

屏東縣第 66 屆國民中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：地球科學科

組 別：國中組

作品名稱：三颱共“舞”之藤原效應研究

關 鍵 詞：科氏力、藤原效應、共伴效應

編號：B5005

目錄

摘要-----	p.2
壹、前言-----	p.2
貳、研究設備及器材-----	p.10
參、研究過程與方法-----	p.10
肆、研究結果-----	p.16
伍、討論-----	p.24
陸、結論-----	p.26
柒、參考資料和其他-----	p.28

摘要

本實驗主要以 2025 年九月中旬，第 17 號颱風「米塔」，第 18 號颱風「樺加沙」，第 19 號颱風「浣熊」為主的三個颱風彼此間相互影響之研究。

以往研究「藤原效應」都是以水力模型為主，本研究則以水霧氣為主，更貼合大氣的流體力學。再加上以往的研究都是靜止的水力模型，本研究則加入大模型轉動的科氏力。透過這兩項改良參數，讓本研究更貼近完美。

研究結果顯示：在以水為介質及控制磁力攪拌器強度情況下，兩渦流強度均為強(轉速為 5)時，距離 30 公分以內時，或在兩渦流強度為一強一弱(轉速為 3)時，距離 25 公分以內，即可觀察到「藤原效應」的現象；另在兩渦流強度均為弱(轉速為 3)時，距離為 20 公分時，才可觀察到「藤原效應」的現象。水霧氣的「藤原效應」比水的「藤原效應」更容易比現出來。而且在科氏力的共伴作用之下，「藤原效應」的表現會更為明顯。

壹、前言

一、研究動機：

去年(2025)九月中旬，在台灣附近產生三個颱風。第 17 號颱風「米塔」，第 18 號颱風「樺加沙」，第 19 號颱風「浣熊」。其中「樺加沙」颱風所帶來的雨量，造成花蓮馬太鞍溪堰塞湖溢流災難。

在去年(2025)更早之前的七月中旬，台灣附近也同時產生三個颱風。第 7 號颱風「范斯高」，第 8 號颱風「竹節草」，第 9 號颱風「柯羅莎」。除了「范斯高」颱風給台灣北部帶來部分雨量以外，並未造成重大災難。

歷史上的「三颱共舞」還有 2024 年十一月中旬的「康芮」、「桔梗」、「萬宜」2023 年八月底的「蘇拉」、「丹瑞」、「海葵」。在西太平洋「三颱共舞」的頻率並不罕見，從 2000 年到 2014 年，西北太平洋及南海共出現過 9 次三颱現象，平均每 1 到 2 年就可能發生一次。但去年卻在一年內發生了二次。所以我們就想研究並實驗三颱的相互關係。

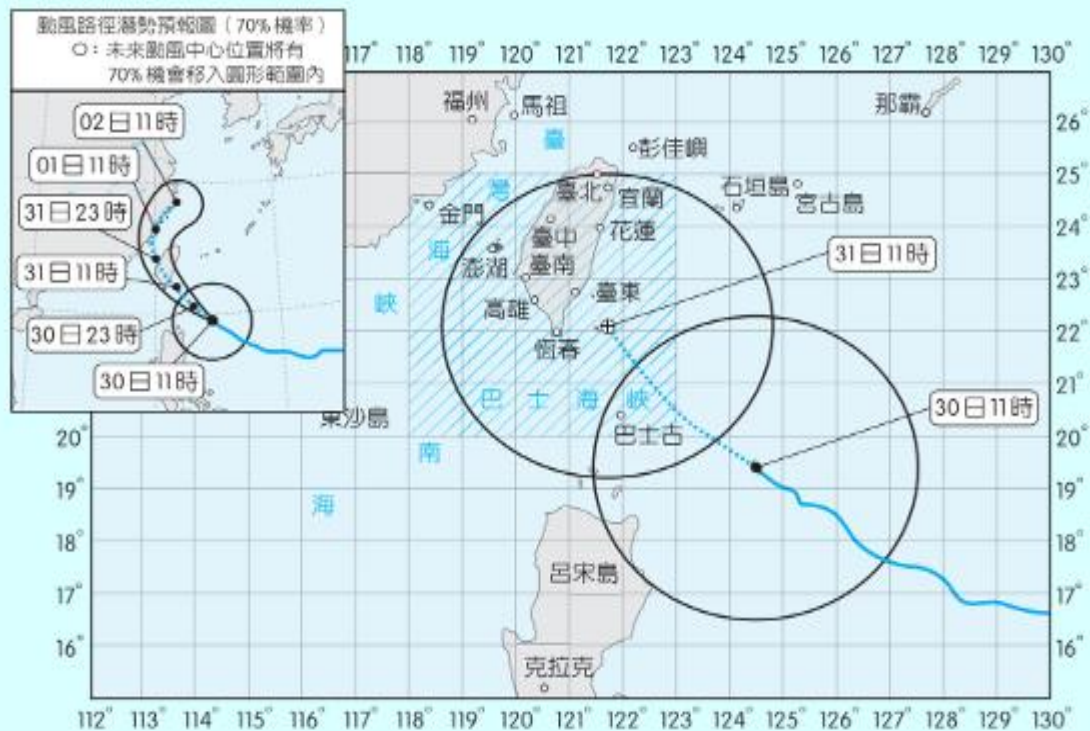
在我們進行文獻探討時意外發現~114 學年度學科能力測驗自然科，第 46 題考颱風路徑與藤原效應（手寫題），不同的解題團隊都認為有爭議，建議考生答「偏北」或「偏西」都要給分，引起本組高度研究興趣，想從颱風之間交互作用關係進行模擬實驗加以驗證。

學測自然科第 44 到 46 題組(如圖 1 內容)，提供颱風康芮的路徑潛勢預報圖，此時颱風正在鵝鑾鼻東南方約 470 公里海面上，以每小時 19 公里的速度向西北進行。

出現爭議的是第 45 題的 C 小題，寫到此時南海上大約同一緯度還有另一個強度相當的颱風，兩個颱風會互相影響，產生「藤原效應」。要考生判斷中央氣象署會對颱風康芮的移動路徑，往哪一個方向做修正。

根據氣象署的「颱風百問」，藤原效應是指兩個颱風靠近到 1000 公里左右時，它們將相互繞著相連的軸線做「環狀反時鐘方向」旋轉，旋轉中心的位置，由 2 個颱風的相對質量及颱風環流的強度來決定。此交互作用現象由日本氣象學家藤原先生（藤原咲平）最早開始研究，因此稱為藤原效應。

全國教師會解題團隊、國立中山大學附屬國光高中教師謝隆欽表示，團隊對這題討論了很久，甚至還打電話問了熟悉氣象署預報的人，最後覺得不論是回答「偏北」還是「偏西」，都應該要給分。謝隆欽解釋，考試題目往往是設定一個理想的情境，但真實生活並非如此，兩個逆時針旋轉的颱風互相影響，還要考慮到非常多的因素，例如颱風如果剛好行經陸地區域，就要考慮海面、地面摩擦力的差異等。另外補教老師蕭騏也認為這一題有爭議，他分析，颱風康芮目前是往西北方向走，受到南海上（應位於康芮西方）另一個颱風影響，以小尺度的瞬間受力來說，康芮應該是會往北偏；但如果把時間尺度拉長，整體應該會往偏西的方向走。



46. (a) 康芮颱風過去路徑幾近直接朝向臺灣而來，試問形成這種路徑主要受到什麼天氣系統影響？（1分）
- (b) 若康芮颱風以東南往西北的方向通過蘭嶼上空，試問颱風中心通過蘭嶼前後三小時左右，當地主要風向最可能的變化為何？（2分）
- (c) 假使此時南海大約同一個緯度上還有另一強度相當的颱風，此兩颱風彼此會互相影響，產生藤原效應。藤原效應是兩個颱風相互靠近牽制的現象，會使兩個颱風移動路徑受到影響，通常使兩颱風以共同質量中心作逆鐘向互繞運動，增加路徑預報之難度。若康芮颱風和此位在南海的颱風產生藤原效應，中央氣象署將會對康芮颱風的移動路徑往哪一個方向做修正？（1分）

答 案：(a)副熱帶高壓（太平洋高壓）
(b)東北風轉西南風
(c)北方

詳 解：(a)副熱帶高壓（太平洋高壓）強度與位置的改變是造成颱風路徑改變的主因。

(b)颱風是逆時鐘旋轉的環流，當颱風通過蘭嶼前，蘭嶼吹東北風，當颱風通過蘭嶼後，蘭嶼風向轉變成西南風，如右圖。



(c)當兩個強度相當的颱風產生藤原效應時，兩個颱風將改變原先預估的可能路徑，呈現逆鐘向互繞，康芮颱風移動方向可能往北方修正，如下圖。

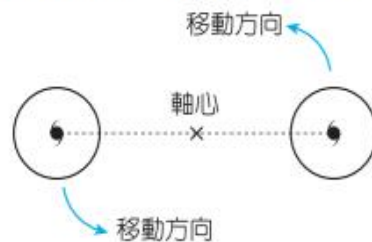


圖 1.114 學年度學科能力測驗自然科，第 46 題考颱風路徑與藤原效應
(引用自 114 翰林學測精彩解析-自然考科)

二、研究目的：

(一)三個不同強度的漩渦，在以水為介質漩渦和以空氣(水霧)為介質漩渦之間的差異。

1. 研究藤原效應在氣體(水霧)和液態水之間的差異。
2. 研究藤原效應在漩渦以不同距離和不同強度的情況下，藤原效應之表現狀態。
3. 研究藤原效應在三漩渦下，以不同距離、不同強度的渦流在不同位置的情況下，藤原效應的表現狀態。

(二)加上大轉盤旋轉，模擬地球自轉的科氏力，以水霧為介質之水工實驗的情況之下：

1. 研究雙颱風相互的關係，包含強度和距離的藤原效應表現狀態。
2. 研究三颱風相互的關係，包含強度位置和距離的藤原效應表現狀態。
3. 比較有無科氏力的影響之下，以水霧為介質的藤原效應表現差異狀態。

(三)研究歷年來相關的三颱風的藤原效應，比較模型的研究數據差異性。

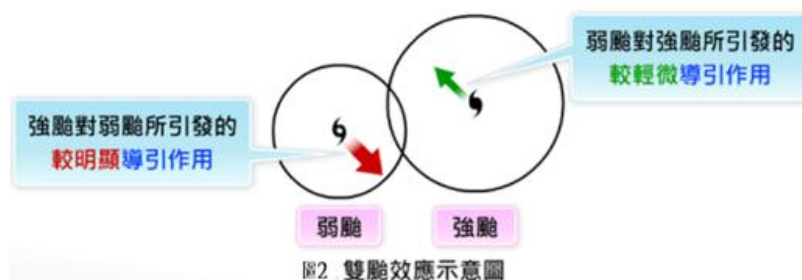
1. 蒐集歷年實際發生之三颱風互動藤原效應案例資料。
2. 分析實際颱風路徑、強度與互動特徵。
3. 將歷史資料與實驗模擬結果進行比較，驗證實驗模型之合理性與限制。

三、文獻回顧：

(一) 藤原效應 (Fujiwhara effect)：原是指兩個距離不遠的水旋渦，因為渦度、質量及相對位置的不同，而互相影響的狀態。藤原效應最早是由日本氣象學家藤原咲平博士在 1921 至 31 年間所進行的一系列水工實驗及觀測，主要是解釋當兩個颱風同時形成並互相靠近時所產生的交互作用，因而得名。藤原博士發現，兩個接近的水旋渦，它們的運動軌跡會以兩者連線的中心為軸心，繞著軸心互相以逆時針方向旋轉（如圖 3）。而大氣旋渦也出現類似情況。當兩個熱帶氣旋距離在約只有 1000~1200 公里時，它們會以兩者連線的中心為圓心，互相旋轉，展現出多種不同的變化，以下舉例幾種比較常見的狀況：

- a. 互相影響：以兩者連線的中心做為圓心，共同繞著這個圓心開始旋轉
- b. 單向影響：其中一個繞著另外一個的外圍環流不斷逆時針旋轉
- c. 合併：比較強的颱風把比較弱的吸收，成為自己環流的一部分 這種效應可能導致其中一個颱風被另一個較強的颱風吸收，或是兩者互相影響並改變路徑，使預測變得更加困難，並可能導致降雨時間拉長。

1. 成因：兩個氣旋性渦旋(如颱風)因距離接近（通常在 1000-1500 公里內），會相互牽引。
2. 運動：兩者圍繞其連線的質心（中點）相互旋轉，北半球為逆時針，南半球為順時針。
3. 結果：可能導致一個較弱的被吸收（合併型），或兩者路徑異常（互繞型），甚至「掉頭」（回馬槍）。



資料引自：雙颱風共舞？！第六號颱風烟花與第七號颱風查帕卡是否產生藤原效應？

4.重要性：

- (1)增加預測困難：藤原效應會使颱風路徑、強度和影響時間變得複雜且難以預測。
- (2)影響台灣時間難測：在西北太平洋地區常發生，可能使原本要離去的颱風繞回，延長對台灣的影響期。

5.常見的運動形式與後果：交互作用的結果取決於兩颱風的強度、大小與距離。

- (1)互繞：兩者繞著共同中心點旋轉，路徑可能出現盤旋、打轉或受牽引而大幅偏轉。
- (2)合併：若其中一個颱風顯著強於另一個，較強的颱風可能會吸收或吞併較弱的颱風。
- (3)單向牽引：強颱風可能迫使弱颱風繞其旋轉，而強颱風自身路徑受影響較小。
- (4)彈離：兩者短暫交互影響後，受大環境氣流帶動而分道揚鑣。

6.對天氣預報的挑戰：

- (1)路徑異常：藤原效應會導致颱風路徑出現不規則的變化，如「回馬槍」現象（原本要離開卻又繞回來），導致於路徑難以預測，增加氣象預報困難度。所以有時會造成難以料想的災損，以 1986 年的韋恩颱風為例(這個颱風有侵台四大怪颱之一的封號)，因為與另外一個薇拉颱風產生藤原效應相互牽引的狀況下，使得颱風路徑出現 180 的大轉彎，如圖 3 所示，可以發現韋恩颱風的路徑完全顛覆大家對於颱風移動方向的想像，在臺灣的氣象史上更被形容為「一個颱風，二次登陸，三次警報，四次轉向」的奇特景象，也為臺灣造成超過 200 億元的經濟損失。

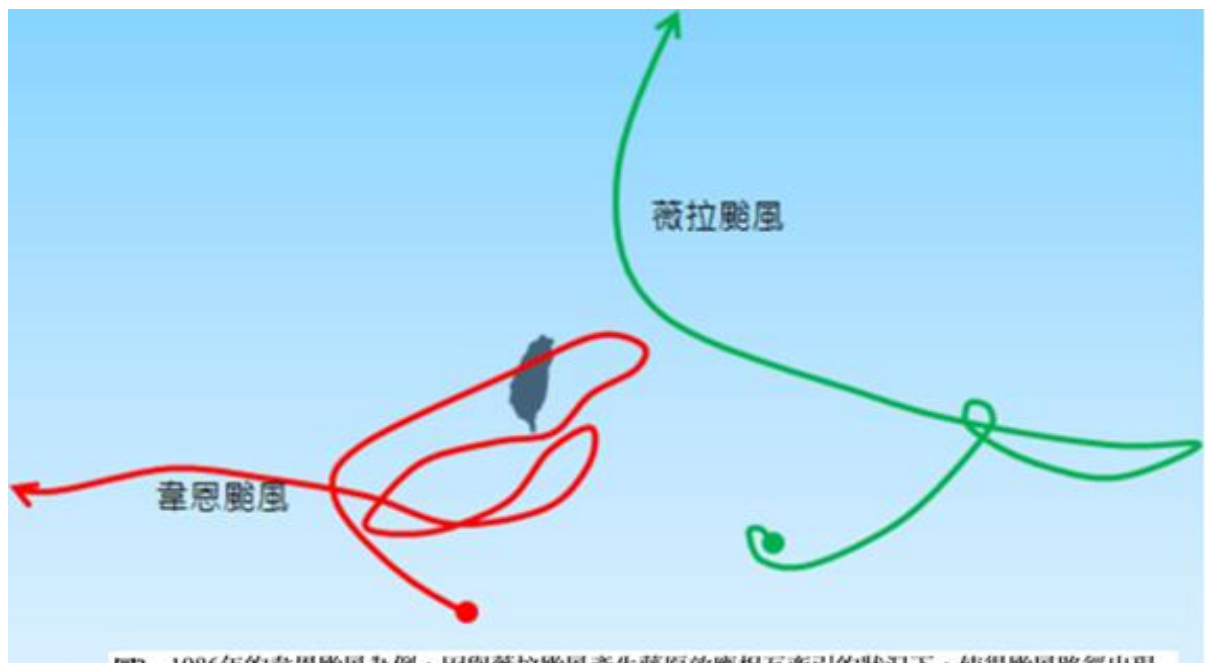


圖3..1986年的韋恩颱風為例，因與薇拉颱風產生藤原效應相互牽引的狀況下，使得颱風路徑出現 180 的大轉彎

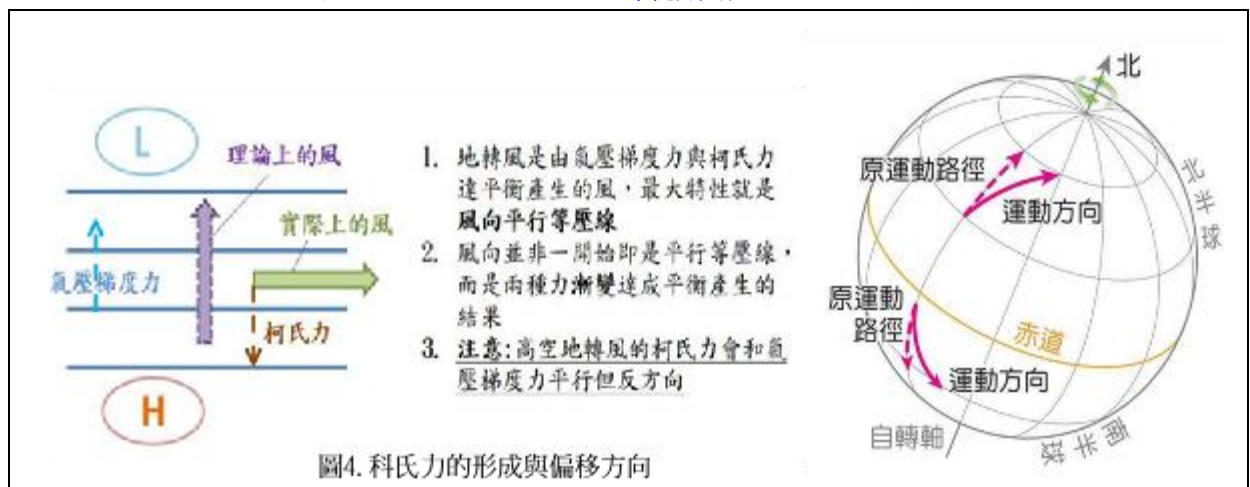
資料引自：雙颱共舞？！第六號颱風烟花與第七號颱風查帕卡是否產生藤原效應？

- (2)災害延長：若因交互作用導致颱風在某區域滯留或打轉，會使該地的降雨時間延長、累積雨量加劇。

(二) 颱風：

- 1.形成：颱風形成於溫暖的熱帶或亞熱帶海洋上空。當溫暖的風吹向海洋區域時，會收集水氣並上升，形成低壓區。隨著更多氣流湧入填補這個空隙，雲層越積越多，旋轉速度也越來越快，最終形成熱帶氣旋。
- 2.結構：成熟的颱風中心是一個相對平靜、無雲的區域，稱為「**颱風眼**」。颱風眼周圍是「**眼牆**」，這是風速最強、降雨最猛烈的部分。
- 3.風向：在北半球，颱風的風向呈**逆時針旋轉**。
- 4.在李憲之氣象學報中的**颱風生成的綜合學說**指出：幾十年前，甚至一百多年前，氣象學者對熱帶氣旋（在東亞叫作颱風）的生成，就有了相當認識；但是直到現在，這方面的學說，越來越多，還沒有統一起來；而且對一些問題（如為什麼熱帶氣旋只限於某些地方？為什麼熱帶氣旋發生的頻率很少？等等），還不能或不能正確地解答。這篇文章把作者過去對颱風工作的一部分，在理論上加以補充，提出三個必要而且滿足的條件（大規模的高度潮濕不穩定，相當強的渦度和足夠強大的外力——冷空氣的侵入，其中前兩個是已經公認的）和幾個有利條件，並加入最近整理過去的一些結果，再參考過去已有的數據和主要文獻，分析批判資料，構成這個綜合學說。用這個學說可以簡潔地比較合理地解答上面提到的以及其他一些問題。

(三)科氏力：是一種發生在旋轉系統中對移動物體的「**假想力**」。是對旋轉體系中進行運動的質點由於慣性相對於旋轉體系產生偏移的現象的表述，**科氏力會讓流體在北半球偏右、南半球偏左**。其最典型的一種表現為**地轉偏向力**，如圖 4 所示。



1.核心概念：

(1)**來源**：地球是巨大的旋轉體系。當物體（如空氣、水、飛機）沿直線運動時，地球本身在移動，使得從旋轉地球上觀察者看來，物體像是被一股力推偏了。

(2)偏向方向：

北半球：偏向右側（順時針）。

南半球：偏向左側（逆時針）。

(3)**強度**：與速度和緯度有關。緯度越高（越靠近兩極），偏向力越大；緯度越低（越靠近赤道），偏向力越小，赤道為零。

(4)**性質**：是一種慣性力或假想力，而非真實作用力。

2.主要影響：

(1)氣象學：颱風/氣旋：北半球低壓（颱風）逆時針旋轉，南半球低壓則順時針旋轉。

(2)信風：科氏力影響信風方向。

(3)航空/導彈：長程飛彈、飛機需計算科氏力進行軌道修正。

(4)洋流：影響大規模洋流的環流模式。

(四)水工模型試驗：水利工程中一種重要的研究方法，透過在實驗室內建造縮小版的水利設施實體模型，並在受控條件下進行流體力學實驗，以模擬水流行為、預測原型（實際結構）的性能，並優化設計。

(五)上海颱風研究所(王玉清)發表**雙渦藤原效應的數值模擬研究**。文中指出，利用正壓無輻散模式在無環境基本氣流的情況下對雙渦的藤原效應及其“合併”後渦旋移動路徑的特徵進行了數值類比研究。**結果表明**，只有當雙渦間的距離小於某一臨界距離時才會出現藤原效應，這一臨界距離決定於渦旋的結構及雙渦的相對強度；雙渦的“合併”過程實際上是其中一個渦旋減弱消失而另一渦旋維持的過程；在考慮 β 效應的情形下，兩個同等強度的渦旋“合併”後表現為較平直的向西北的 β 飄移，而兩個不同強度的渦旋“合併”後表現為陀螺運動和 β 飄移的疊加。這些結果與實際大氣中雙颱風相互作用的許多現象極為相似。

(六)2025 年九月中旬，在台灣附近產生三個颱風。第 17 號颱風「**米塔**」，第 18 號颱風「**樺加沙**」，第 19 號颱風「**浣熊**」。如圖 5 所示：



圖 5. 2025 年 9 月中旬的台灣附近米塔、樺加沙及浣熊三颱風同時形成預測路徑圖(氣象署)

1.2025 年 颱風米塔(MITAG)影響菲律賓(9 月)颱風**米塔(MITAG)**在菲律賓中北部掠過時，造成大雨、強風、洪水與崩塌。根據 DROMIC 報告，截至 9 月 19 日，已有近 8,200 名流離失所者、約 92,300 名受影響者、5 棟房屋被毀和 11 棟房屋受損，對台灣的影響較小，除了南部和東部迎風面有較大雨勢之外。

2. 根據中央氣象署網站，2025 年第 19 號颱風浣熊今晚增強為強烈颱風，晚間 8 時的中心位置在台北東方 3340 公里處，以每小時 19 轉 13 公里速度，向西北西轉西北進行。氣象署預報員林定宜告訴中央社記者，浣熊為今年第一個強烈颱風，因距離非常遙遠，對台灣應該是不會有影響，但後續的路徑卻非常詭異，如圖 6 所示。



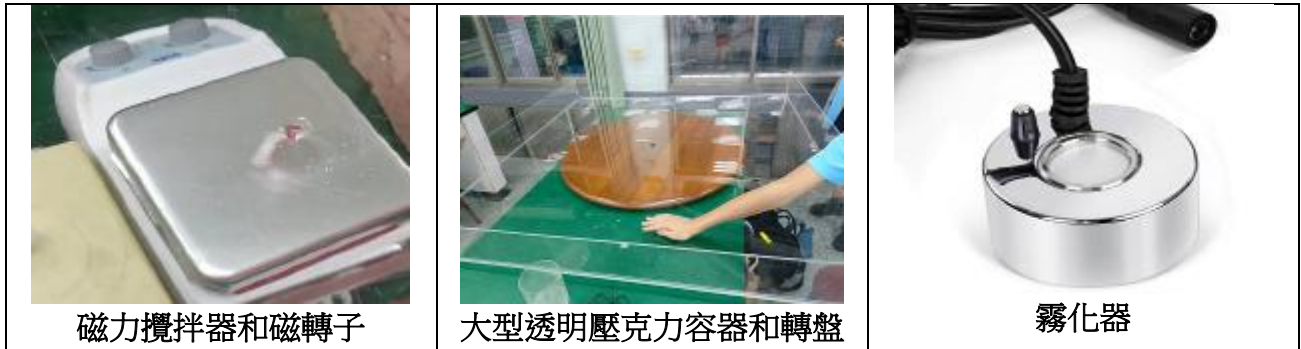
圖 6. 2025 年第 19 號颱風浣熊地行走路徑圖

3. 2025 年 9 月 22 日樺加沙颱風導致的豪大雨令南橫公路利稻至初來路段多處坍方，因累積雨量高達 1000 公釐（已達超大豪雨等級），路基遭到掏空。超大豪雨導致花蓮光復鄉馬太鞍溪堰塞湖溢流，位於下游的光復鄉被洪水淹沒，造成多人死亡、失蹤。交通部中央氣象署於 9 月 23 日晚上 8 時 30 分解除海上颱風警報，同時宣佈啟動「較大規模或較劇烈豪雨作業」。截至 10 月 8 日，堰塞湖溢流災情，已增至 19 死 157 傷 5 人失聯。截至 10 月 22 日下午 5 時，農業產物及民間設施估計損失 6 億 382 萬元。



貳、研究設備及器材

- 一、 分析資料來源：中央氣象署歷史颱風資料庫(CWA Typhoon Database)
- 二、 研究設備及器材



參、研究過程與方法

三、實驗架構(如圖 7)：

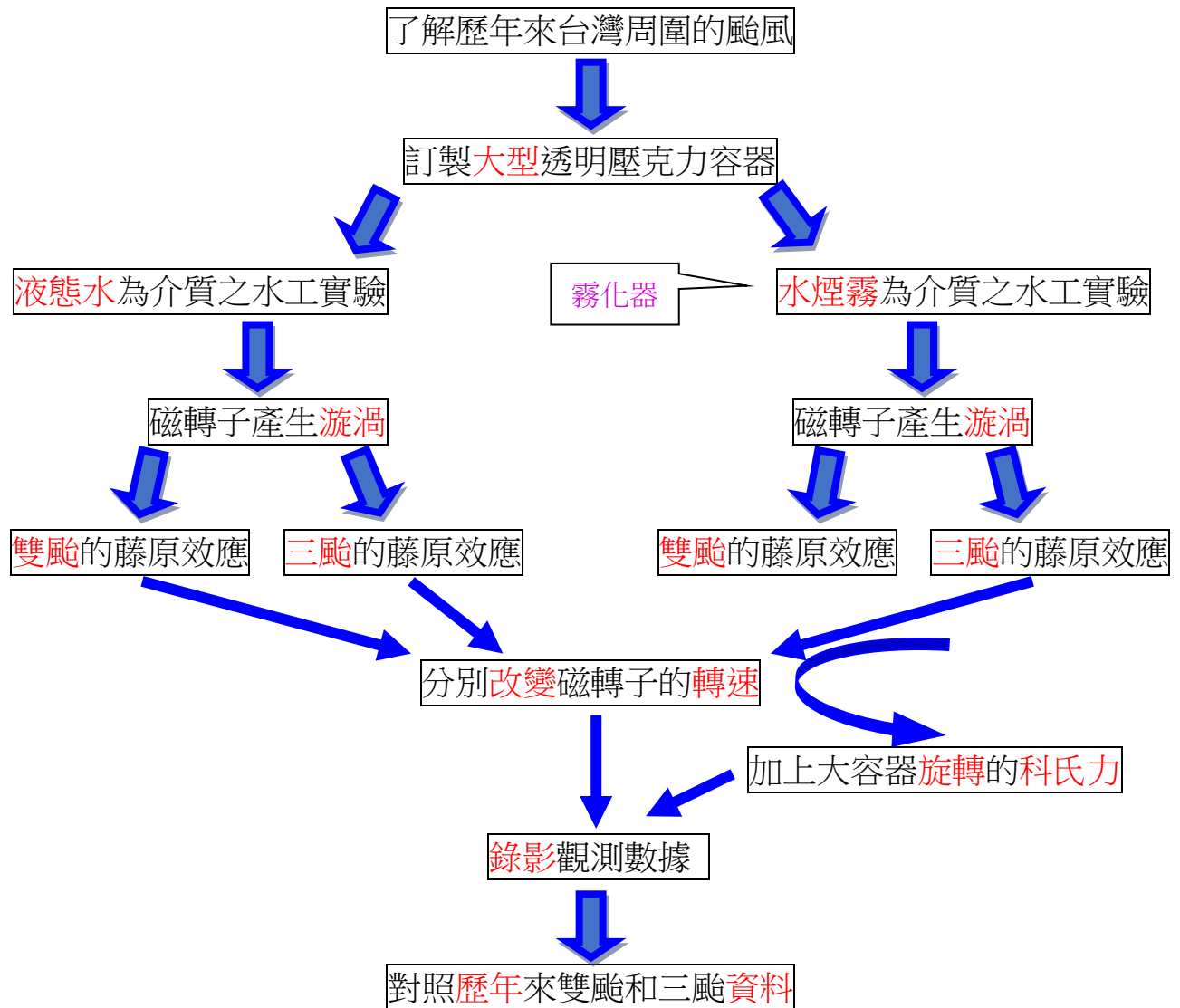


圖 7. 三颱風共舞之藤原效應研究架構圖

四、實驗步驟：

(一)相關資料的研究：

1.專有名詞的了解：

(1)**颱風的形成原因**。颱風的形成需要高溫、潮濕的熱帶海洋提供能量，並配合低壓擾動、地球自轉（科氏力）以及適當的大氣環流條件。當海水蒸發後上升，水氣在高空凝結釋放潛熱，進一步加熱空氣柱並降低氣壓，吸引更多周圍空氣流向中心，在地球自轉的影響下開始旋轉，最終發展成一個強大的低壓氣旋系統。如圖 8 所示。

(2)何謂**藤原效應**。藤原效應是指兩個接近的氣旋性渦旋（如熱帶氣旋或颱風）之間互相影響的現象，這兩個渦旋會繞著兩者連線的中心相互旋轉。這種效應有時也被稱為「雙颱風效應」。藤原效應的發生會讓颱風的路徑和強度變得更難預測，可能導致滯留、轉向，甚至其中一個颱風被另一個吸收合併。如圖 9 所示。

(3)**共伴效應**。共伴效應是指熱帶氣旋所挾帶之氣流遇上季風時產生低空輻合，形成降雨的現象，目前可被大致分為「西南季風共伴效應」及「東北季風共伴效應」。如圖 10 所示。

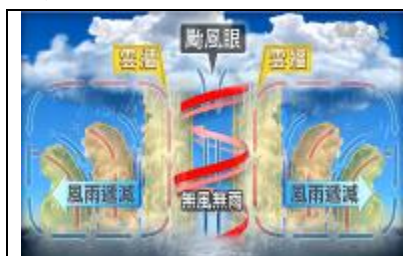


圖 8. 颱風形成的方式

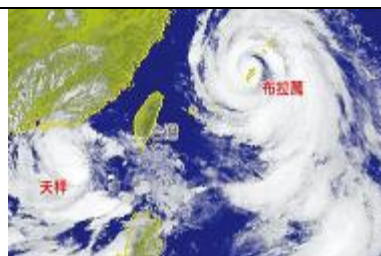


圖 9. 雙颱風的藤原效應

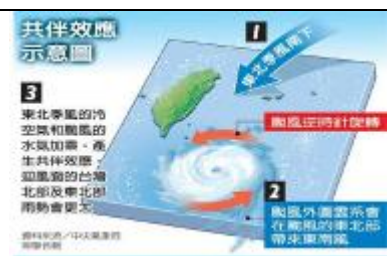


圖 10. 共伴效應示意圖

2.經過台灣附近的颱風。

(1)颱風在台灣(北半球)附近的路徑影響因素。颱風形成後，主要受太平洋(副熱帶)高壓的環流所導引，因此在太平洋上多以偏西路徑移動。當颱風到達臺灣或菲律賓附近時，常位於太平洋副熱帶高氣壓邊緣，使得導引氣流減弱，故路徑變化多端-有繼續向西進行者，有轉向偏北方向進行者，更有在原地停留或打轉者。一般而言，導引氣流明顯時，颱風的行徑較規則，否則颱風的行徑較富變化。西北太平洋颱風路徑多落於下圖所示之兩大紅色箭頭所涵蓋的範圍裡。如圖 11 所示。

(2)歷年來，台灣附近的雙颱風、三颱風資料。包括：強弱、路徑、彼此距離...等。如圖 12 所示。

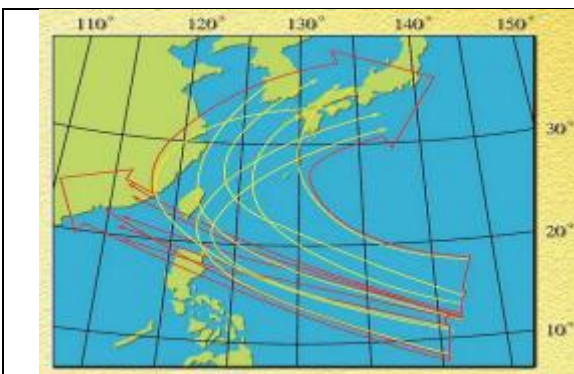


圖 11. 颱風經過台灣主要路徑模式



圖 12. 2025 年七月，台灣周圍的雙颱風

(二)訂製大型透明壓克力容器：

- 1.訂製長 150cm、寬 150cm、高 15cm 大型透明壓克力容器。
- 2.訪價，從屏東、高雄、台南，用網路調查工廠電話，然後提出我們的要求和了解價錢。
 - (1)我們一開始是希望訂製圓柱形的容器，直徑 150cm，高度 15cm。但是一直找不到可以製作這樣大型的壓克力容器，這期間就用了二週的時間。設計如下圖 13 所示。
 - (2)因為工廠的製作都是一體成形，如此就不會漏水，所以我們才會找不到廠商製作。所以我們改良了設計，將圓柱邊和底盤分開製作，然後在相連。而圓柱邊是分別做出兩個半圓形，然後在連接起來。設計如下圖 14 所示。
 - (3)為了可以讓壓克力容器在餐桌旋轉盤上穩定旋轉，一開始我們還是要求廠商製作圓柱形容器。但是南部真的找不到這樣的廠商製作，所以我們改了設計圖，改為邊長為 75cm 的正六邊形容器。後來有廠商反應說，這樣的容器邊角，不容易連接，稍微有點外力，可能會產生裂縫而漏水。然後又過了二週。設計如下圖 15 所示。
 - (4)最後，我們改為邊長 150cm 的正方形的四角柱容器，然後請廠商加固邊角的連接點。成品如下圖 16 所示。

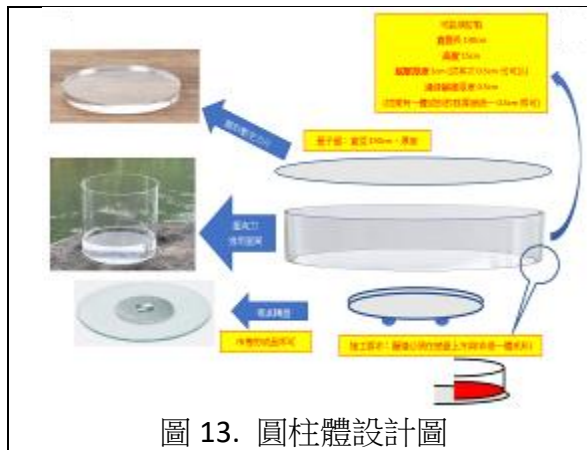


圖 13. 圓柱體設計圖

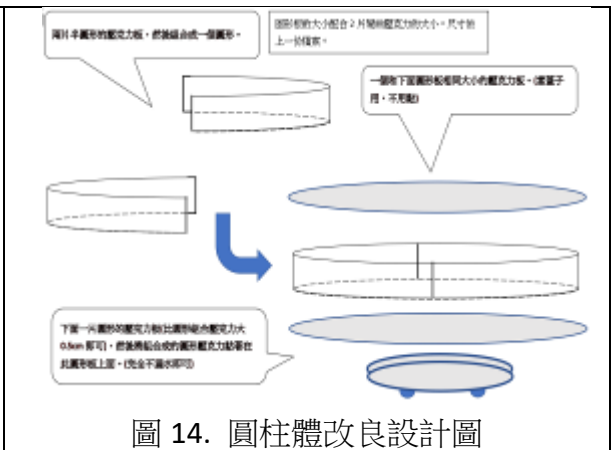


圖 14. 圓柱體改良設計圖

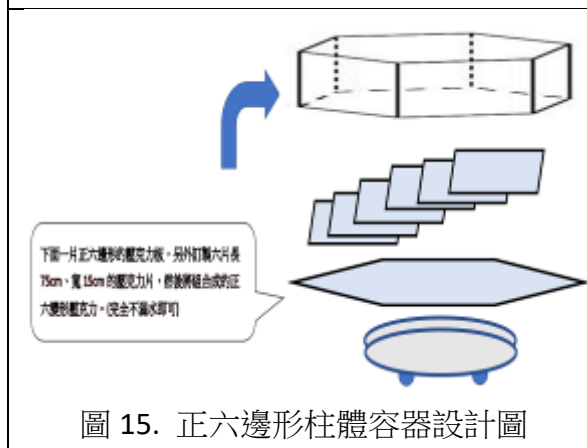


圖 15. 正六邊形柱體容器設計圖



圖 16. 訂製完成的正四方形容器

(三)以水為介質的水工實驗：以水為介質的雙渦流，觀察藤原效應。如圖 17 所示。

1.我們操作磁力攪拌器的方式為：

(1)先將磁力攪拌器放在透明壓克力的底面，然後在將磁轉子放在透明壓克力的內部。

(2)在透明壓克力容器內裝水，然後將鐵製直尺放在轉子的前面，方便隨時測量水渦流的距離變化。

(3)打開磁力攪拌器，使磁轉子轉動之後，約莫 5 秒使水流渦形成並穩定之後，將磁力攪拌器向下拿開，使磁轉子和磁力攪拌器分離，而磁轉子不再轉動。

(4)在透明壓克力的透明蓋子上方，放置一台手機，並開啟錄影，同步紀錄水流渦流的移動狀態。

2.以磁力攪拌器製造出漩渦流，然後先將磁力攪拌器的強度調整到相同，之後將磁轉子的距離逐漸縮短，一直到觀察出有水渦流的藤原效應為主。

3.將磁力攪拌器的強度調為一強一弱，然後距離逐漸縮短。然後錄影紀錄水渦流的藤原效應發生效果和距離的關係。

4.為了後續的方便操作與認知，我們將磁力攪拌器的轉速 3 定為磁轉子的轉速為「弱」，將磁力攪拌器的轉速 4 定為磁轉子的轉速為「中」，將磁力攪拌器的轉速 5 定為磁轉子的轉速為「強。」



圖 17.為以水為介質的雙渦流磁力攪拌器操作模式

(四)以水為介質之**水工實驗**，將磁力攪拌器的磁轉子在水中所產生的**三渦流**視為三颱風，然後觀察三颱風的藤原效應路徑。如圖 18 所示。

- 1.因為三颱風的位置、距離與強弱，均會影響三颱風後續的路徑。所以我們以 2025 年 9 月中旬的第 17 號颱風「**米塔**」，第 18 號颱風「**樺加沙**」，第 19 號颱風「**浣熊**」為原型，進行三颱風共「舞」的模擬探討。
- 2.在**三颱風路徑圖**的原出發點設定座標，然後將的地圖列印出來，之後再將大型的地圖貼在透明壓克力模型後面。
- 3.將依照**三颱風的轉速強弱改變**，探討三颱風在以水為介質的情況下，**受藤原效應影響下**，三颱風的路徑。

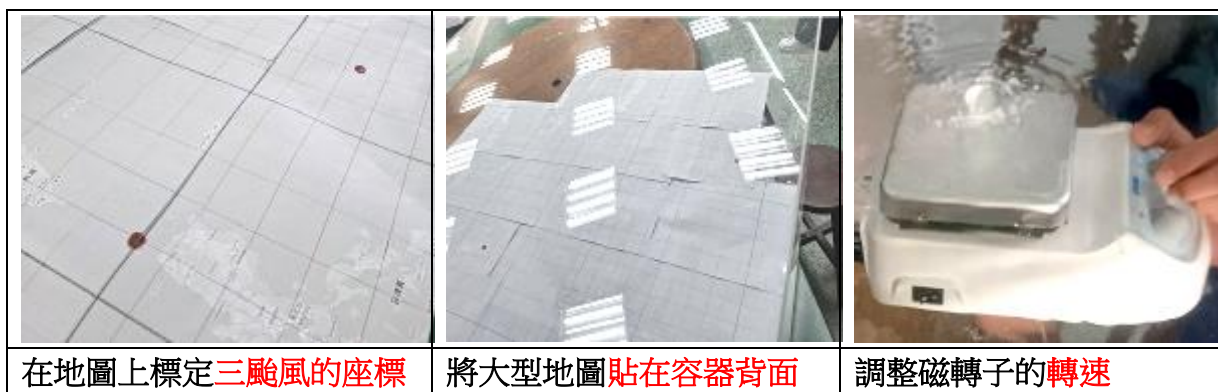


圖 18. 以水為介質的三颱風強度變化受藤原效應的路徑紀錄

(五)以**水霧**為介質的**水工實驗**：以**水霧**為介質的**雙渦流**，觀察藤原效應影響後的水霧渦流路徑。如圖 19 所示。

- 1.將低矮水槽放入大型透明壓克力容器內，然後在將霧化器放入水槽內。最後將水加滿在低矮水槽內，**啟動霧化器**，讓水霧溢出低矮水槽進入透明壓克力容器內。
- 2.事先標記好磁轉子的位置，避免水霧太濃時，找不到磁轉子啟動的位置。當水霧布滿整個透明壓克力容器時，依照原先設定好的位置和磁轉子強弱啟動。
- 3.啟動前，先在透明壓克力蓋子上面，放置一個已經開啟錄影的手機，進行水霧雙渦流的移動路徑錄影，**以觀察了解水霧渦流路徑變化走向**。

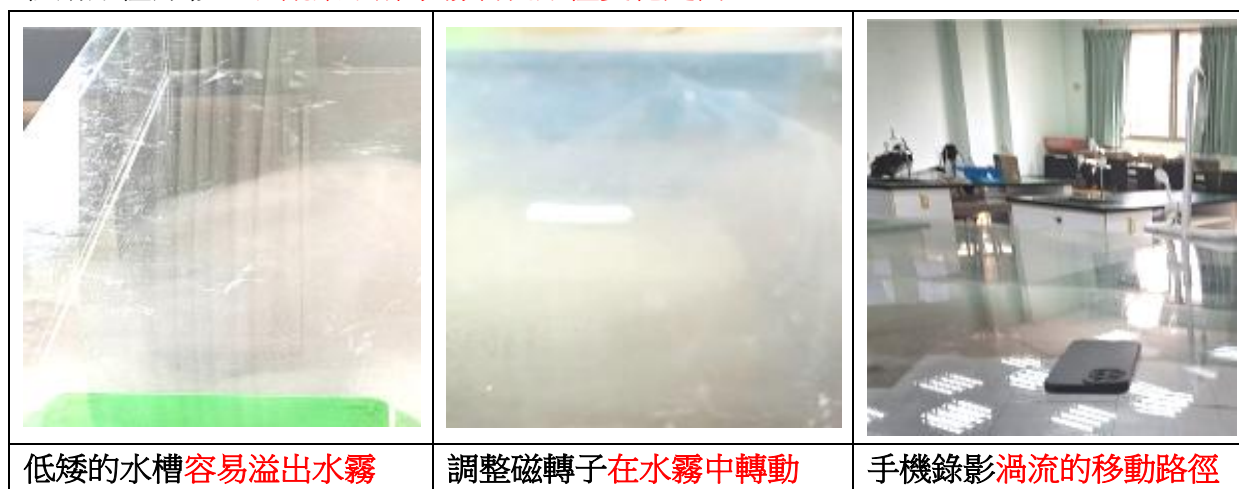


圖 19. 以**水霧**為介質的**雙渦流**磁力攪拌器操作

(六)以水霧為介質的水工實驗：以水霧為介質的雙渦流，再加上大型壓克力容器轉動所產生的科氏力，觀察藤原效應影響後的水霧渦流路徑。如圖 20 所示。

- 1.將兩個磁力攪拌器，放置在充滿水煙霧的透明壓克力容器下方，然後在透明壓克力容器內部，放上磁轉子使之被磁力攪拌器西著。設定好磁力攪拌器的強度之後，啟動磁力攪拌器 3 秒後，將透明壓克力容器轉動起來，讓透明壓克力蓋子上的手機開始錄影兩個水霧渦流的移動路徑。
- 2.將錄影的水氣渦流變化情形，在電腦上放映，然後每間格 2 秒，在方格上標示移動路徑。
- 3.調整磁力攪拌器的強度，然後持續錄影紀錄。

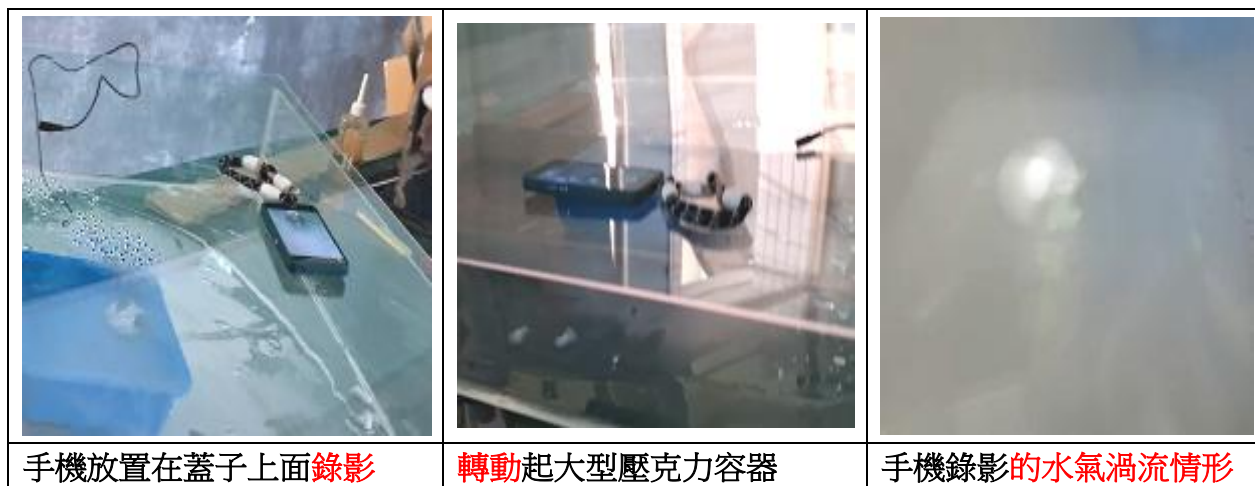


圖 20 以水霧氣在科氏力的的作用下移動的路徑錄影狀況

(七)以水霧為介質的水工實驗：以水霧為介質的三渦流，再加上大型壓克力容器轉動所產生的科氏力，觀察藤原效應影響後的水霧渦流路徑。如圖 21 所示。

- 1.將東亞地圖貼在大型透明壓克力的底部，然後標示 2025 年 9 月中旬的第 17 號颱風「米塔」、第 18 號颱風「樺加沙」及第 19 號颱風「浣熊」的位置。
- 2.壓克力容器內充滿水霧，開啟手機錄影，將三個磁力攪拌器放置在標示位置上，啟動磁轉子，拔開水霧器電源，向下拿開磁力攪拌器，轉動大型壓克力容器並計時。
- 3.觀看錄影，以每間格 2 秒方式，觀察渦流中心點在地圖上的經緯度移動情形，將其記錄在方格上，並標示移動路徑。
- 4.將磁力攪拌器的強度做不同的調整，然後持續錄影紀錄。

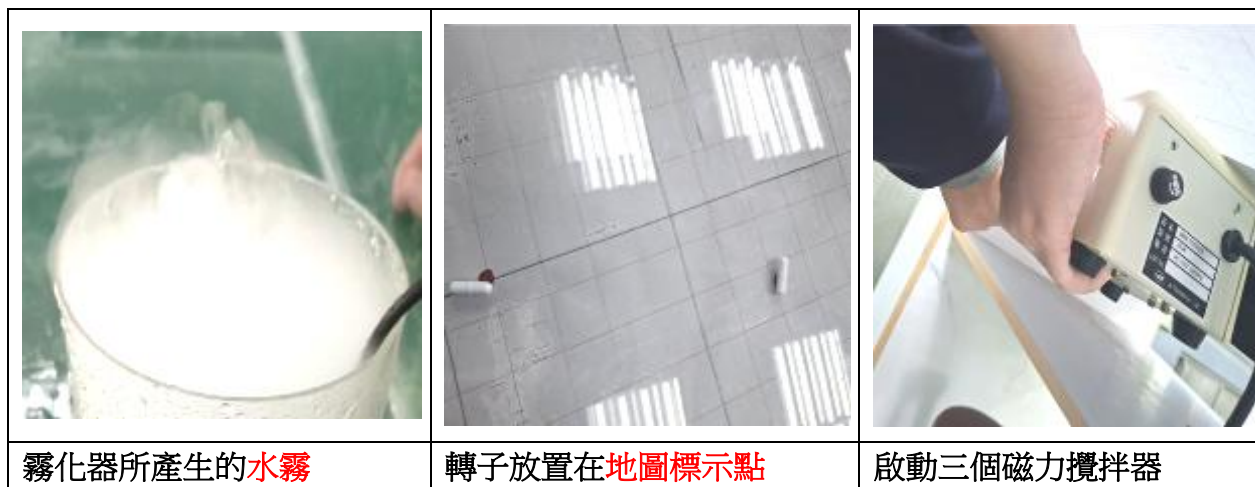


圖 21. 以水霧為介質的雙渦流操作樣態，觀察渦流中心點在地圖上的經緯度移動情形

肆、研究結果

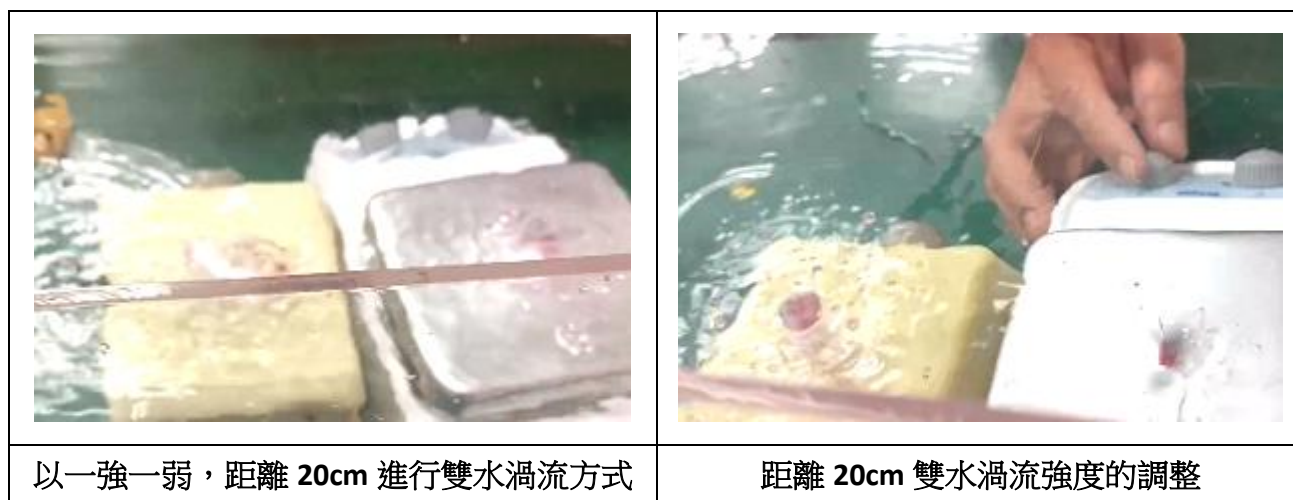
一、以水為介質的雙渦流，觀察藤原效應的紀錄。如表 1 及圖 22 所示。

表 1 觀察以水為介質所能產生藤原效應的距離結果分析

水渦流轉速	距離 (cm)	藤原 效應	距離 (cm)	藤原 效應	距離 (cm)	藤原 效應	距離 (cm)	藤原 效應	距離 (cm)	藤原 效應
一強一強	40	無	35	無	30	有	25	有	20	有
一強一弱	40	無	35	無	30	無	25	有	20	有
一弱一弱	40	無	35	無	30	無	25	無	20	有

研究結果分析

依表 1 及圖 22 所示：本研究磁力攪拌器強度，在以水為介質的情況之下，兩渦流強度均為「強」(轉速為 5)時，距離為 30 公分以內時，即可觀察到「藤原效應」的現象；在兩渦流強度為一強(轉速為 5)一弱(轉速為 3)時，距離為 25 公分以內，即可觀察到「藤原效應」的現象；在兩渦流強度均為弱(轉速為 3)時，距離為 20 公分時，才可觀察到「藤原效應」的現象。



以一強一弱，距離 20cm 進行雙水渦流方式

距離 20cm 雙水渦流強度的調整

圖 22. 觀察以水為介質所能產生藤原效應的距離實驗

三、以水霧為介質的雙渦流，觀察藤原效應的紀錄。如表 2 及圖 23 所示。

表 2. 觀察以水霧為介質所能產生藤原效應之距離結果分析

水渦流轉速	距離 (cm)	藤原 效應	距離 (cm)	藤原 效應	距離 (cm)	藤原 效應	距離 (cm)	藤原 效應	距離 (cm)	藤原 效應
一強一強	40	有	35	有	30	有	25	有	20	有
一強一弱	40	無	35	有	30	有	25	有	20	有
一弱一弱	40	無	35	無	30	有	25	有	20	有

研究結果分析

依表 2 及圖 23 所示：本研究磁力攪拌器強度，在以水霧為介質的情況之下，兩渦流強度均為「強」(轉速為 5)時，距離為 40 公分以內時，即可觀察到「藤原效應」的現象；在兩渦流強度為一強(轉速為 5)一弱(轉速為 3)時，距離為 35 公分以內，即可觀察到「藤原效應」的現象；在兩渦流強度均為弱(轉速為 3)時，距離為 30 公分時，才可觀察到「藤原效應」的現象。

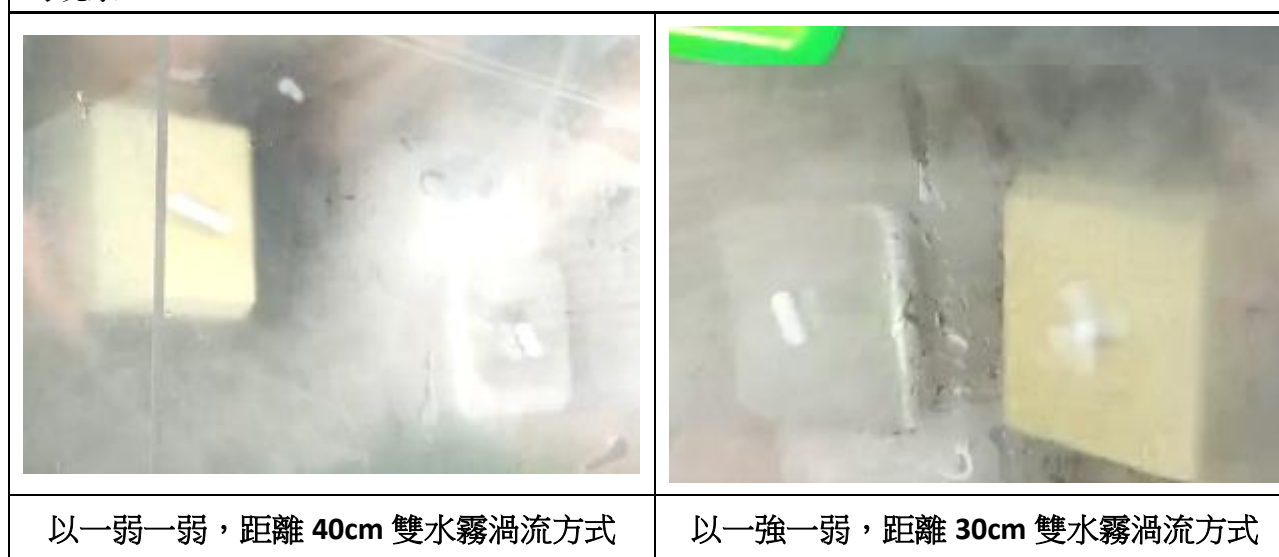
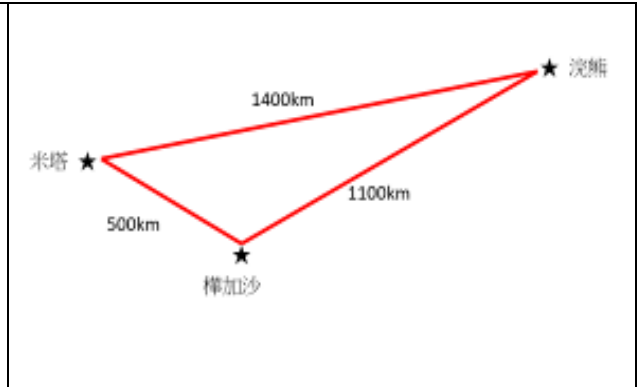


圖 23 觀察以水霧為介質所能產生藤原效應之距離實驗

三、以水為介質的三渦流，以米塔、樺加沙及浣熊等三颱風為觀察對象紀錄。如圖 24 所示。



米塔、樺加沙、浣熊三颱風相對位置關係



米塔、樺加沙、浣熊三颱風位置距離示意圖



米塔(弱)、樺加沙(強)、浣熊(弱)



米塔(弱)、樺加沙(弱)、浣熊(強)



米塔(強)、樺加沙(弱)、浣熊(弱)



米塔(強)、樺加沙(強)、浣熊(弱)



米塔(弱)、樺加沙(強)、浣熊(強)



米塔(強)、樺加沙(弱)、浣熊(強)

圖 24 為以水為介質的三渦流，觀察後的移動路徑紀錄

研究結果分析

在氣象學上，「藤原效應」應用於雙熱帶氣旋的相互作用上。一般來說，兩個熱帶氣旋相距約 12 緯距（約 1350 公里）時便可能產生相互影響。由圖 25 可推論：在以水為介質的雙渦流的實驗中，依照我們的實驗器具轉速，相距 30 公分開始有「藤原效應」。所以我們將實驗模型的地圖縮放比，1 公分為 45 公里(約 0.4 公分約緯距)。

如圖 24 在以水為介質的三渦流，以米塔、樺加沙、浣熊三颱風為觀察對象紀錄中，我們發現以下一些明顯的現象。

1. 因為米塔颱風和樺加沙颱風的距離較近，當其中一個為強轉速另一個弱轉時，則弱轉者容易被強轉者牽引。
2. 因為米塔颱風和樺加沙颱風的距離較近，兩者的藤原效應較為明顯，尤其是兩者均為強轉時，比兩者均為弱轉時來得更顯著。
3. 浣熊颱風和米塔、樺加沙颱風距離較遠，尤其是距離米塔颱風更遠。所以當浣熊颱風是強轉時，對米塔颱風的影響不大，反而是此時的弱轉樺加沙颱風對米塔颱風的影響較大。
4. 就此項實驗，我們可以做個的總結論：藤原效應的影響，首先考慮的項目是距離、在距離夠近的情況之下在考慮強度。

四、以水霧為介質的實驗：以水霧為介質的雙渦流，再加上大型壓克力容器轉動所產生的科氏力，觀察藤原效應影響後的水霧渦流路徑。以米塔、樺加沙等兩個颱風(雙颱)之相對位置為觀察對象紀錄。如圖 25 所示。

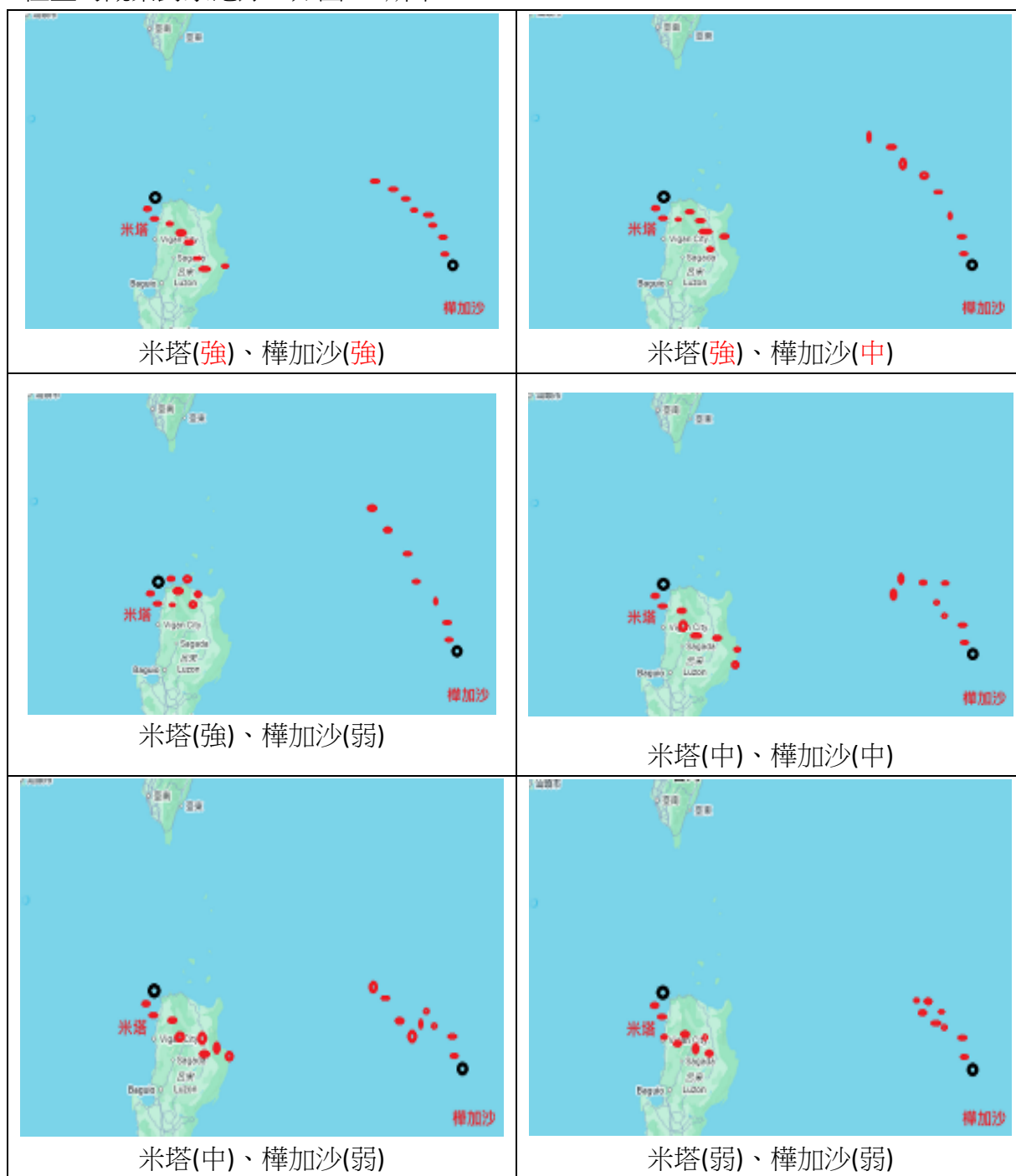


圖 25 以水霧為介質的雙渦流，加上科氏力後觀察後的移動路徑紀錄

研究結果分析

如圖 25 在以水霧為介質的雙渦流實驗中，再加上大型壓克力容器轉動所產生的科氏力，觀察藤原效應的影響後，分析水霧渦流路徑影片的結論如下：

1. 因為是以米塔颱風和樺加沙颱風的相對位置為觀察對象紀錄。所分析數據會比較沒有加入科氏力的雙颱風水霧渦流比較。
2. 在沒有科氏力的影響之下，原本米塔颱風會容易南移。但在本實驗的科氏力影響之下，米塔颱風雖然有南移，但移動弧度部不明顯，6 次的數據都是如此。可見科氏力對颱風的影響力是巨大的。
3. 在這 6 次的實驗數據中，渦流旋轉強度都是米塔颱風 $\geq$ 樺加沙颱風，所以在錄影觀測上，樺加沙颱風都是被牽引的一方，從樺加沙颱風向北移動的距離，不易看出科氏力的影響，到是容易看出北移的受米塔颱風強度的影響較為明顯。
4. 由本實驗可以做個總結論：在雙渦流氣體藤原效應實驗中，被牽引的渦流，其科氏力的表現不如藤原效應。

五、以水霧為介質的實驗：以水霧為介質的三渦流，再加上大型壓克力容器轉動所產生的科氏力，觀察藤原效應影響後的水霧渦流路徑。以米塔、樺加沙、浣熊等三颱風之相對位置為觀察對象紀錄。如圖 26 所示。

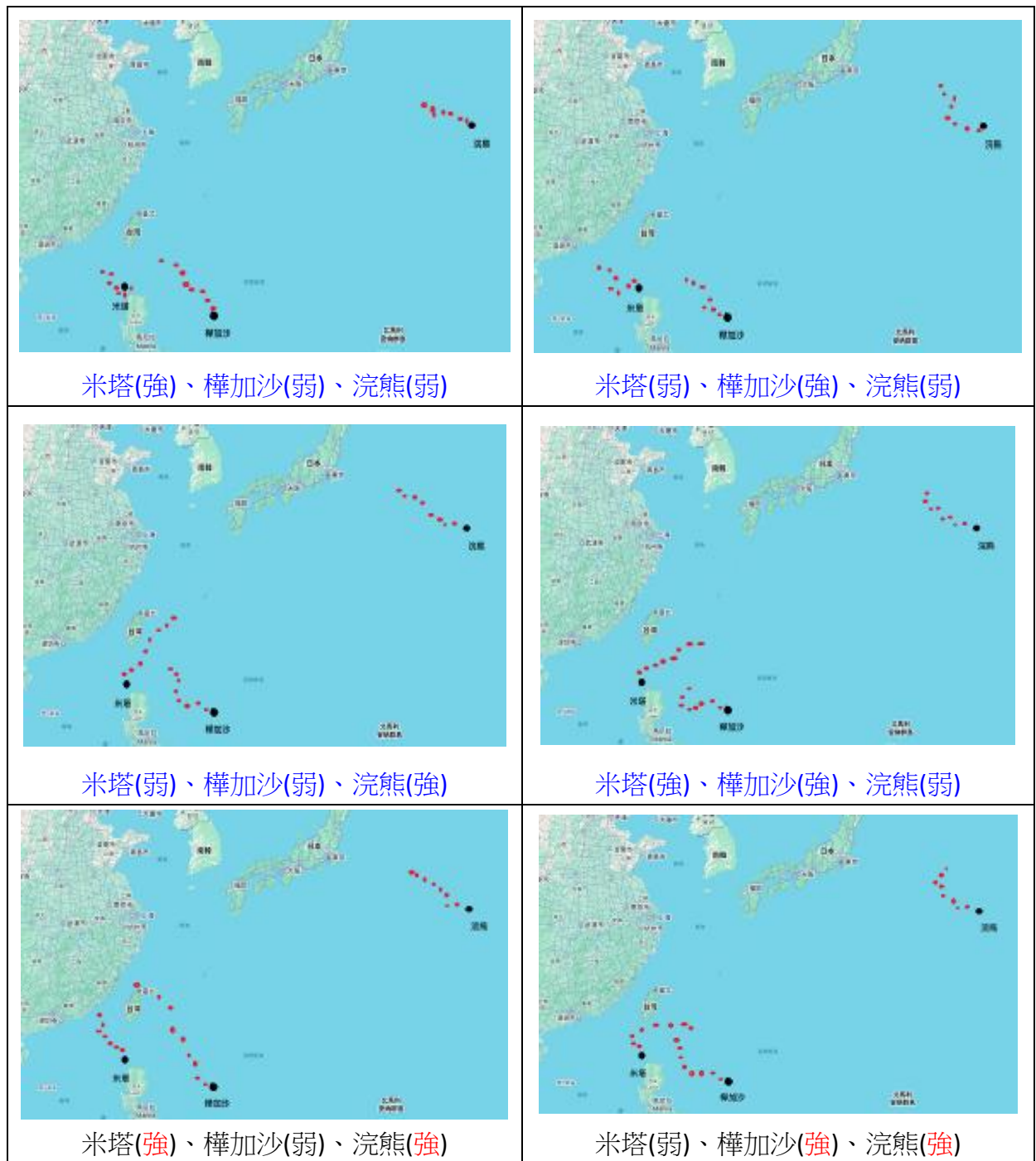


圖 26. 以水霧為介質的三渦流，加上科氏力後觀察後的移動路徑紀錄

研究結果分析

如圖 26 在以水霧為介質的三渦流實驗中，再加上大型壓克力容器轉動所產生的科氏力，觀察藤原效應影響後的水霧渦流路徑。以米塔、樺加沙、浣熊三颱風的相對位置作為觀察對象路徑錄影紀錄，我們作了以下幾項結論：

1. 三颱風的相互影響，在路徑上的表現，可以明顯的看出，以水霧為介質的實驗中，三颱風的相互影響，在同距離之下大於以水為介質的實驗。
2. 若浣熊颱風為強轉，米塔颱風、樺加沙颱風均為弱轉時，浣熊可以共伴科氏力，讓米塔颱風、樺加沙颱風北移的距離變大。比較上一個實驗，在沒有科氏力的影響下，米塔颱風、樺加沙颱風北移的距離就沒有那麼大。
3. 距離較近的米塔颱風、樺加沙颱風，兩者之間的影響還是較為明顯，畢竟距離近。但是在科氏力的影響之下，樺加沙颱風北移的距離，明顯還是比米塔颱風大。

伍、討論

一、研究限制：

- (一)科氏力的產生，畢竟是球形地球所產生的，每個經緯度所產生的重力，都是指向圓心，所以在設計上我們只能考慮平面式旋轉設計。為了使科氏力更容易產生、更符合實際的大小，所以我們必須訂製大型壓克力容器。因為壓克力容器若太小，則漩渦的大小就很接近容器的大小，那會使科氏力的誤差太大。
- (二)我們所使用的大型壓克力容器，長 150cm、寬 150cm、高度 15cm、厚度 0.5cm。為了使大型壓克力容器可以旋轉，產生科氏力，我們在大型壓克力容器底部放置一個直徑 70cm 的餐桌旋轉盤，如此便可以使餐桌旋轉盤轉動，順利觀察到水煙霧受到科氏力影響所產生的藤原效應。但若將容器裝水，則會使大型壓克力容器，因為水的重量而變形，可能會使大型壓克力容器毀損。所以在測量科氏力影響時，我們只能測量水煙霧的部分，無法測量液態水的部分。
- (三)因為磁力攪拌器本身的體積大小，所以我們在測量渦流的距離時，最近的距離，我們只能定為 20 公分而已。
- (四)磁力攪拌器的轉速有 1 到 5。若是我們每個強度都要討論，那我們在有限的時間內，可能會無法將研究做完。因為我們主要的研究重點是放在三渦流的相互作用關係，距離和強度一樣都很重要。所以我們只能將渦流轉速的 5 定義為強，渦流轉速的 3 定義為弱。然後重點放在三渦流之間的距離和位置，當然轉速依然有分強弱來分別，只是無法細分到 1 至 5 級來紀錄和討論。
- (五)在轉動大型透明壓克力容器時，因為步驟繁瑣，又必須一氣呵成，所以我們必須做到以下一些前置作業和變通的方法：如圖 27 所示。
- 1.因為大型壓克力的長寬均為 150cm，而餐桌轉盤直徑長度為 90cm，所以只依靠壓克力本身中央的支撐力。如果加水，會因為重量過重，導致壓克力連接處撕裂。所以我們只做水霧氣的雙颱風科氏力參數和水霧氣的三颱風科氏力參數。
 - 2.因為大型壓克力轉動時，會扯到電線。所以我們的操作是：先將霧化器的插座拔開，然後放置在壓克力的蓋子上，之後馬上將磁力攪拌器向下拿離透明壓克力容器的底部，之隨即將大型透明壓克力容器轉動起來，此同時計時轉動一圈的時間，用以計算科氏力的轉速影響。

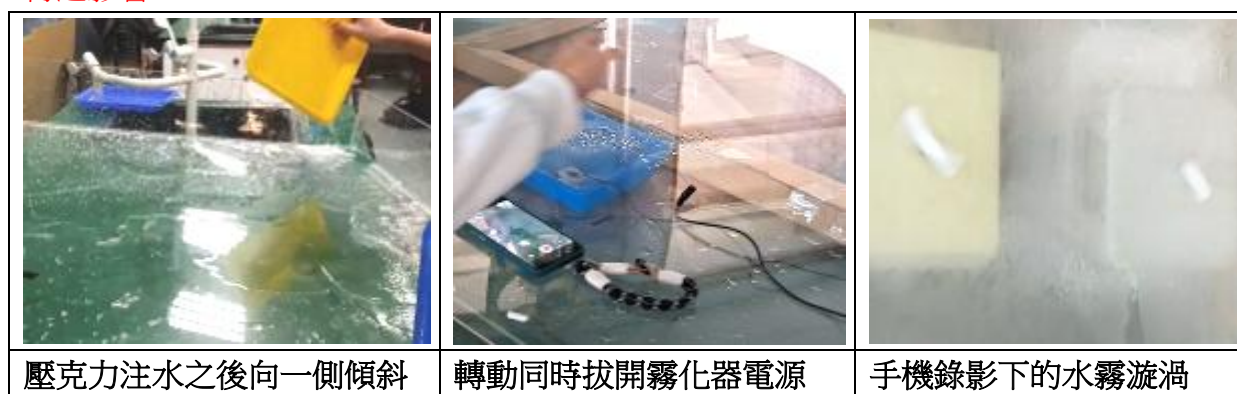


圖 27 大型透明壓克力容器轉動時的操作狀態

二、研究結果討論：

(一)是否再訂製一個直徑 150 公分的餐桌旋轉盤？

答案是否定的。因為經費不夠！三個磁力攪拌器、大型壓克力容器、餐桌旋轉盤、霧化器...等，就已經遠遠超支了二萬多元的。若還要再訂製一個大型餐桌旋轉盤，經過訪價，還要多花一萬多元。只能說，必須取捨犧牲進行液態水的科氏力實驗，而且我們主要的議題**聚焦在大氣的颱風，液態水的藤原效應是用來做對照組的。**

(二)為了讓水霧可以容易布滿整個透明壓克力容器，**我們經過討論之後，作了以下幾項改良：**

- 1.霧化器放在低矮的小水槽內，水槽內的水要加到最滿→如此霧化器所產生的水霧，就容易溢出低矮小水槽，進入透明壓克力容器中。
- 2.為了讓透明壓克力容器內的水霧可以持續的時間變長，**我們在水中加入 5%的甘油，用意增加水霧的保濕性。**

(三)颱風的行走路徑，所影響的因素非常的多。包括**周圍高低氣壓的位置與強度、地形、海溫、季風的風向與強弱...**等。參考歷屆的科展與相關研究，都是以水力模型為單一操作變因來做研究。我們在經過討論之後，決定做更進一步的探討和實驗研究。以下是我們討論的結果和實際操作方式的步驟：

- 1.將水力颱風模型，改為實際**空氣的渦流**模型。為了可以觀察到空氣，我們使用霧化器產生水霧氣。
- 2.將**科氏力**納入變因之一。為了產生科氏力，訂做一個長寬均為 150cm 的巨型透明壓克力容器，為了讓容器可以旋轉產生科氏力，在容器底座再加裝一個餐桌旋轉盤。
- 3.為了可以實際觀察台灣附近的颱風路徑，**將縮小比例的東亞地圖，貼在透明壓克力容器的背面。**
- 4.為了實際紀錄渦流的移動路徑，我們**採用錄影模式，然後觀察影片，每隔 2 秒，將渦流中心的位置標示在地圖上。**

(四)為了控制科氏力的大小，降低誤差率，我們固定同一人轉動大型透明壓克力容器，也同一人計時轉動一圈大型透明壓克力容器的時間，是否控制在 **7~9 秒**之間(我們預定的時間是 8 秒)。若容器轉動的時間沒有在 **7~9 秒**之間，**則此數據不以採納，重新再做一次。**

(五)研究時間相當耗時：原本我們想做更多的三颱風數據分析，但啟動一次實驗，收集一組可參考的錄影數據，二節課 90 分鐘的社團時間內，最多我們可以收集 2~3 組數據，甚至只有 1 組數據。如果再加上後續的數據分析和後製，受限於科展報名時間在即，無法有充裕時間再探究分析(2025)七月中旬的第 7 號颱風「**范斯高**」，第 8 號颱風「**竹節草**」，第 9 號颱風「**柯羅莎**」。經過討論之後，我們決定只進行 2025 年九月中旬的第 17 號颱風「**米塔**」，第 18 號颱風「**樺加沙**」，第 19 號颱風「**浣熊**」三颱風的路徑受「藤原效應」影響的動態變化分析。

陸、結論

- 一、依本研究磁力攪拌器強度，在以**水為介質**的情況之下，兩渦流強度均為「強」(轉速為 5)時，距離為 30 公分以內時，即可觀察到「藤原效應」的現象；在兩渦流強度為一強(轉速為 5)一弱(轉速為 3)時，距離為 25 公分以內，即可觀察到「藤原效應」的現象；在兩渦流強度均為弱(轉速為 3)時，距離為 20 公分時，才可觀察到「藤原效應」的現象。
- 二、在氣象學上，「藤原效應」應用於雙熱帶氣旋的相互作用上。一般來說，兩個熱帶氣旋相距約 12 緯距(約 1350 公里)時便可能產生相互影響。在以**水為介質**的**雙渦流**的實驗中，依照我們的實驗器具轉速，相距 30 公分開始有「藤原效應」。所以我們將實驗模型的地圖縮放比，1 公分為 45 公里(約 0.4 公分約緯距)。
- 三、在氣象學上，「藤原效應」應用於雙熱帶氣旋的相互作用上。一般來說，兩個熱帶氣旋相距約 12 緯距(約 1350 公里)時便可能產生相互影響。在以**水霧為介質**的**雙渦流**的實驗中，依照我們的實驗器具轉速，相距 40 公分開始有「藤原效應」。所以我們將實驗模型的地圖縮放比，1 公分為 33.75 公里(約 1 公分約 0.3 緯距)。
- 四、在沒有科氏力的情況之下，以**水為介質**和以**水霧為介質**的藤原效應表現，有以下的一些差異：
 1. 表現出藤原效應現象的距離，很明顯的氣體的表現距離比水更長。也就是氣體所表現的藤原效應比水為介質的表現更敏感。但我們的研究是以 5 公分為一個縮短單位，所以在距離上會有一些觀察上的誤差。
 2. 在藤原效應現象的表現時間上，介質為水霧的這一組，當磁轉子停止轉動時，**很快**就可以看到藤原效應現象的表現出來，但持續的時間也**較短**。
 3. 從錄影的紀錄來看，藤原效應現象的表現距離，以水為介質這一組，移動的距離較長。這可能和它作用的時間較長有關。
 4. 渦流中心的觀察，以水霧為介質的實驗，在觀察上較不明顯，不像水渦流的中心來的容易標定。所以在紀錄上，水霧渦流的中心點標定，較容易產生誤差。
- 五、在以**水為介質**的**三渦流**，以米塔、樺加沙、浣熊三颱風為觀察對象紀錄中，我們發現以下一些明顯的現象。
 1. 因為米塔颱風和樺加沙颱風的距離較近，當其中一個為強轉速另一個弱轉時，則弱轉者容易被強轉者**牽引**。
 2. 因為米塔颱風和樺加沙颱風的距離較近，兩者的藤原效應較為明顯，尤其是兩者均為強轉時，比兩者均為弱轉時來得更顯著。
 3. 浣熊颱風和米塔、樺加沙颱風**距離較遠**，尤其是距離米塔颱風更遠。所以當浣熊颱風是強轉時，對米塔颱風的影響不大，反而是此時的弱轉樺加沙颱風對米塔颱風的影響較大。
 4. 就此項實驗，我們可以做個的**總結論**：藤原效應的影響，首先考慮的項目是**距離**、在距離夠近的情況之下在考慮強度。

六、在以水霧為介質的雙渦流實驗中，再加上大型壓克力容器轉動所產生的科氏力，觀察藤原效應的影響後，分析水霧渦流路徑影片的結論如下：

1. 因為是以米塔颱風和樺加沙颱風的相對位置為觀察對象紀錄。所分析數據會比較沒有加入科氏力的雙颱風水霧渦流比較。
2. 在沒有科氏力的影響之下，原本米塔颱風會容易南移。但在本實驗的科氏力影響之下，米塔颱風雖然有南移，但移動弧度部不明顯，6 次的數據都是如此。可見科氏力對颱風的影響力是巨大的。
3. 在這 6 次的實驗數據中，渦流旋轉強度都是米塔颱風 $\geq$ 樺加沙颱風，所以在錄影觀測上，樺加沙颱風都是被牽引的一方，從樺加沙颱風向北移動的距離，不易看出科氏力的影響，倒是容易看出北移的受米塔颱風強度的影響較為明顯。
4. 由本實驗可以做個總結論：在雙渦流氣體藤原效應實驗中，被牽引的渦流，其科氏力的表現不如藤原效應。

七、在以水霧為介質的三渦流實驗中，再加上大型壓克力容器轉動所產生的科氏力，觀察藤原效應影響後的水霧渦流路徑。以米塔、樺加沙、浣熊三颱風的相對位置作為觀察對象路徑錄影紀錄，我們作了以下幾項結論：

1. 三颱風的相互影響，在路徑上的表現，可以明顯的看出，以水霧為介質的實驗中，三颱風的相互影響，在同距離之下大於以水為介質的實驗。
2. 若浣熊颱風為強轉，米塔颱風、樺加沙颱風均為弱轉時，浣熊可以共伴科氏力，讓米塔颱風、樺加沙颱風北移的距離變大。比較上一個實驗，在沒有科氏力的影響下，米塔颱風、樺加沙颱風北移的距離就沒有那麼大。
3. 距離較近的米塔颱風、樺加沙颱風，兩者之間的影響還是較為明顯，畢竟距離近。但是在科氏力的影響之下，樺加沙颱風北移的距離，明顯還是比米塔颱風大。
4. 由本實驗可以得到以下總結論：
 - (1) 水霧氣為介質的影響，明顯大於水為介質的影響。
 - (2) 有科氏力的共伴效應，「北移的颱風」移動距離會變大。
 - (3) 弱轉速渦流，容易受強轉速渦流牽引。但距離太遠，則效果就不明顯，本實驗是以水霧氣為介質，所以效果還是可以明顯看出的。

未來展望

- 一、本次參與比賽後，仍會持續再探究分析(2025)七月中旬的第 7 號颱風「范斯高」，第 8 號颱風「竹節草」，第 9 號颱風「柯羅莎」等三颱風之共伴藤原效應，並進行模擬實，並比較與本次 2025 年九月中旬的第 17 號颱風「米塔」，第 18 號颱風「樺加沙」，第 19 號颱風「浣熊」三颱風的路徑受「藤原效應」影響的動態變化分析，並將兩次不同時間三颱風引發之藤原效應間是否存在許多共通點或者許多歧異度。
- 二、仍持續改良藤原效應與科氏力是否有更佳的實驗材料，共同製作組合出更理想之模擬實驗，相信對來為了解藤原效應之發展及可能預期之風災引分之災損或者人員安全性，提供更可靠之研判，相信會是一大貢獻。

柒、參考資料及其他

- 一、翰林出版社，自然科學第六冊，第 3 章-變化莫測的天氣。
- 二、南一書局，自然科學第六冊，第 3 章-複雜多變的天氣。
- 三、龍騰出版社，基礎地球科學(上)，第 4 章-大氣和海洋的變動。第 6 章-天然災害。
- 四、龍騰出版社，基礎地球科學(下)，第 3 章-多變的天氣。
- 五、2011/51 屆，高中組，地球科學科。主題：**曖昧不明的三角關係—由三颱探討藤原效應**（楊雅淳 等，2011）
- 六、2018/58 屆，高中組，地球與行星科學科。主題：**風度「偏偏」—分析颱風風場的不對稱性及實驗模擬**（莊詠軒 等，2018）
- 七、2018/58 屆，高中組，地球與行星科學科。主題：**Co-movement！秋颱共伴效應之深入探討**（蕭柏智等，2018）
- 八、2022/62 屆，高中組，地球與行星科學科。主題：**各種控制因子對雙漩渦互動的影響**（張浩昀 等，2022）
- 九、2024/64 屆，國中組，地球科學科。**雙「風」對決，勢「伴」功倍—探討季風對颱風風場之影響與模擬**（林伯羽 等，2024）
- 十、**科氏力**，維基百科，取自：
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%A7%91%E9%87%8C%E5%A5%A5%E5%88%A9%E5%8A%9B>
- 十一、**氣旋**，維基百科，
取自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B0%94%E6%97%8B>
- 十二、**藤原效應**，維基百科，
取自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%97%A4%E5%8E%9F%E6%95%88%E6%87%89>
- 十三、YouTube 影片，颱風 TFMC，2018~2022 年所有發生**"藤原效應"**的颱風！
取自：<https://www.youtube.com/watch?v=sOuRxXz448M>
- 十四、YouTube 影片，民視新聞網，**三颱繞台** 恐出現「藤原」+「藤原」。
取自：<https://www.youtube.com/watch?v=vEFZOUFY2ME>
- 十五、YouTube 影片，TVBS NEWS 科學不一樣，地球「**科氏力**」影響飛航線，水槽漩渦影響小。取自：<https://www.youtube.com/watch?v=tB3MPFyvBVU>
- 十六、YouTube 影片，大愛電視台，**TRY 科學 | 颱風形成的原因！**
取自：
<https://www.facebook.com/Science.daai/videos/try%E7%A7%91%E5%AD%B8%E9%A2%B1%E9%A2%A8%E5%BD%A2%E6%88%90%E7%9A%84%E5%8E%9F%E5%9B%A0/782594645831489/>
- 十七、王玉清 等，(1989) 上海颱風研究所，**雙渦藤原效應的數值模擬研究**。
取自：<https://qikan.camscma.cn/jamsweb/article/id/19890102>
- 十八、李憲之，(1956) 氣象學報，北大，**颱風生成的綜合學說**。
取自：http://qxxb.ijournals.cn/qxxb_cn/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=19560202