (5) 兩個低壓中心完全合併為一個。
4. 淺的雙水漩渦，代表雙弱颱風；深的雙水漩渦，代表雙強颱風，推測真實的颱風，強雙颱風會比弱雙颱風更容易互相吸引與合併，「雙颱風效應」更為明顯。

【問題 6】 左水管由淺往下降，右水管固定深度，以模擬雙颱一強一弱之相互影響，結果會如何呢？

【實驗方法】 左水管由淺往下降，右水管固定深度，以模擬雙颱一強一弱之相互影響，水龍頭開到最大。

【實驗結果】

【圖 19】 模擬雙颱一強一弱之相互影響。左水管深度下降，右水管固定深度，會發現右水管的漩渦偏離 (S2) 偏離量會越來越明顯，數值會越來越小，代表左水管深度越深，左水管流速增強，對右水管漩渦的影響會越顯著。



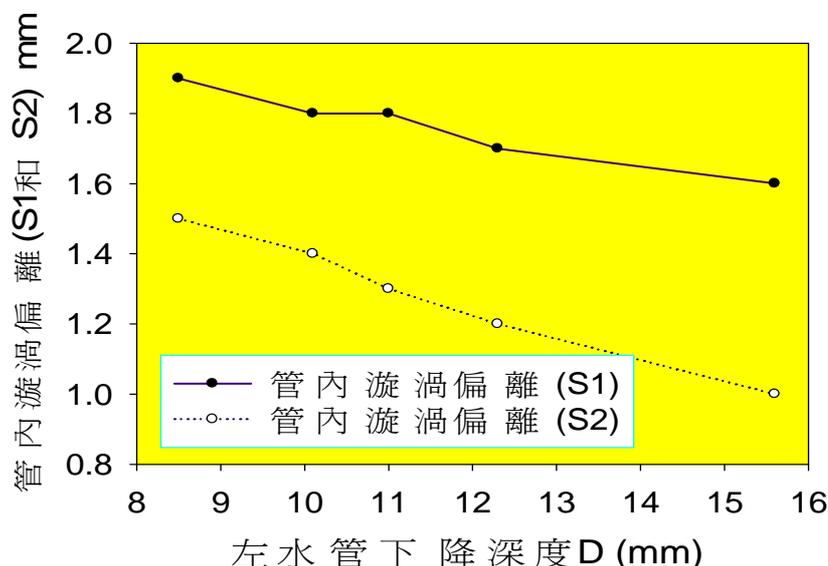
【表 4】 左水管深度下降，右水管固定深度，實驗數值分析

圖	左水管下沉深度 (D)	管內漩渦偏離 (S1)	管內漩渦偏離 (S2)
(1)	63 畫素 = 5.7mm	25 畫素 = 2.3mm	22 畫素 = 2.0mm
(2)	94 畫素 = 8.5mm	21 畫素 = 1.9mm	16 畫素 = 1.5mm
(3)	111 畫素 = 10.1mm	20 畫素 = 1.8mm	15 畫素 = 1.4mm
(4)	121 畫素 = 11.0mm	20 畫素 = 1.8mm	14 畫素 = 1.3mm
(5)	135 畫素 = 12.3mm	19 畫素 = 1.7mm	13 畫素 = 1.2mm
(6)	172 畫素 = 15.6mm	18 畫素 = 1.6mm	11 畫素 = 1.0mm

【註】 1cm=110 畫素，10mm=110 畫素，1mm=11 畫素

【圖 20】當左水管下降的深度越深，右水管的漩渦偏離 (S2) 則會越明顯，數值會越小。

左水管代表風速逐漸增強的颱風，右邊水管代表為風力固定的颱風。當颱風風力逐漸增強時，對另一個颱風的影響會越來越顯著，而 S2 變小也會引起 S1 變小。



【我的發現】

1. 左水管下沉的深度越深，吸力越強，使右水管漩渦偏離 (S2) 會越明顯，數值會越小。
左水管代表風速逐漸增強的颱風，右邊水管代表為風力固定的颱風。可證明當颱風的風力逐漸增強時，對另一個颱風的影響會越來越顯著。
2. 而 S1 變小也會引起 S2 變小，兩漩渦會同時相互影響。
3. 左水管由淺降到到深的過程，若觀察直尺下方，塑膠管內的氣泡群，會因水管下降而加速移動，水漩渦內壓力梯度越大，使得水管內的氣泡和水分子都得到加速作用。

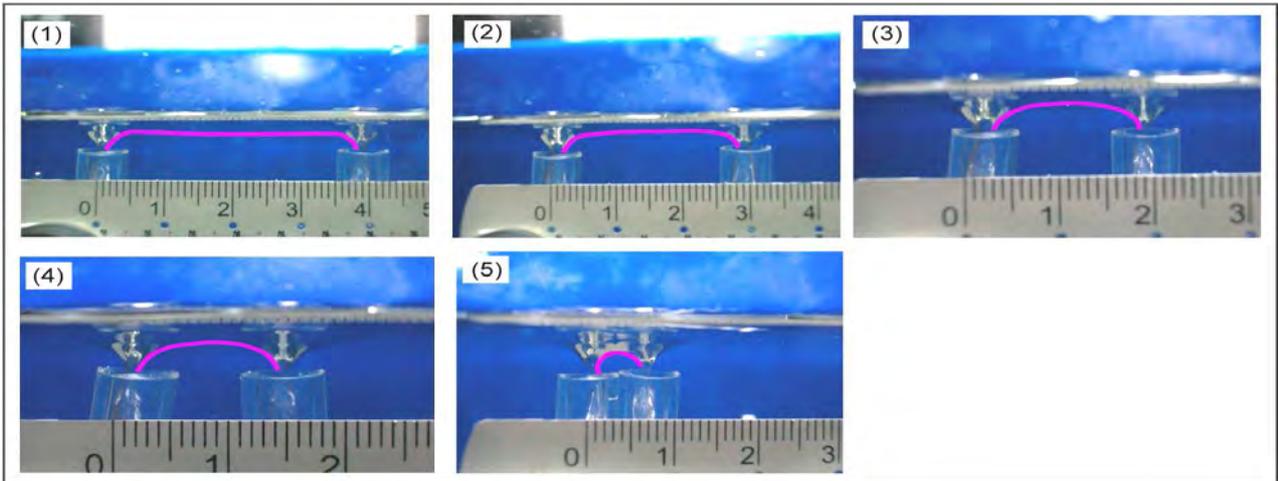
【問題 7】何謂壓力弧線？如何發現？有何意義呢？

【實驗方法】

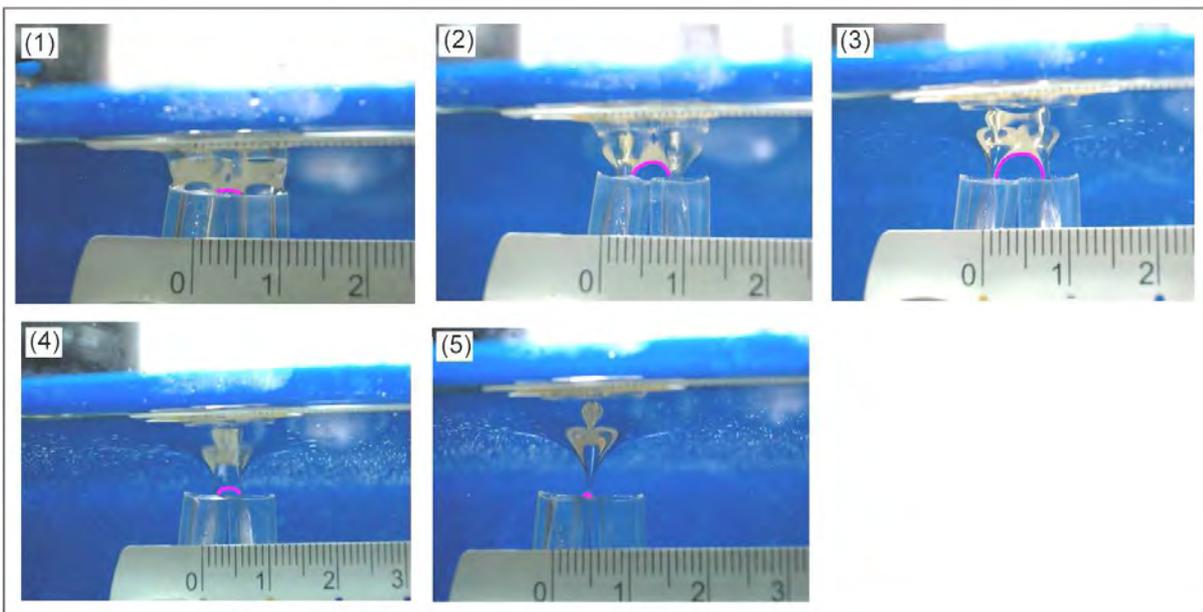
分析下列三種情形的相片：(1) 兩水管相互靠近 (2) 兩水管合併逐漸下沉 (3) 右水管固定深度，左水管深度逐漸下降，分析相片「兩漩渦的交界處」所看到的弧線之形狀變化。

【實驗結果】

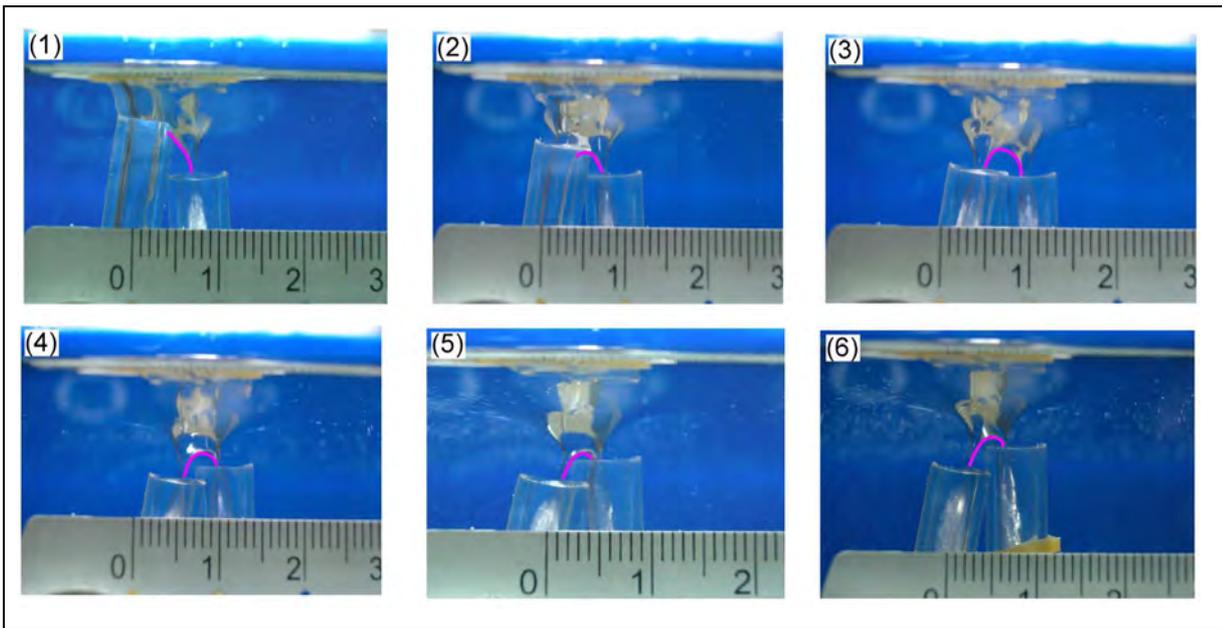
【圖 21】兩水管相互靠近時，在兩漩渦的交界處，有類似「拋物線」的產生（粉紅色線的位置），我們將之命名為「壓力弧線」。兩水管距離越近，則壓力弧線彎曲的越厲害。



【圖 22】兩水管合併一起逐漸下沉，此情形下也會有壓力弧線的產生（粉紅色線）



【圖 23】右水管固定深度，左水管深度逐漸下降，此情形下也會有壓力弧線的產生。



【我的發現】

1. 下列三種情形都會有「壓力弧線」的產生：(1) 兩水管互相靠近時。
(2) 兩水管合併逐漸下沉時。 (3) 右水管固定深度，左水管深度逐漸下降時。
2. 兩漩渦距離越近，壓力弧線彎曲的越厲害。當兩水管入水口深度越深，水流速會越快，壓力弧線也會彎曲越厲害。
3. 歸納：兩個水流渦相互影響越劇烈時，則壓力弧線會彎曲得越厲害。
4. 綜合【問題 3】～【問題 7】的實驗結果，我們提出 5 個「評估藤原效應強度」的參考方法
(1) 兩漩渦連線中心點的壓力下降值。 (2) 水流渦的傾斜角度。
(3) 管內水流渦偏離的程度。(4) 壓力弧線的彎曲程度。(5) 葫蘆形等壓線。

【問題 8】左水管固定，右水管水龍頭慢慢關小，情形又如何呢？

【實驗方法】

- (1) 方法一：利用水龍頭開關控制水流--

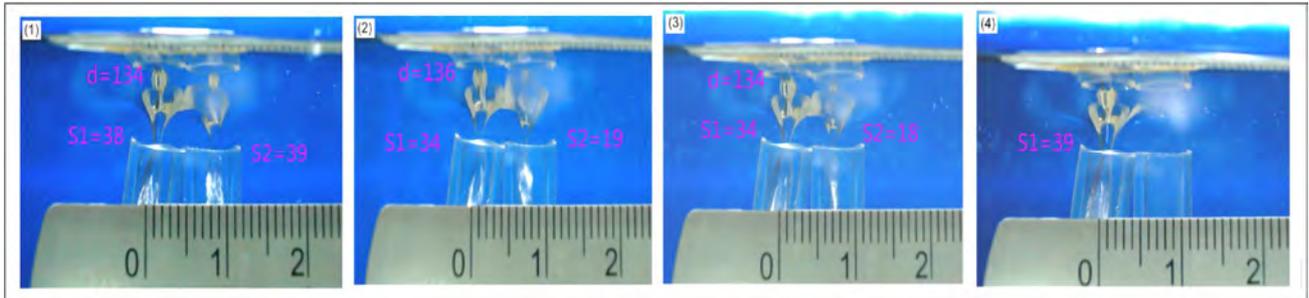
左水管固定流量（水龍頭全開），右水管水龍頭慢慢關小，開關移動的角度分別為 0、10、20、30 度，當轉動（緊）30 度時，右水管的漩渦就會看不見。

- (2) 方法二：利用電壓控制器控制水流--

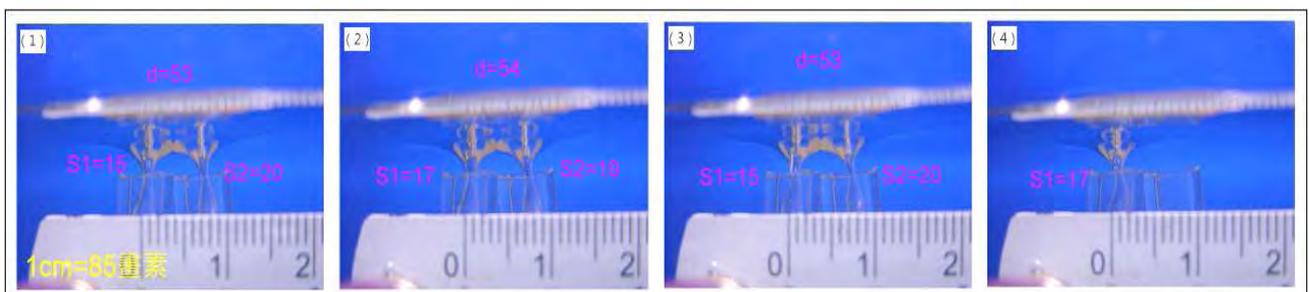
左水管的馬達電壓固定，右水管馬達的插頭電源以「電壓控制器」【圖 3】-(7) 慢慢關小，並以三用電表量插頭電壓大小。右水管的馬達電源之電壓分別控制為 110、100、90、80 伏特，在【圖 25】-(4)中，當電壓小至 80 伏特時，右管水流流量變小而漩渦則會消失。

【實驗結果】

【圖 24】方法一：左水管流量固定，右水管水龍頭慢慢關小。在下【圖】-(4)，當右水管水龍頭轉動（緊）30 度時，右水管流量會變小，漩渦就會小到消失不見。下圖的水龍頭分別轉動（緊）0、10、20、30 度。可發現左右兩個漩渦向中心點拉近的情形並不明顯。



【圖 25】方法二：左水管的馬達電壓固定（110 伏特），右水管馬達以電壓控制器慢慢關小。在下【圖】-(4)中，電壓 80 伏特時，就會造成右管水流流量過小，右漩渦會消失。四個圖右管的電壓控制器分別控制為 110、100、90、80 伏特。可發現左右兩個漩渦向中心點拉近的情形也不明顯。



【我的發現】

開關的閉合和電壓的變小對水的流速影響不大，相較之下反而是【圖 16】的水管深度影響較明顯，水管深度大則壓力梯度大，「**水壓的壓力梯度**」才是造成水流加速與雙颱風效應的關鍵。也意味著自然界真實颱風的中心氣壓下降值可能是影響雙颱風效應的關鍵。

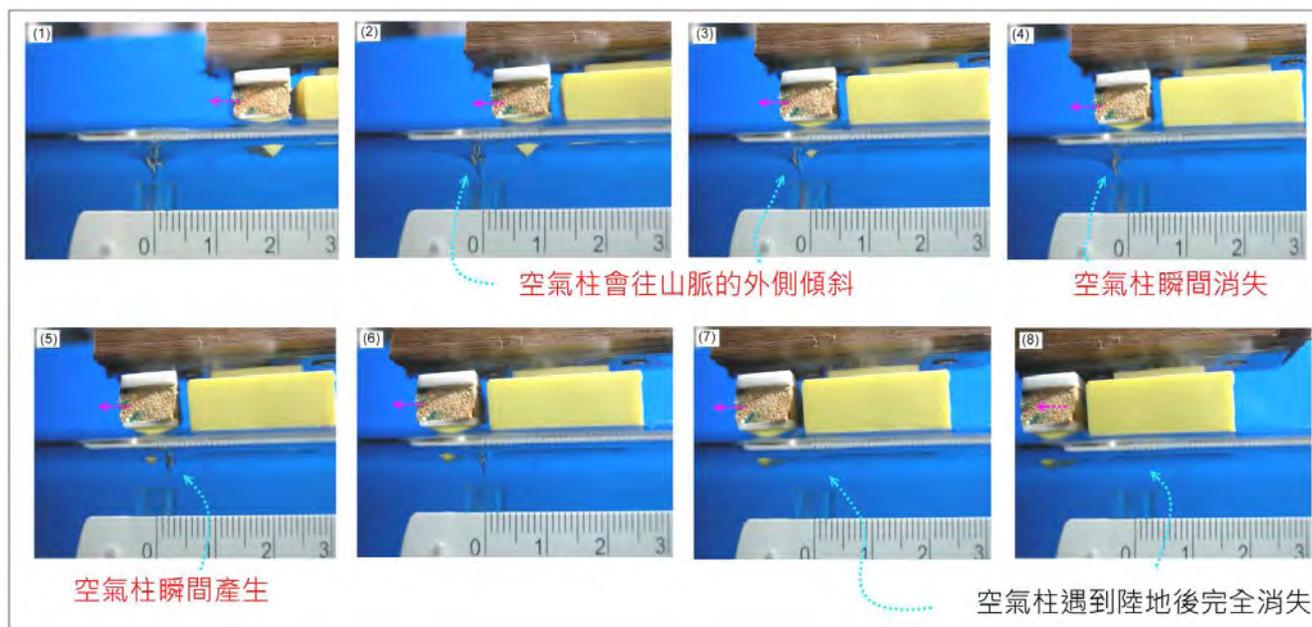
【問題 9】模擬颱風過臺灣的中央山脈，氣流會如何偏向呢？

【實驗方法】

1. 以黃色橡皮擦做成三角形小山脈（三角形 $0.6\text{cm} \times 0.6\text{cm} \times 1.0\text{cm}$ ，長 3cm ）和陸地（ $3\text{cm} \times 4\text{cm} \times 1\text{cm}$ ）模型，固定在木架上，用手水平推動小山脈木架，使小山脈緩慢通過水流渦上緣，藉以模擬颱風通過臺灣中央山脈、海峽與大陸，實驗設備如【圖 3】-(12)所示。
2. 小山脈木架以水平方式由右向左推，水管入水口深度固定在 1cm ，水龍頭開關開到最大。

【實驗結果】

【圖 26】水漩渦通過「小山脈」、海峽和大陸模型。下【圖】- (3) & (4) 空氣柱會往山脈的外側傾斜。而下【圖】- (4) & (5)，當漩渦通過「小山脈」的正上方時，水漩渦會瞬間消失，然後再瞬間跳躍產生新的漩渦（注意：此二圖的山脈僅往左前進些微距離，會產生漩渦跳躍現象），這類似強颱風的「連續過山」現象。而下【圖】- (7) & (8)，漩渦在大陸的上方時，因吸不到空氣，漩渦便會消失。



【我的發現】

1. 水漩渦由遠接近小山脈的過程，水漩渦的規模會逐漸減小，同時水漩渦會往山脈外側傾斜，這是一個很重要的發現，如【圖 26】- (3) & (4)。
2. 水漩渦經過「小山脈」正上方時，空氣柱會瞬間消失又瞬間產生，【圖 26】- (4) & (5)。
3. 若是漩渦經過「大山脈」正上方時，空氣柱會有消失較長的一段時間，然後再重新產生空氣柱，【圖 27】- (5) ~ (7)。此種現象在真實颱風中也會產生類似的情形【參考資料 6-颱風百問】。
4. 水漩渦由「大山脈」進入「海峽」時，見【圖 27】- (4)，漩渦會向「山脈外側」傾斜。
5. 水漩渦由「海峽」進入「陸地」時，見【圖 27】- (10)，漩渦會微微向「陸地外側」傾斜，但此傾斜程度小於遇到山脈時的傾斜程度。
6. 比較【圖 26】- (1) 和 (4)，液面下黃色三角形的面積會由大變小，代表漩渦過山脈時液面會下降，相當於颱風接近陸地時海平面會上升，產生類似「暴潮」的現象。
7. 「暴潮」是一種海水面上升的現象，颱風氣壓每下降 1hPa，海水面上升 1cm。暴潮的主要成因為強風吹拂海洋表面，強風會造成海水堆高過於平常，天氣系統的低壓中心則為次要的因素。
8. 水漩渦往外側傾斜原因推論：水漩渦在模擬的陸地或山脈正上方，很難有空氣可吸收，水漩渦必須往外側斜才能吸到氣體，而形成空氣柱，這和真實颱風類似。本實驗結果可為颱風過境臺灣時路徑會偏轉，提供了部分的理論基礎。

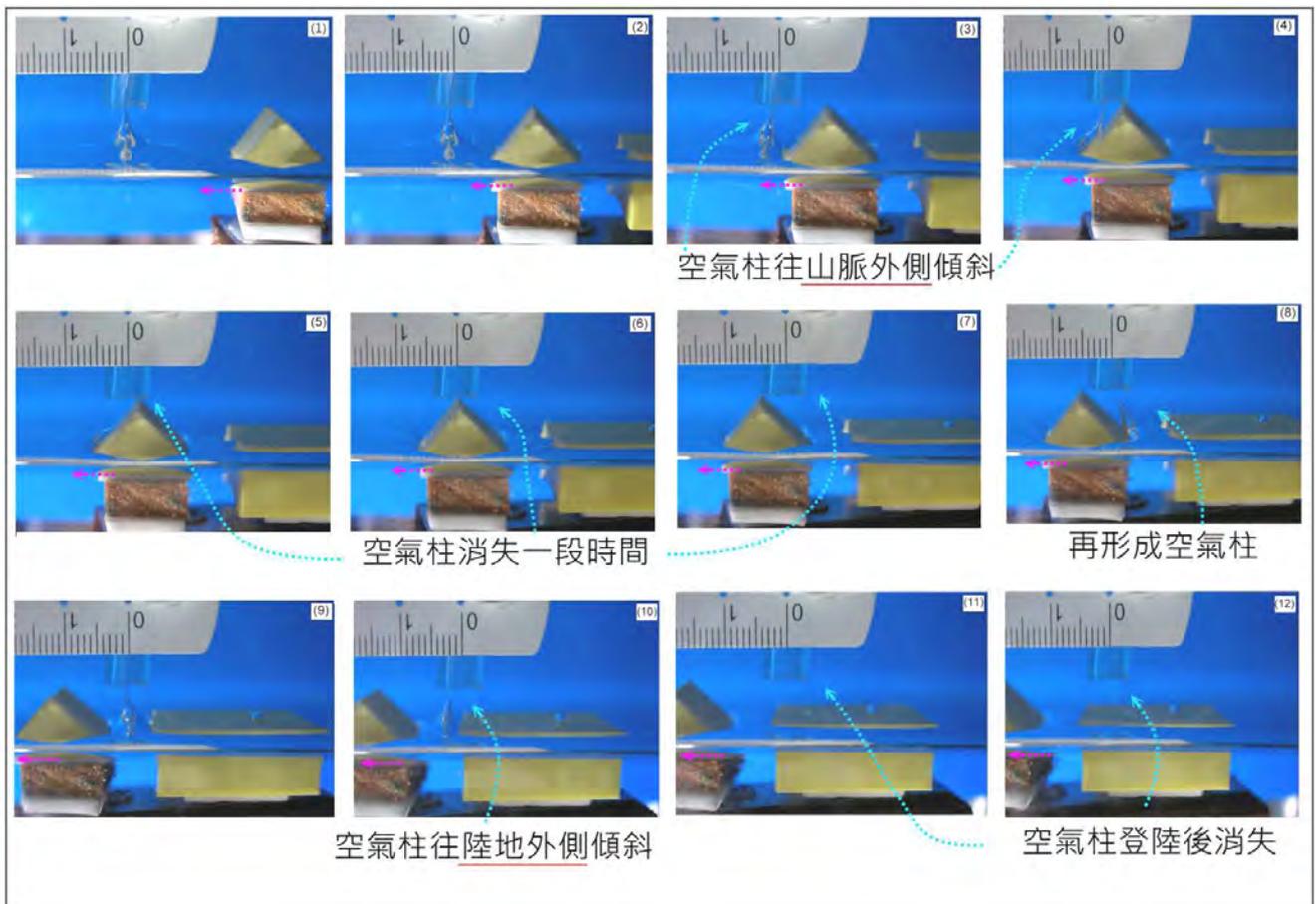
【問題 10】若把上述的【問題 9】的「小山脈」改成「大山脈」，並將照片倒立分析，結果會如何呢？

【實驗方法】

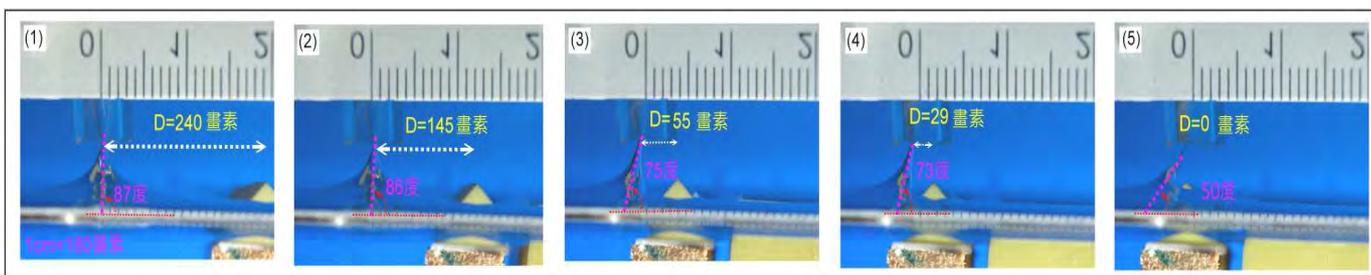
【圖 27】是將相片倒立，倒立後水漩渦的外觀會更像真實颱風。實驗條件同上面【問題 9】，但三角柱狀橡皮擦增大，三角柱的△底 1cm×1cm×1.5cm，長為 3cm，我們稱之為「大山脈」，並把記錄到的相片倒立後分析。

【實驗結果】

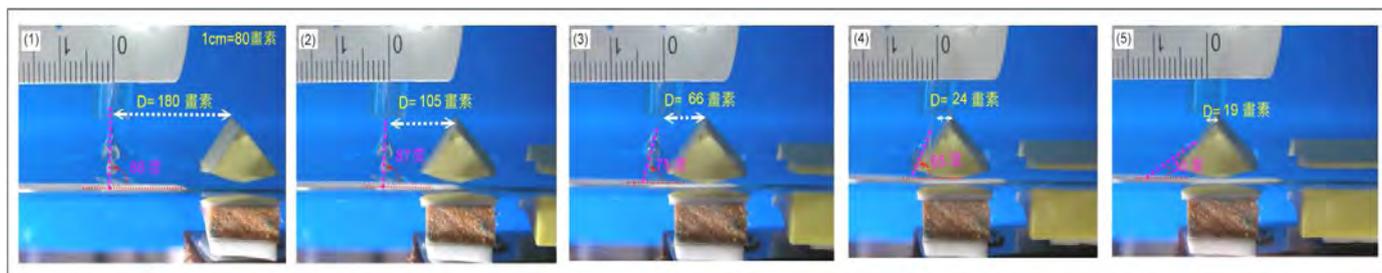
【圖 27】 水漩渦通過『大山脈』、海峽和大陸模型，並且將相片倒立分析。下【圖】- (3) & (4)，水漩渦會往山脈外側傾斜。在下【圖】- (5) ~ (8)，當漩渦通過「大山脈」正上方時，水漩渦會慢慢消失，會有一段較長的時間完全消失，這類似弱颱風的「不連續過山」現象。在下【圖】- (4) & (5)，當水漩渦雖然尚未完全消失，海峽液面靠山脈側有凹曲的現象，這是副低壓中心形成的證據。在下【圖】- (6) & (8)，代表模擬的颱風（水漩渦）通過山脈進入海峽時，颱風的規模與強度會再度增強。



【圖 28】水流渦通過模擬的「小山脈」時，**漩渦越接近山脈，漩渦傾斜越劇烈**，角度會越小。
 下【圖】-(5) 當漩渦傾斜角小於 50 度時，漩渦就會發生跳躍過小山脈。



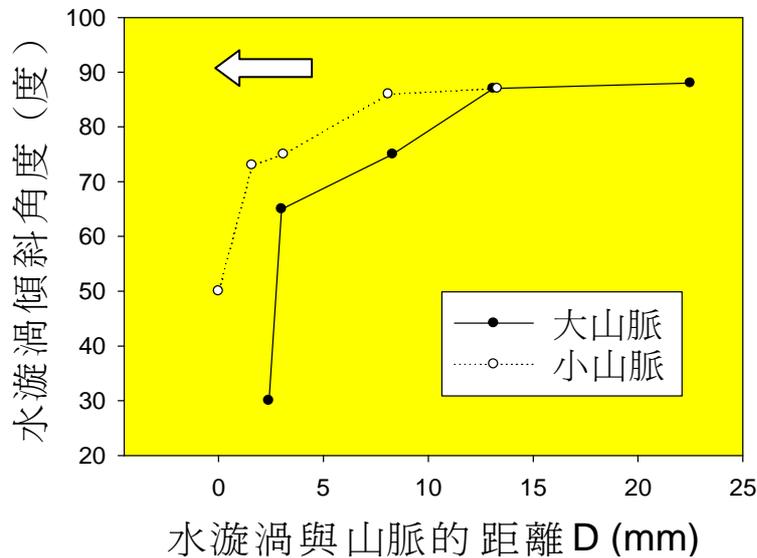
【圖 29】水流渦通過模擬的「大山脈」時，漩渦與山脈的距離越近，則漩渦傾斜角度也會越明顯。過「大山脈」比「小山脈」的漩渦傾斜角更大，傾斜角度會壓的會更低。**這意味著強颶的漩渦傾斜小而弱颶的漩渦傾斜較大，弱颶的受山脈地形效應影響會較明顯。**下圖-(5) 當漩渦傾斜角小於 30 度時，漩渦會因穿越大山脈而消失一段時間。



【表 5】漩渦和山脈之間距離和「漩渦傾斜角度」之計算數值

	大山脈			小山脈			
【圖 30】	距離 D (畫素)	距離 D (mm)	漩渦傾斜角 (度)	【圖 29】	距離 D (畫素)	距離 D (mm)	漩渦傾斜角 (度)
(1)	180	22.5	88	(1)	240	13.3	87
(2)	105	13.1	87	(2)	145	8.1	86
(3)	66	8.3	75	(3)	55	3.1	75
(4)	24	3.0	65	(4)	29	1.6	73
(5)	19	2.4	30	(5)	0	0.0	50
	【註】1cm=80 畫素，10mm=80 畫素，1mm=8 畫素			【註】1cm=180 畫素，10mm=180 畫素，1mm=18 畫素			

【圖 30】漩渦和山脈之間距離越近，漩渦傾斜越劇烈，角度會越小。「大山脈」比「小山脈」的漩渦傾斜角度會明顯，角度會壓的更低。觀察本圖的曲線，在漩渦接近山脈過程會有加速急遽下降的情形。



【實驗結果和相關文獻之比較】

1. 依據【參考資料 8】得知，颱風登陸臺灣後，會如何越過臺灣地形呢？這個問題的解答，與颱風的大小及強度有密切的相關。就範圍大且強度強的成熟颱風而言，颱風將有能力順利翻越中央山脈，此種路徑一般稱之為「**連續過山**」。假若颱風的強度不夠強時，原本像個圓柱狀的颱風旋轉體，其垂直結構會被臺灣地形分為兩部分：一部分是受影響較小的颱風**高層環流**，它將大致循著原來的路徑通過臺灣上空；另一部分是受影響較大的颱風**低層環流**，它將被中央山脈阻擋，逐漸減弱消失；同時，在**背風面**，將產生一個或數個新的低層環流中心，稱之為「**颱風的副中心**」。當颱風登陸臺灣地區後，原來的低層颱風中心和颱風的副中心同時存在一小段時間後，因原颱風中心減弱消失，就由副中心取代成為新颱風中心。整個過程，低層颱風中心就像跳躍般的越過臺灣，然後再與颱風高層環流重新結合，繼續移動。這種複雜的路徑一般多出現於**中度及輕度**颱風，氣象學家稱此過程為「**不連續過山**」。
2. **水漩渦過小山脈的實驗**—水漩渦會瞬間消失再產生。而有**跳躍現象**而產生新的低壓中心，如【圖 26】- (4) & (5)。
3. **水漩渦過大山脈的實驗**—漩渦在山脈正上方時，**漩渦會消失一段時間**，然後再重新產生漩渦，如【圖 27】- (5) ~ (8)。
4. **水漩渦過小山脈的實驗**：如同「**強颱風過山脈**」，驗證了【參考資料 8】的「**連續過山**」現象。
水漩渦過大山脈的實驗：如同「**弱颱風過山脈**」，驗證了【參考資料 8】的「**不連續過山**」現象。

【我的其他發現】

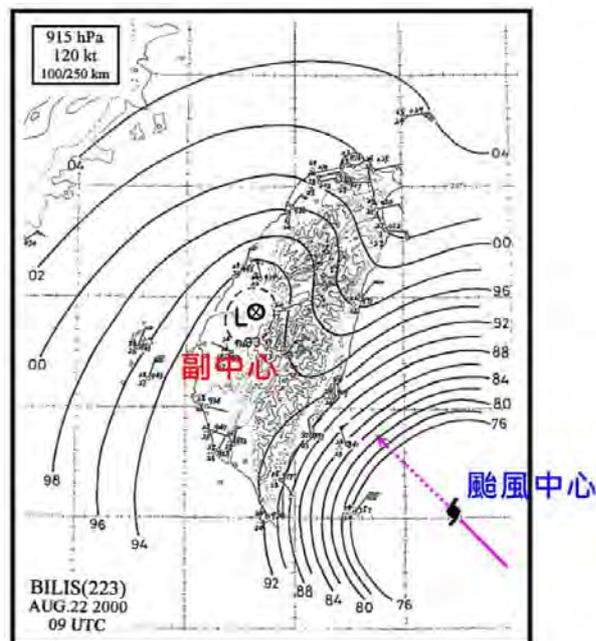
1. 漩渦和山脈之間距離越近時，漩渦傾斜程度會越大，角度會越小。
2. 「漩渦最大傾斜角度」數值會接近於大山脈模型側視圖的「三角形底角」，【圖 29】 - (5)。
3. 通過「大山脈」比通過「小山脈」，傾斜角度更明顯，角度壓的更低。代表著大山脈比小山脈對漩渦的影響力更大。
4. 漩渦由山脈進入海峽的過程，水漩渦強度與規模會再度變強。
5. 漩渦在模擬通過海峽的過程，一開始漩渦會先往「山脈」的外側傾斜，然後角度變正不傾斜，強度則由弱變強。當漩渦快遇到大陸時，漩渦又再次往陸地外側傾斜，強度又由強變弱。
6. 南臺灣地形較狹窄，北臺灣地形相對較寬。南臺灣較窄時，颱風容易有水氣可吸收，由本實驗可間接證實真實的颱風中心(水柱)可能會偏向有水氣可吸的那一側。
7. 真實颱風登陸到大陸後會因為吸不到水氣和高山阻擋(摩擦力)所以會減弱最後會消失，此現象和我們的實驗結果一致。

【問題 11】 可以模擬出颱風副中心的產生嗎？其特徵為何？

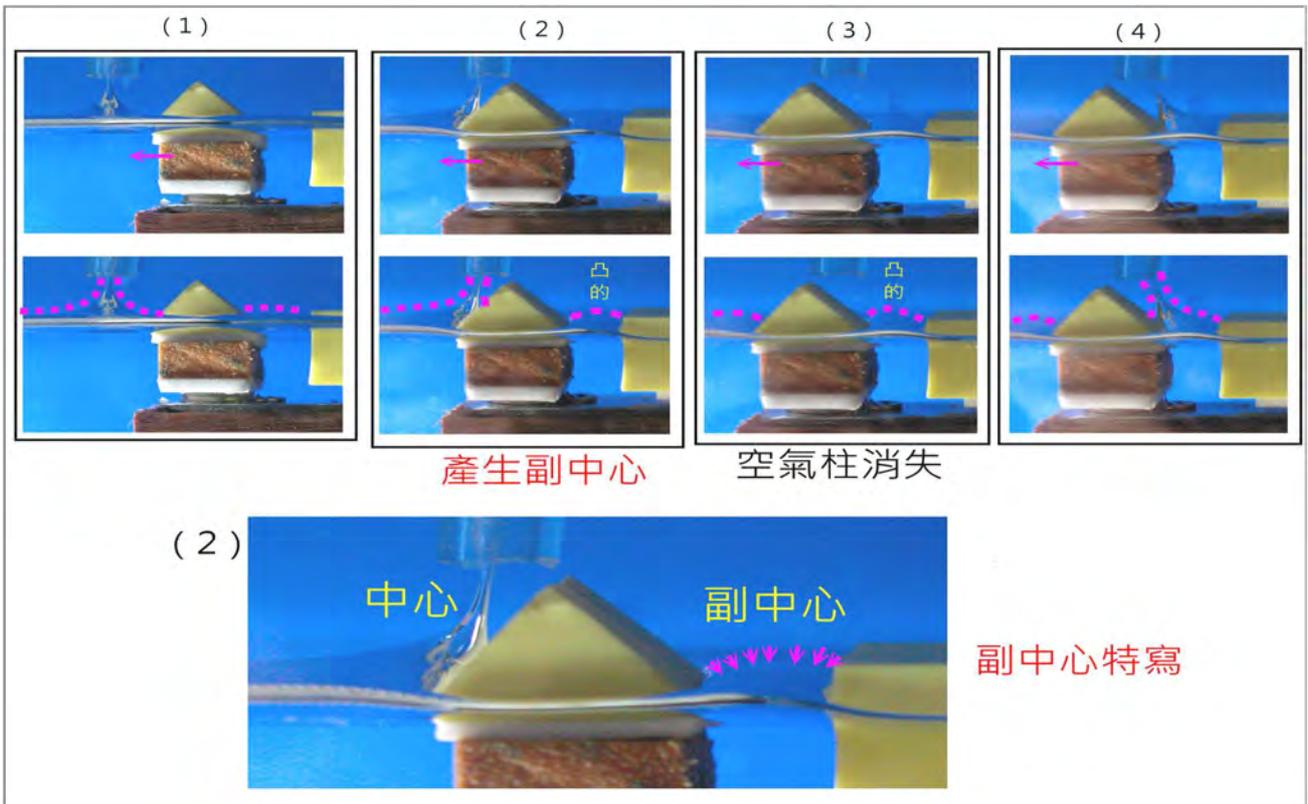
【實驗方法】 分析【問題 10】 實驗相片的液面彎曲程度

【實驗結果】

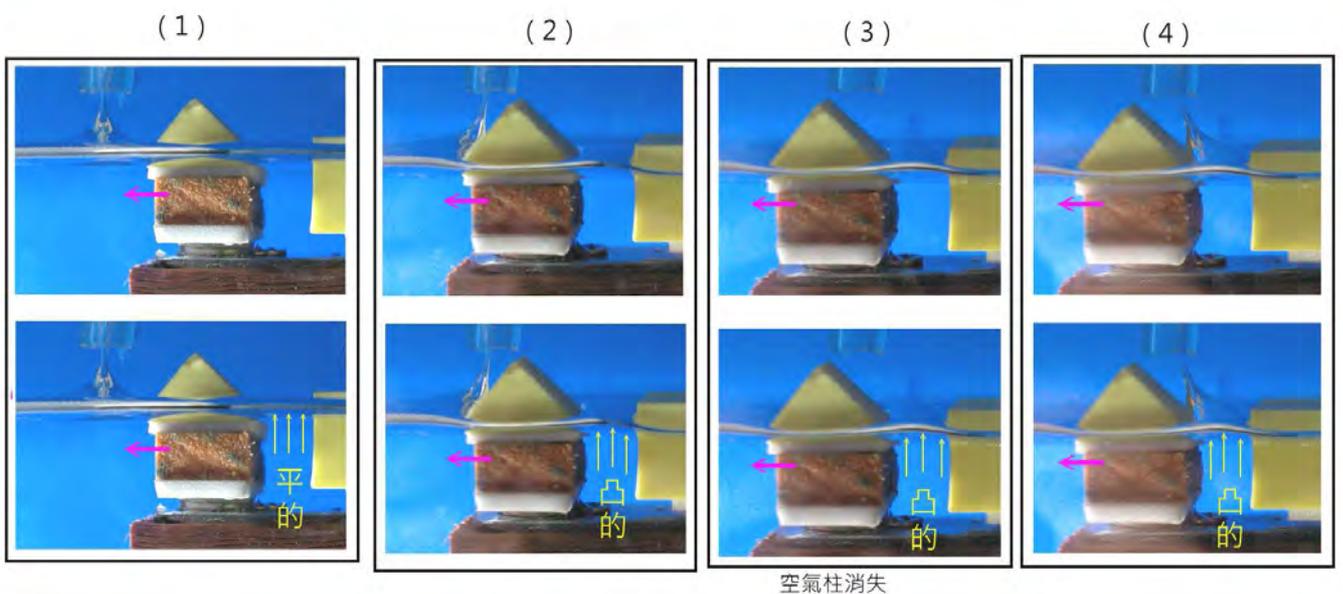
【圖 31】 臺灣地面天氣圖，圖中可見
颱風的中心及副中心
【參考資料 6-颱風百問】



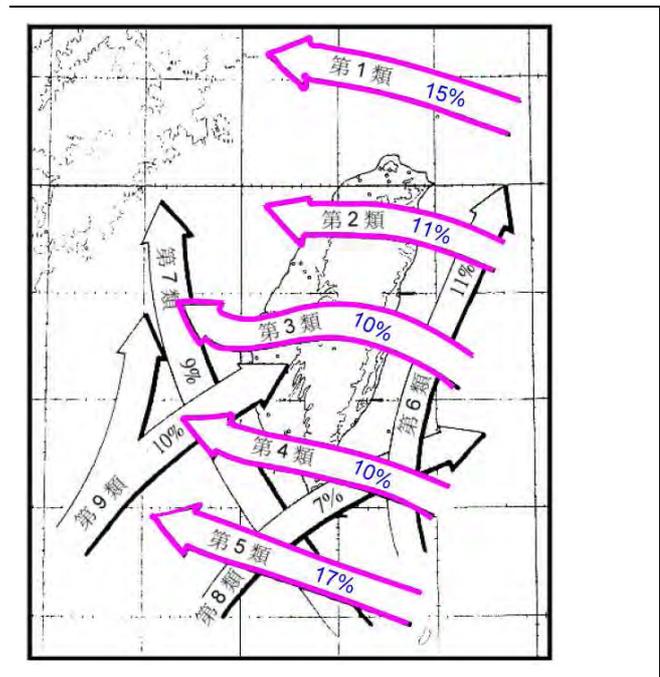
【圖 32】水流渦由遠慢慢接近黃色的「大山脈」時，注意在「海峽」位置的「藍色液面」，可以看出液面會由平的變成凸的，見下圖【圖】- (2)。由此可以發現「副中心」生成之證據。



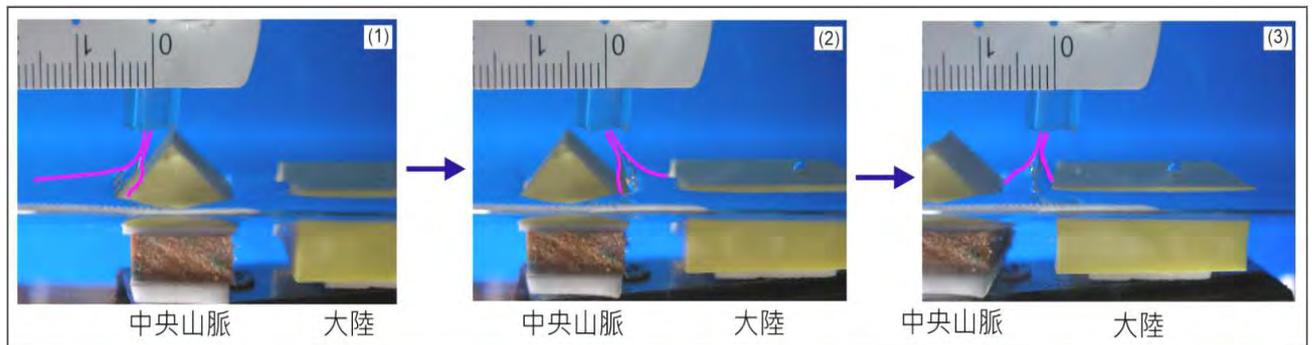
【圖 33】漩渦接近山脈的過程，在海峽位置的「白色液面交界線」也可以看出由平的變成凸的，如下【圖】- (3)，也可以發現「副中心」逐漸生成的證據。



【圖 34】西元 1897~2003 年間，影響臺灣地區颱風路徑分類和機率，會發現由東向西過境台灣的颱風，在南、北兩端通過的機率大於由中部通過的機率。【參考資料 6-颱風百問】



【圖 35】水漩渦必須向山脈或陸地外側傾斜才能吸到空氣。由本實驗可推論颱風過境臺灣必須偏向北端和南端才容易吸引到氣流，所以才造成上圖【圖 34】的颱風路徑偏向南北機率較高。我們的實驗和【圖 34】一致，並為此現象提供部分的理論基礎。



【圖 36】

我們利用 google earth 模擬說明颱風過境臺灣南北兩端時，可能產生氣流漩渦往外側偏離的情形，我們的實驗結論和【圖 34】一致的。



【實驗結果和相關文獻之比較】

1. 由【圖 35】水漩渦必須向山脈或陸地外側傾斜才能吸到空氣。由本實驗可推論颱風在過境臺灣時，必須路徑偏向北端和南端的陸地外側才容易吸引到氣流，所以才造成上圖【圖 34】的颱風路徑偏向南北機率較高。而我們的實驗和【圖 34】一致，並為此現象提供部分的理論基礎。
2. 但是依據【參考資料 5】結果顯示，臺灣的地形的確對颱風的路徑有所影響，並使颱風在接近時偏轉，偏轉角度大多在 30 度以內，而且偏北較偏南多。而當颱風以偏東北方向接近時（移入角小於 60 度）向南偏轉較多；以偏東南方向接近時（移入角大於 161 度）方向偏北較多，顯然地形對颱風進行有阻礙作用；而正交颱風偏轉角度也比斜交颱風小。
3. 本研究雖和【參考資料 6】【圖 34】結果是一致，但是卻和【參考資料 5】結果是相反的，不禁令我們懷疑【參考資料 5】的結論是否正確呢？還是有其它變因的存在呢？

【我的其他發現】

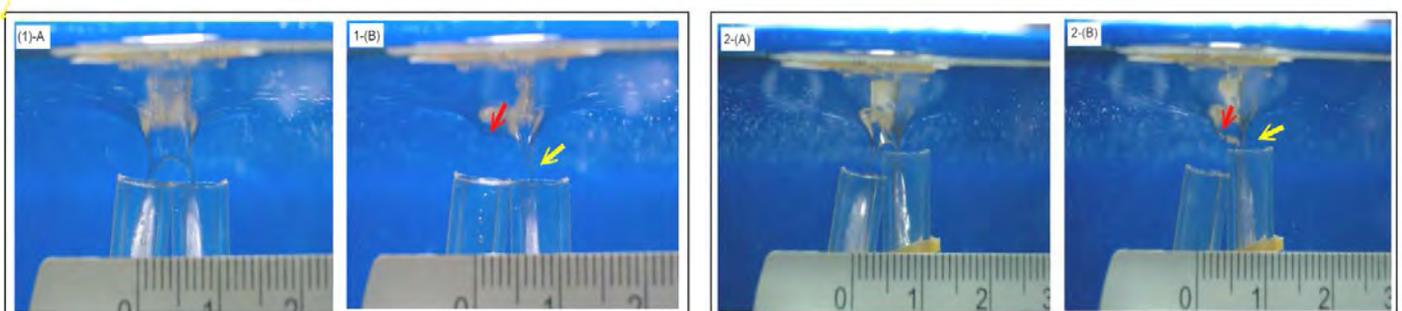
1. 水漩渦由遠慢慢接近黃色的「大山脈」時，在「海峽」位置的藍色液面會由平的變成凸的，見下圖【圖 32】- (2)。由此可以發現「副中心」生成之證據。
2. 漩渦接近山脈的過程，在在「海峽」位置的「白色液面交界線」也可以看出由平的變成凸的，【圖 33】- (3)。也可以發現「副中心」逐漸生成的證據。

【問題 12】漩渦看不見時，仍具有吸力？

【實驗方法】水管口會同時吸引水和空氣，會產生間歇性水漩渦，一陣是空氣一陣是吸滿水，有時候水漩渦會消失，在消失瞬間會產生類似龍捲風發生前的「雷雨胞」之構造。

【實驗結果】

【圖 37】看不見漩渦仍具吸力潛勢。在下【圖】-1- (B) 和 2- (B)，左水管雖看不見漩渦的空氣柱，但是仍對右水管具有吸力潛勢，如圖中紅色箭頭所示，而圖中左水管的馬達仍是不停的運轉著。

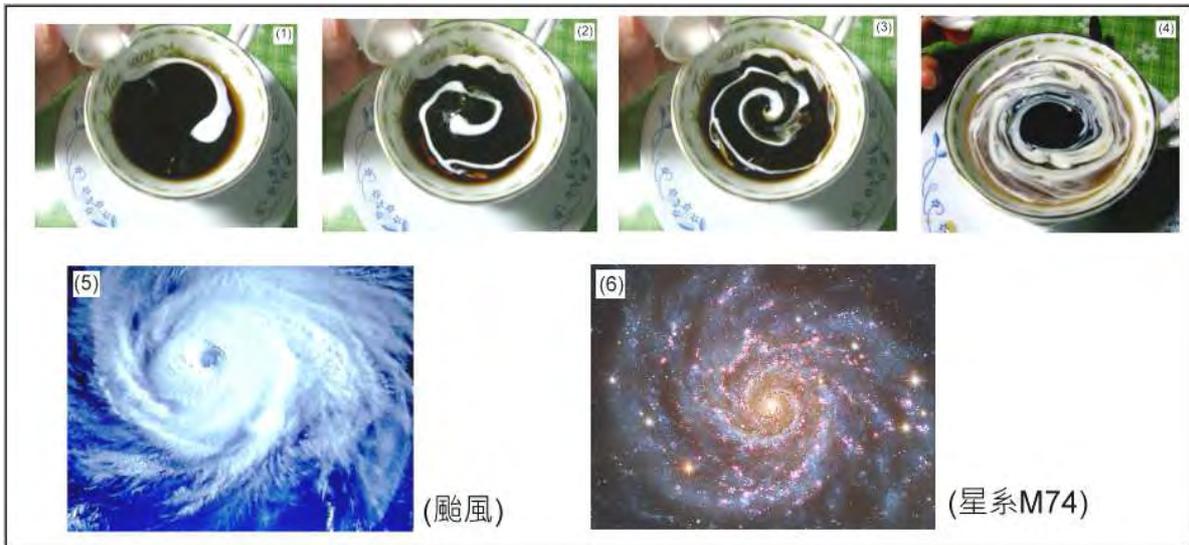


【我的發現】

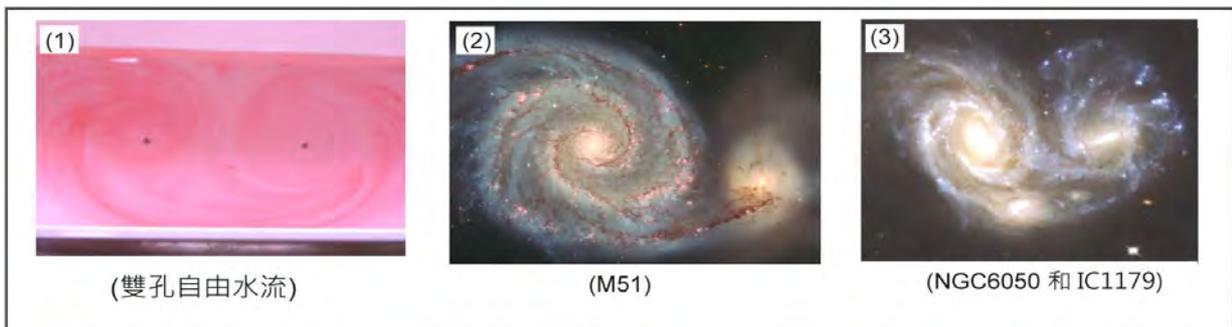
由【圖 37】-1- (B) 和 2- (B) 可看出，左漩渦雖然暫時消失，但仍然有雙漩渦「中央點下降」(d) 和「右水管漩渦偏離」(S2) 的現象，可以證明左漩渦雖然看不見但仍對右漩渦仍具吸力潛勢。

【問題 13】本實驗其他有趣的聯想？

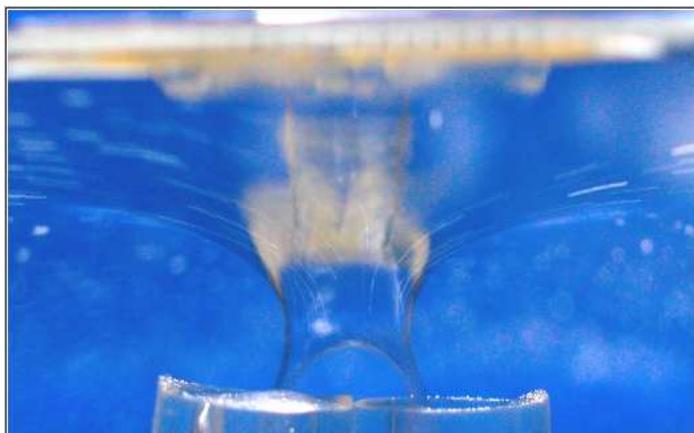
【圖 38】我們攪拌咖啡後加奶精，可產生圖案 (1)~(4)，是不是很像颱風的形成過程呢？這是否也像宇宙間的螺旋星系呢？



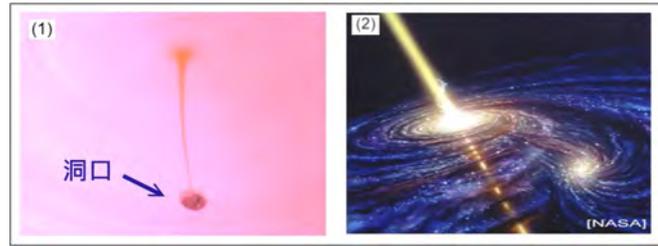
【圖 39】下圖(1)的兩個洞的自由水流的圖形是不是很像星系合併？有相關嗎？而宇宙的星系中心大都有黑洞存在。下圖(2)是著名的星系 M51。下圖(3)是螺旋星系 NGC 6050 和 IC 1179 的合併，吸引過程二者都有引力的潮汐作用。【圖片來源 NASA】



【圖 40】宇宙中兩個黑洞接近合併時，「雙黑洞」外的吸積盤是否會產生如下圖的有趣「人字形」呢？



【圖 41】右圖(1)為塑膠容器打洞的「自由水流實驗」，在洞口的紅墨水漩渦中心之特寫，紅色顏料聚集形成細柱狀，右圖(2)為黑洞正吞噬星系，而黑洞上下也會形成細柱狀，二者具有關連性嗎？



伍、結 論

1.綜合水漩渦【問題 3】～【問題 7】的實驗結果，

我們提出「評估藤原效應強度」的參考方法：

- (1) 兩漩渦連線中心點的壓力下降值。
- (2) 水漩渦的傾斜角度。
- (3) 管內水漩渦偏離程度。
- (4) 壓力弧線的彎曲程度。
- (5) 葫蘆形等壓線。

2.我們實驗水箱的創意設計：具有精密、穩定、微調、方便進行多項模擬實驗等功能。

3.可測得水流之近似流速：

我們發現利用軟體測量相片的氣泡畫素，再配合相機曝光時間，此法可以知道水漩渦流各點近似流速。可以發現：(1) 氣泡距離漩渦中心越遠，流速會越慢。(2) 氣泡越接近吸水口，深度越深時，流速會越快。

4.當兩水管慢慢靠近，以模擬雙颱風互相接近，可發現：

- 兩漩渦距離越小 (D 越小)，會造成兩「漩渦中心點深度」 d 下降更厲害 (d 值越大)。
- 兩漩渦距離越小 (D 越小)，「管內漩渦偏離程度」越大 ($S1$ 和 $S2$ 值越小)。

5.兩水管慢慢靠近，以模擬兩個颱風互相靠近，觀察水壓的等壓線會形成「葫蘆狀」。

6.兩水管合併再慢慢下沉，以增強流速，用來模擬雙颱風強度增強，可發現：

- (1) 水管下沉深度(D)越大，兩漩渦「中心點深度下降值」(d) 越大，見【圖 17】。
- (2) 水管下沉深度(D)越大，「管內漩渦偏離」($S1$ 和 $S2$)越明顯，數值越小，見【圖 18】。
- (3) 由本實驗可推測真實的颱風，強雙颱風會比弱雙颱風更容易相互引與合併，「雙颱風效應」更為明顯。

7.左水管由淺往下降，右水管固定深度，以模擬雙颱風一強一弱之相互影響，可發現：

左水管深度越深，吸力越強，使的右水管漩渦越偏離中心。代表在雙颱風效應之中，風速越大，雙颱風效應會越顯著。

8. 兩個水漩渦相互影響越劇烈時，則「壓力弧線」會彎曲的越厲害。

- 下列三種情形都會有壓力弧線的產生：(1) 兩水管相互靠近。(2) 兩水管合併逐漸下沉。
- (3) 右水管固定深度，左水管深度逐漸下降。

9.左水管固定，右水管水龍頭慢慢關小，可發現：

開關的閉合和電壓的變小對水的流速影響不大，反而是水管入水口的深度，會產生壓力梯度，**水壓的壓力梯度**才是造成水流加速與否的關鍵。也意味著真實颱風的中心氣壓下降值可能是影響颱風強度的關鍵。

10.模擬颱風過臺灣的中央山脈，可發現：

- (1) 漩渦通過山脈時，除了強度由強漸變弱，會往山脈兩邊向外傾斜，還可觀察到：
 - (a) 漩渦與山脈距離越近，水漩渦傾斜角度越大。
 - (b) 通過「大山脈」比通過「小山脈」，傾斜角度更明顯，角度壓的更低。
 - (c) 大山脈比小山脈對漩渦的影響力更大。
 - (d) 通過山脈進入海峽，模擬的颱風（水漩渦）強度再度增強。
- (2) 水漩渦經過「小山脈」正上方時，空氣柱會瞬間消失又瞬間產生，有**跳躍現象**。但若是漩渦經過「大山脈」正上方時，**空氣柱會有消失較長的一段時間**，然後再重新產生空氣柱，參見【圖 26】和【圖 27】。

11.可以模擬出「颱風副中心」的產生嗎？其特徵為何呢？

- (1) 水漩渦由遠慢慢接近黃色的「大山脈」時，注意在「海峽」位置的**藍色液面**，可以看出液面會由平的變成凸的，參見【圖 32】- (2)。由此**可以發現「副中心」生成之證據**。
- (2) 我們實驗發現：**漩渦必須往外陸地外側傾斜才能吸引空氣，而形成空氣柱**。
- (3) **推論真實颱風在臺灣北端和南端都較容易吸引氣流**，所以會有偏向南北機率較高的情形。

12. 過小山脈實驗：如同強颱風過山脈，驗證了【參考資料 8】的「連續過山」現象。

過大山脈實驗：如同弱颱風過山脈，驗證了【參考資料 8】的「不連續過山」現象。

13.我們的實驗發現：**漩渦必須往山脈外側傾斜才能吸引空氣，形成水漩渦**。我們推論真實颱風過境臺灣南北兩端時，都必須偏向陸地外側才能容易吸引到氣流，所以會有路徑偏向南北機率較高的情形。我們實驗結果和【參考資料 6】的歷年颱風路徑統計資料是**相符合的**。我們實驗結果卻和【參考資料 5】的結論是**相反的**，不禁令我們懷疑【參考資料 5】的結論是否正確呢？還是有其它因子之影響呢？

14.本研究特別以「側視圖」的平視角度去觀察水漩渦，並詳細紀錄觀察結果，自己歸納後提出數種可以評估藤原效應強度的參考方法，**並將實驗結果數據化，有助於進一步的科學分析**。

15.展望：本實驗雖是小尺度的模擬實驗，和真實的颱風一定會有所差異，但因為氣體和液體都是流體，應該會有多項基本特性相類似，相信本研究多項實驗結果仍是深具意義的。我們所提出「評估藤原效應強度」的 5 個參考方法，有賴更進一步探究其適用性。

陸、參考資料

1. 維基百科。關鍵字：藤原效應。 <http://zh.wikipedia.org>
2. Lander, M. A., 1995: The merger of two tropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 2260 – 2265.
3. 許琇惠、黃逸暘等。2007。雙瞳-藤原效應的觀察和模擬。
中華民國第 47 屆中小學科展作品。國中組。生物及地球科學科。
<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/47/high/031725.pdf>
4. 張登翔、蔡綸等。2005。把玩颱風漩！旋！炫！－藤原效應探討。
中華民國第 45 屆中小學科展作品。國中組。生物及地球科學科。
<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/45/high/0317/031730.pdf>
5. 張凱翔。2002。臺灣地形對颱風路徑的影響。
臺灣 2002 年國際科展展覽會作品。地球與太空科學科。
<http://science.ntsec.edu.tw/ezfiles/4/1004/attach/11/2002041.pdf>
6. 颱風百問。中央氣象局。 <http://www.cwb.gov.tw/V6/education/encyclopedia/ty000.html>
7. 颱風資料庫（中央氣象局） <http://rdc28.cwb.gov.tw/>
8. 許舒惟、張嘉珮。2006。「心」情萬種！－論地形效應對颱風副中心的形成與影響。
中華民國第 46 屆中小學科展作品。高中組。地球科學科。
<http://www.cdjh.hc.edu.tw/sc2006/senior/0405/040508.pdf>

【評語】 080505

優點：

1. 以水箱水柱產生漩渦來探討雙颱風效應，具有創意，對主題的探討亦充實豐富。
2. 學生報告態度從容不迫，說明詳實，表達能力佳。

缺點：

1. 實驗室的實驗是否能充分類比到大自然的現象，宜針對特性做更清楚的分析比對，而實驗得出的結果，也必須充分比對大自然的現象，驗證實驗結果的正確性。