

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 地球與行星科學科

第三名

051901

一甲子風雲

學校名稱：裕德學校財團法人新北市裕德高級中等學
校

作者： 高一 楊以安 高一 簡宏旻 高一 黃宣穎	指導老師： 簡寶貴
---	------------------

關鍵詞： 全球暖化、颱風

一甲子風雲

摘要

全球暖化正威脅著人類生存的環境，西北太平洋海域的颱風60年來似乎也發生一些變化，我們分析1961-2020年有關颱風的各種資料，發現各種結果與專家的預測不盡相同；全球暖化、大氣海洋升溫造成太平洋副熱帶高壓勢力擴張，使得颱風生成數量減少、颱風生成位置偏移並影響颱風路徑與登陸地點；而且強颱風數量減少、颱風生命週期變短也使颱風破壞潛力變弱；大氣暖化升溫對颱風的負面影響超越海洋升溫對颱風的正回饋。但近年來超級強烈颱風的機率卻增加，當超強颱風過後海水會降溫、不利颱風再生成使颱風數量再減少。

壹、前言

自從 2020 年沒有颱風登陸台灣以來，氣象報導特別關注每一個颱風生成後的路徑，希望颱風能帶來雨水讓水庫進帳，同時又怕它帶來災害要大家小心防災，大眾似乎更關心颱風的生成與動向了。另一方面，全球各地極端氣候頻傳，熱浪、暴雪、水災、乾旱、森林大火等佔據各大新聞版面，似乎將這一切歸因於全球暖化。各種資料顯示全球暖化正威脅著人類生存的環境，而位在西北太平洋海域的台灣，颱風對我們至關重要，所以我們想深入探討全球暖化對西北太平洋海域的颱風產生什麼樣的影響。

探討目的如下：

- 一、近 60 年來全球暖化的狀況
- 二、西北太平洋海域颱風生成數量的變化
- 三、颱風形成地點變化
- 四、颱風消亡地點變化
- 五、颱風強度與近中心最強風速變化
- 六、颱風生命期變化
- 七、侵台颱風數量變化
- 八、颱風破壞潛力值變化

專家學者研究結果整理如下：

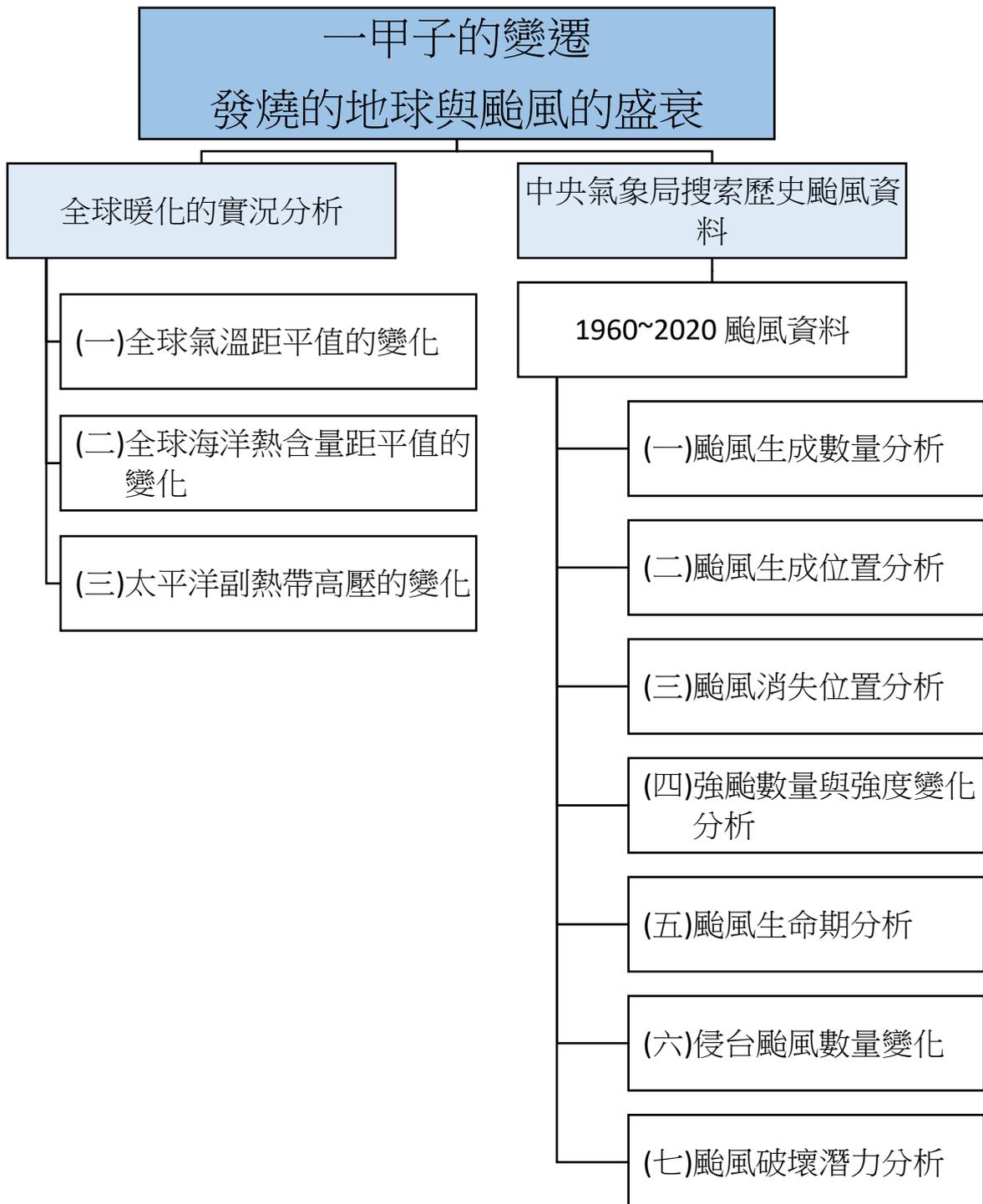
研究者	發表年分 研究海域	內容摘要	資料來源
Emanuel, K. A.	2005 北大西洋 北太平洋	伊曼紐證明，1970 年之後全球氣旋強度與生命期顯著增加，與海溫增加有關。定義熱帶氣旋破壞潛力的參數，未來全球暖化可能會導致熱帶氣旋破壞潛力的上升趨勢。 (分析 30 年資料)	Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years
Webster, P. J., Holland, G. J., Curry, J. A., Chang, H. R.	2005 北太平洋 南太平洋 北大西洋 印度洋	海溫增加使得過去 35 年的熱帶氣旋、氣旋天數及氣旋強度達到 4 類和 5 類颶風的數量和比例大幅增加。增幅最大的是北太平洋、印度洋和西南太平洋，增幅最小的是北大西洋。但過去十年中，除北大西洋外，其餘的氣旋和氣旋天數都減少了。 (分析 35 年資料)	Science Vol309 pp. 1844-1846
Trenberth, K. E.	2007 大西洋	當地球變得更暖，颱風也會變得更強。不過很難預測颱風的數量會不會因此上升，因為熱帶風暴從海洋裡汲取熱量的效率，比一般雷雨風暴更高；所以熱帶氣旋的數目有可能變少，但一旦形成，規模會更強大。大型風暴過後，海洋變得比較冷，會暫時減少更多新風暴生成。 (分析 1994-2007)	科學人 2007. 08 P. 83-89
Lin, H., Chan, J.	2015 西北太平洋	在全球暖化之下，西北太平洋的颱風破壞潛力降低了15%，即雖然在全球暖化之下，颱風強度略為增加，但是颱風的生命期及颱風個數更顯著的減少，使其負貢獻遠大於颱風強度增加的正貢獻，因此在西北太平洋的破壞潛力於全球暖化情境下降低了15%。 (分析 20 年資料)	自然通訊 2015. 05. 20
陳信印	2021 西北太平洋	當颱風擁有較大的暴風半徑、較慢的移動速度以及較冷的海水次表面條件，會使海水出現較強的冷卻，其海水冷卻的幅度與颱風大小成正比。 (分析 38 年資料)	碩論 2021
鄭兆尊， 林思穎， 簡毓瑋， 王俊寓	2024 太平洋	世紀中(2040 - 2059)的氣候統計值與全球暖化 2°C 的結果相似，世紀末(2080 - 2099)與全球暖化 4°C 的結果相似，在未來中、長期(世紀中、世紀末)颱風個數減少約 10%、 50%；強颱出現的頻率增加約 105%、 60%。世紀末甚至有近 1/6 的年分沒有颱風造訪台灣。	NCDR 112-T24 不同氣候變遷時期下之臺灣颱風推估差異分析 2024

貳、研究器材

電腦 平板

參、研究過程

一、研究架構



二、全球暖化的實況分析：

(一)全球氣溫距平值的變化，如圖 1：

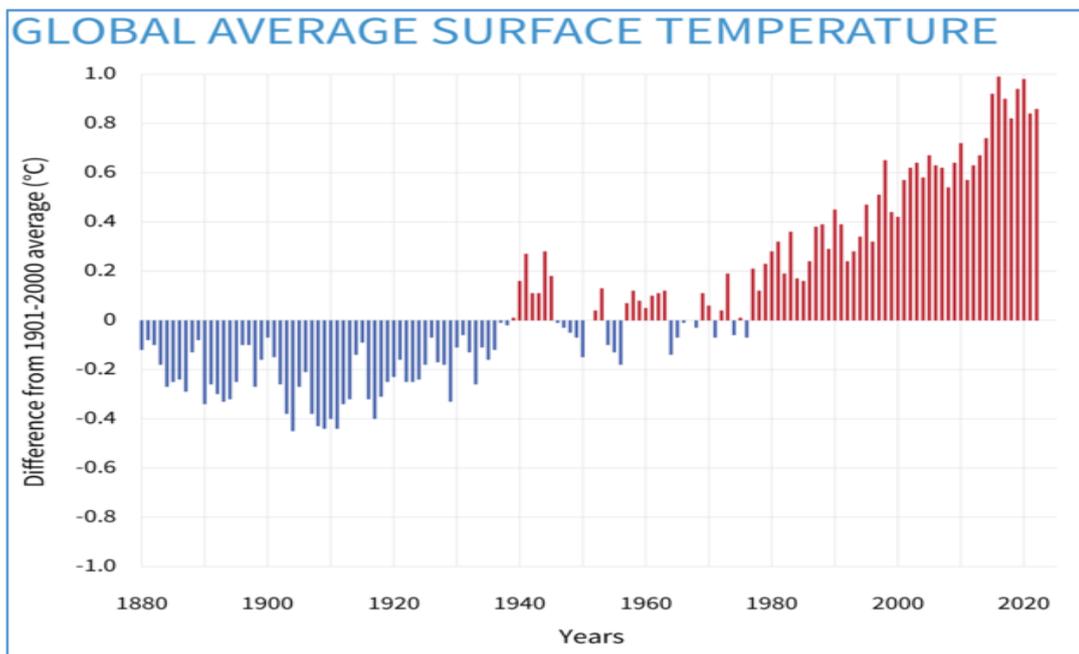


圖 1：1880 至 2022 年全球每年氣溫與二十世紀平均氣溫的比較。圖片取自：NOAA 2023

1. 圖 1，可以明確看出自1880年以來全球氣溫逐漸上升的事實。
2. 自1880年以來，全球平均地表溫度每十年上升 0.078°C ；而自1981年以來，變暖速度則增加了一倍多(資料來自NOAA 2023)。

(二)全球海洋熱含量距平值的變化:

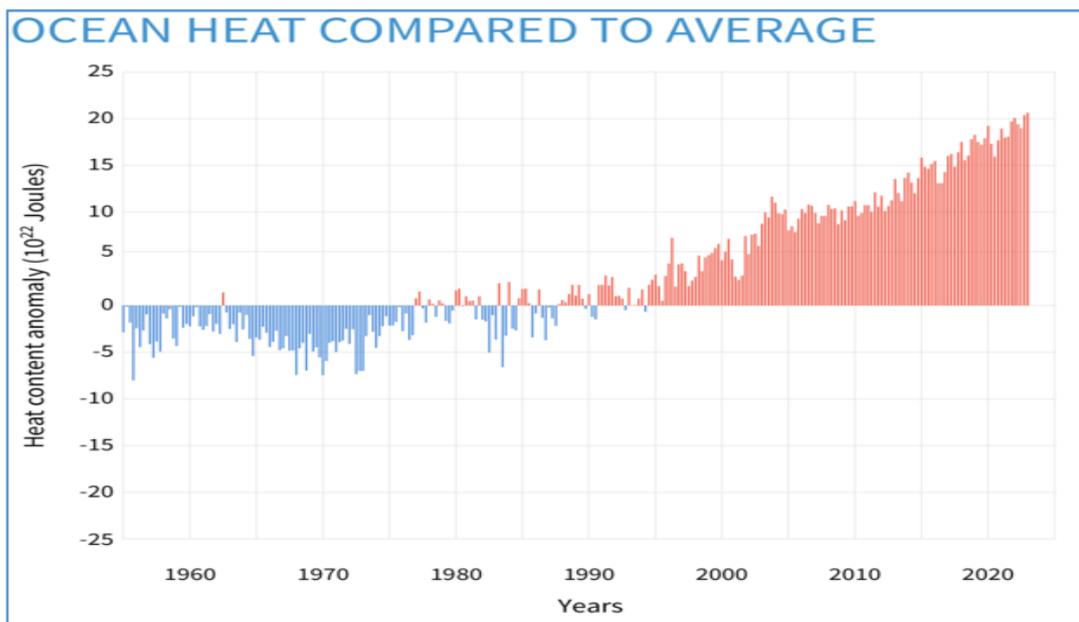


圖 2：每年海洋熱含量與 1955- 2006 年平均值的比較。圖片取自：NOAA 2023

1. 圖 2，可以看到受暖化影響全球海洋熱含量自1955年以來逐漸上升的趨勢。
2. 海洋熱含量是指海洋吸收和儲存的熱能。為了計算海洋熱含量，需要測量各地海洋不同位置和深度的溫度，並積分整個海洋的熱量面密度而得出海洋總熱量。
(圖取自NOAA 2023，並非我們求得結果。)

(三)太平洋副熱帶高壓的變化:

1.夏季太平洋高壓勢力範圍變化

影響西北太平洋颱風生成與路徑最主要的因素，首推太平洋副熱帶高壓的變化，我們從中央氣象署取得夏季500百帕重力位高度場5870線的平均位置圖，即可看出自1951-2020年，每10年夏季太平洋高壓勢力範圍變化情形，如圖 3。

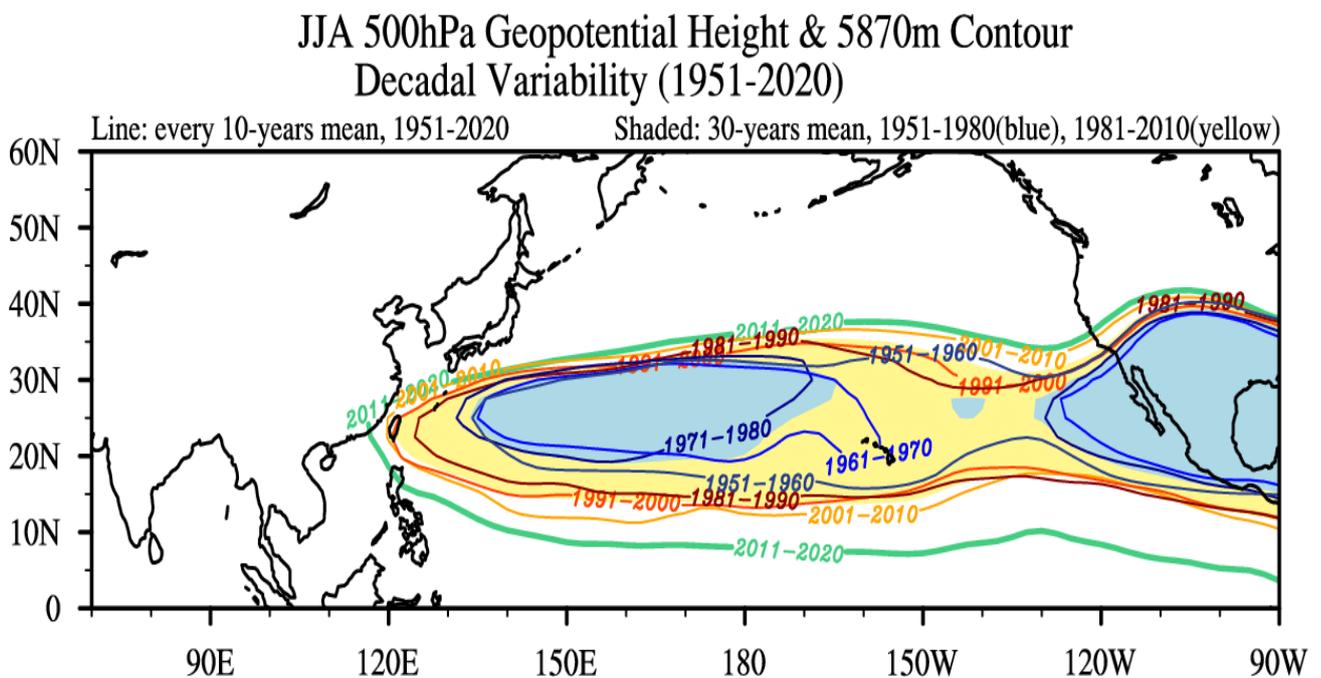


圖 3：夏季 500 百帕重力位高度場 5870 線的平均位置(代表太平洋高壓勢力範圍)，不同的數字代表不同的年代(10 年)平均。 圖片取自中央氣象署 2023

2.擷取東經180度以西，每10年夏季太平洋高壓勢力範圍變化

因為我們只探討西北太平洋海域的颱風，所以我們只擷取東經180度以西的太平洋高壓自1961-2020年，每10年夏季太平洋高壓勢力範圍變化，並將色塊去除，如圖 4。

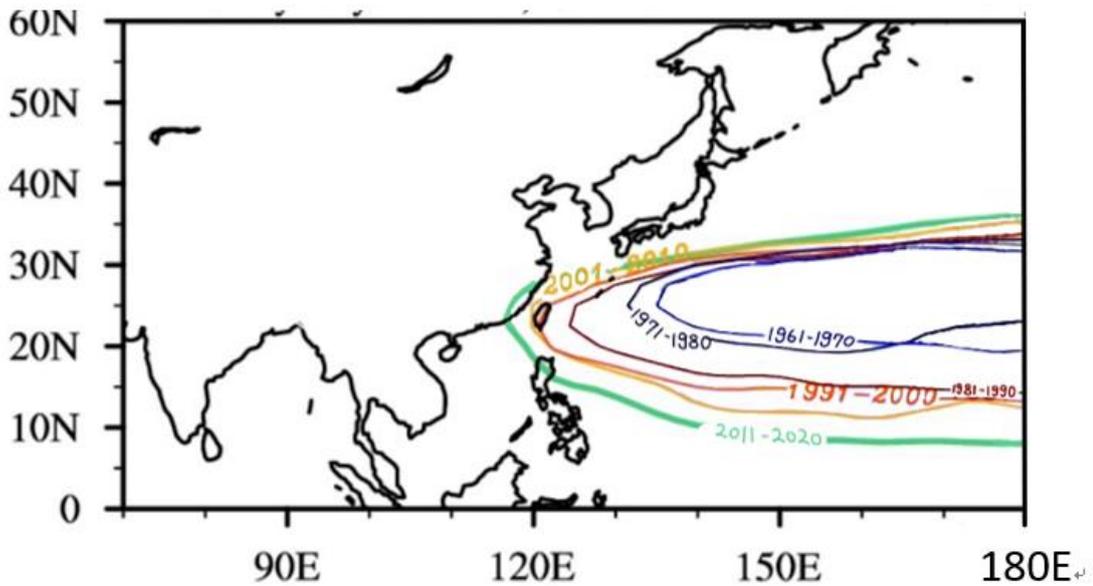


圖 4：夏季 500 百帕重力位高度場 5870 線，自 1961-2020 每 10 年平均位置
原圖取自中央氣象署 2023

(1) 圖 4，夏季太平洋高壓勢力範圍逐漸明顯往西、往南擴張，而往北擴張幅度較小。我們認為夏季太平洋高壓勢力的擴張和全球暖化有正相關。

3.東經180度以西，每10年夏季太平洋高壓勢力範圍變化趨勢

為了更清楚看出太平洋高壓勢力範圍變化情形，我們讀出太平洋高壓勢力經度、緯度變化，結果如圖 5、圖 6。

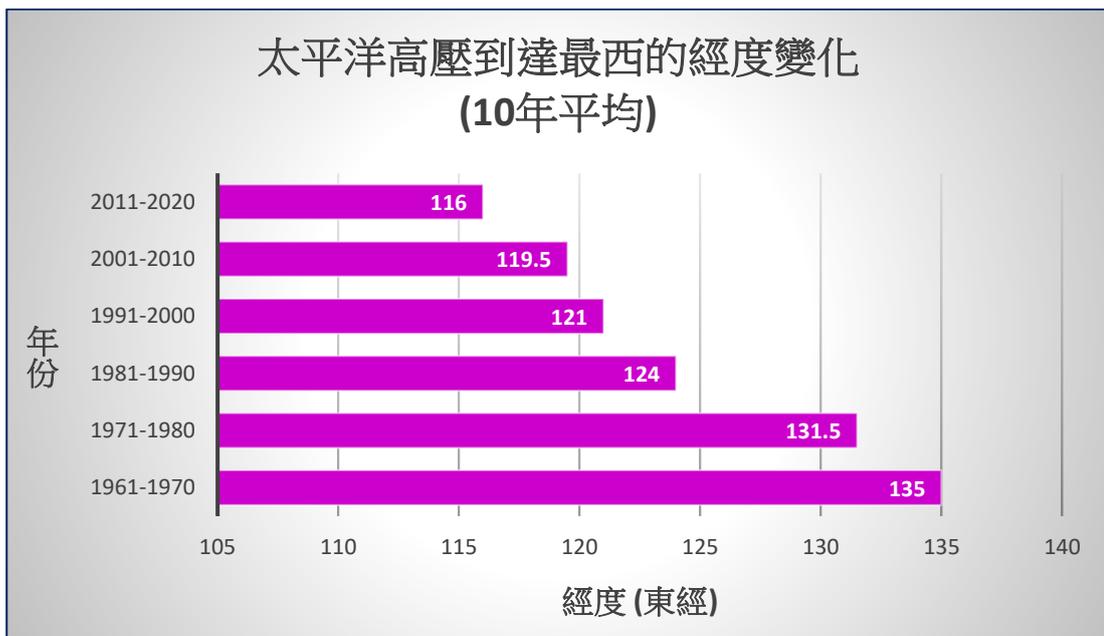


圖 5：太平洋高壓勢力範圍的經度變化趨勢(自行整理、繪圖)

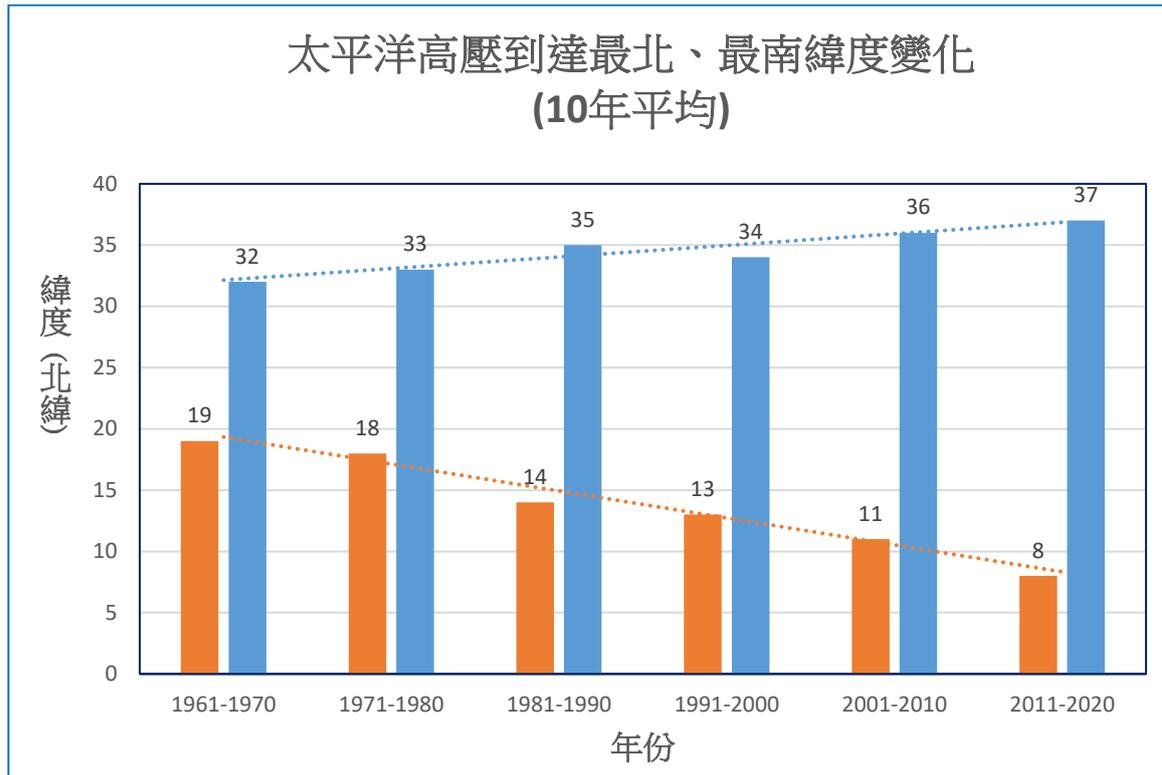


圖 6：太平洋高壓勢力範圍的緯度變化趨勢(自行整理、繪圖)

- (1)經度方面，從圖 5，可以看出太平洋副熱帶高壓勢力範圍每10年平均的變化，從1961-1970年平均勢力範圍僅到達東經135度，然後一直往西擴張到2011-2020年的東經116度，平均每10年擴張3.8個經度，約相當於365公里的範圍（以北緯30度計算）。
- (2)太平洋副熱帶高壓勢力擴張速率並不相同，其中最顯著的是1981-1990年平均勢力較前10年向西擴張了7.5個經度，約相當於721公里的範圍，而2001-2010年平均勢力較前10年只向西擴張了1.5個經度是擴張幅度最小的，約相當於144公里的範圍；可見太平洋高壓擴張速率並非等速。
- (3)緯度方面，從圖 6，也明顯看到從1961-1970年平均勢力範圍僅在北緯19-32度間，然後一直向北、向南擴張到2011-2020年的北緯8-37度間，平均每10年擴張3.2個緯度，約相當於355公里的範圍。
- (4)60年內太平洋高壓勢力向北擴張幅度僅緯度5度，向南擴張幅度則增加了緯度11度。

三、全球暖化對西北太平洋颱風的影響探討：

從中央氣象署颱風資料庫中，下載自1961-2020年的所有西北太平洋海域的颱風資料共1578個颱風，以進行歷年來各種颱風變化的分析、比較。其中有關颱風的生成、消亡、強度、侵台等均以中央氣象署的定義為準。

(一) 颱風生成數量分析

以每十年加總數目做比較，分析颱風生成總數是否有變化。另外，針對60年的資料分成每10年、20年、30年分別做比較，看颱風生成總數變化趨勢是否相同。

(二) 颱風生成位置分析

以每十年加總颱風形成時的經、緯度範圍，分析颱風生成位置是否有變化。

(三) 颱風消亡位置分析

以每十年加總颱風消亡時的經、緯度範圍，分析颱風消亡位置是否有變化。

(四) 強颱風數量變化分析

以每十年加總強颱風數量，分析強颱風數量、所占比率是否有變化。颱風的強度以其生命週期中最強的強度定義之。

(五) 颱風強度變化分析

找出每年最強的颱風，讀取颱風中心附近最強的**平均風速**(十分鐘)，以便了解颱風強度是否有增強的趨勢，資料只有44年。針對44年的資料分成每11年、每22年、前33年、後33年分別做比較，看颱風強度變化的趨勢是否一致。

(六) 颱風生命期分析

計算颱風每10年平均生命期，分析颱風生命期長短是否有變化。

(七) 侵台颱風的數量變化

將中央氣象署發布有侵襲台灣的颱風數量做比較，以便瞭解颱風對台灣的威脅性是否出現變化。針對60年的資料另分成前、後30年分別做比較，看侵台颱風的數量變化是否一致。

侵台颱風的定義：該颱風中心登陸台灣，或颱風中心雖然沒有登陸，但導致台灣陸上有災情發生。

(八) 颱風破壞潛力分析

[PDI 是由 Emanuel 於 2005 年提出，用以表示**熱帶氣旋破壞潛力**的參數。熱帶氣旋的 PDI 定義為氣旋生命週期內 6 小時最大表面風速（氣旋強度）立方的總和。

$$PDI = \int_0^{\tau} V_{\max}^3 dt \quad]$$

颱風破壞潛力與颱風強弱、影響時間有關，我們參考資料並經過討論後自行定義颱風破壞潛力值，定義如下：

將一個颱風生命週期中，強颱風期(5分計)乘以時間(天) + 中颱風期(3分計)乘以時間(天) = 颱風破壞潛力數值。

說明：我們認為中度及強烈颱風對台灣的陸地與周邊海域都具有威脅性，所以只取每一個颱風生命期中的中颱風期與強颱風期來計算其破壞潛力數值，數值愈大代表颱風破壞潛力愈強，以此標準作為分析用。

肆、結果與討論

一、全球暖化對西北太平洋颱風的影響探討：

從中央氣象署颱風資料庫中，下載自1961- 2020年的所有西北太平洋的颱風資料共1578個颱風，進行各種颱風變化的分析、比較結果如下。

(一)颱風生成數量分析

1.統計每10年颱風總數量求取平均值，再減去60年的平均颱風生成數量取得距平值，如表 1、圖 7。

表 1：颱風生成數量、10 年平均值與距平值

年份 \ 數值	颱風數量	10 年平均	距平值
1961-1970	289	28.9	2.6
1971-1980	257	25.7	-0.6
1981-1990	269	26.9	0.6
1991-2000	272	27.2	0.9
2001-2010	230	23	-3.3
2011-2020	261	26.1	-0.2
60 年平均	263.0	26.3	

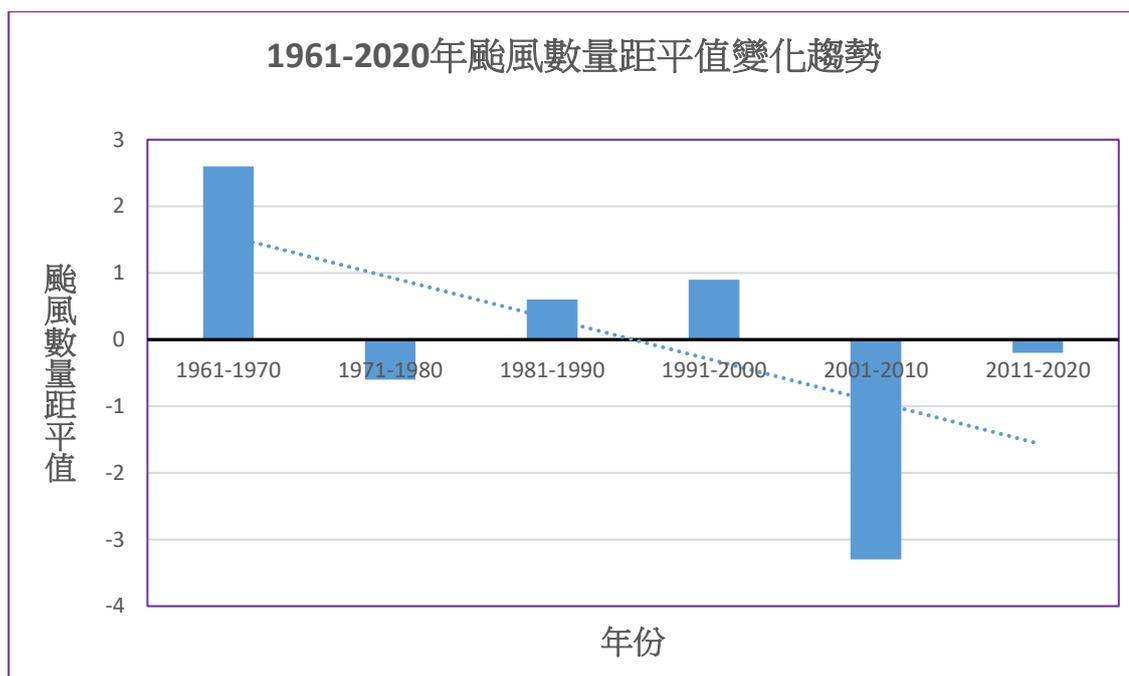


圖 7：颱風生成數量距平值變化

- 2.自1961-2020年這60年內西北太平洋海域每年平均生成颱風數量為26.3個。
- 3.圖 7，可以看出每十年颱風平均生成數量多寡確實有變化，但從圖中趨勢線可以確定西北太平洋海域颱風生成數量有減少的趨勢。也就是當全球平均氣溫、海溫皆升高的情況下颱風生成數量卻減少，可能的原因之一是太平洋副熱帶高壓勢力擴張，使得某些原本適合颱風生成的海域因為低壓槽線的改變，反而讓颱風形成的條件變差了。
4. Lin, H., Chan, J., 2015.，研究顯示全球暖化會增加對流層上層 (200 hPa) 和下層 (850 hPa) 風之間的差異，進而增加風切變反而不利於颱風的生成，而使得颱風生成數量減少。
- 5.從文獻回顧，我們發現不同學者統計或預測受暖化影響下颱風生成數量變化，結果不完全相同，因此，我們分別統計每10年、每20年、每30年颱風總數量的變化趨勢做比較，如圖 8-19。

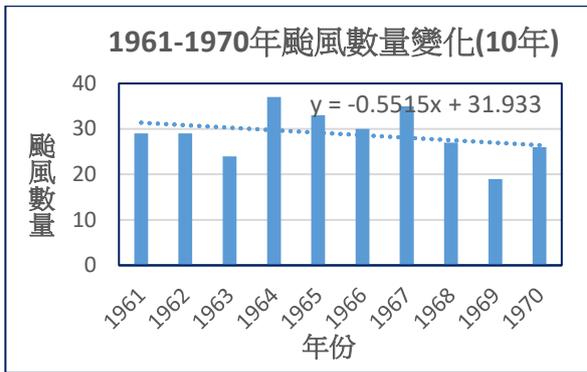


圖8：1961-1970年颱風數量變化趨勢

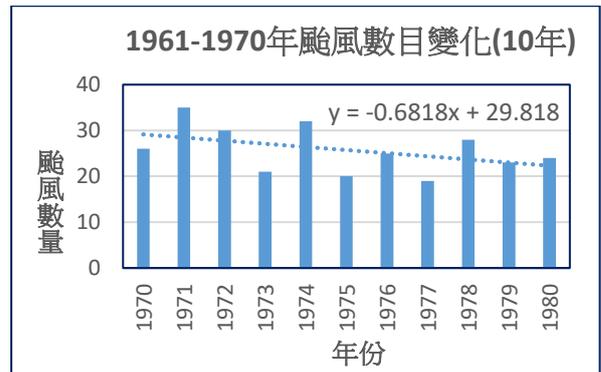


圖9：1971-1980年颱風數量變化趨勢

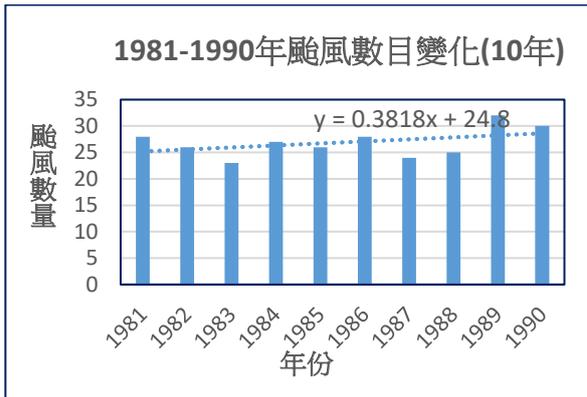


圖10：1981-1990年颱風數量變化趨勢

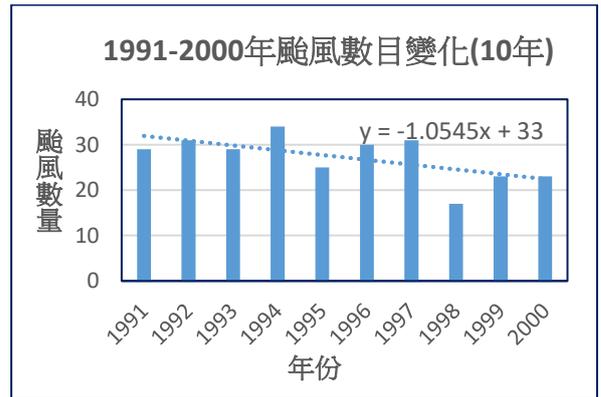


圖11：1991-2000年颱風數量變化趨勢

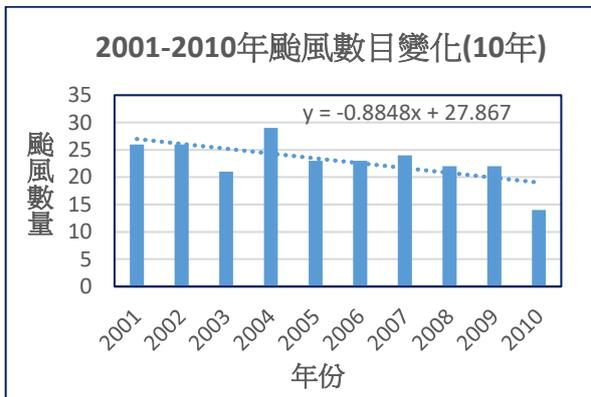


圖12:2001-2010年颱風數量變化趨勢

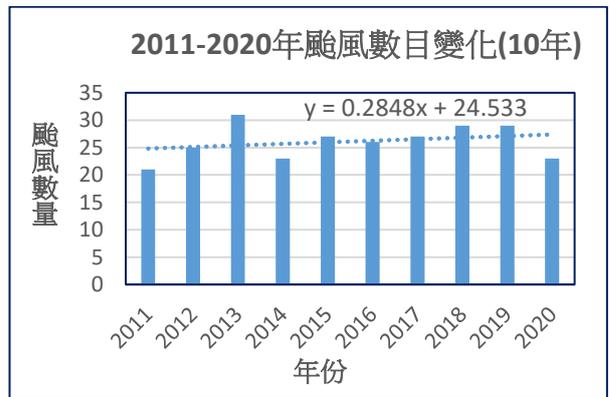


圖13：2011-2020年颱風數量變化趨勢

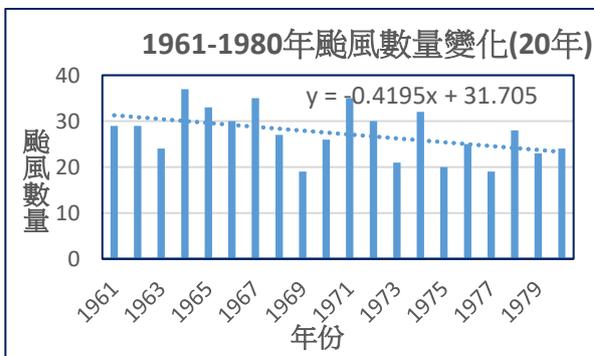


圖14：1961-1980年颱風數量變化趨勢

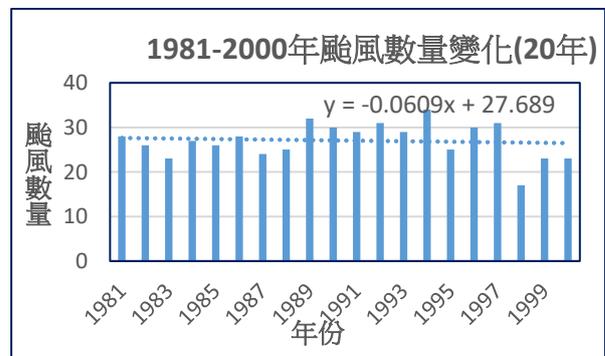


圖15：1981-2000年颱風數量變化趨勢

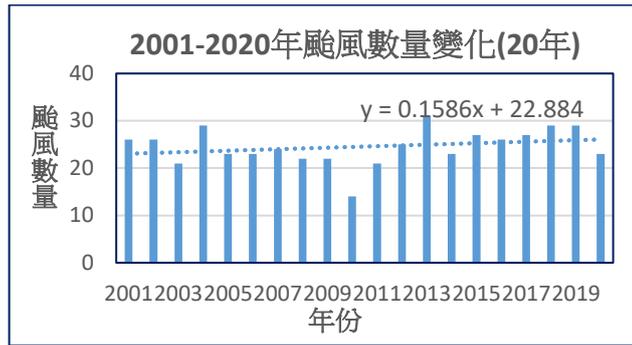


圖16：2001-2020年颱風數量變化趨勢

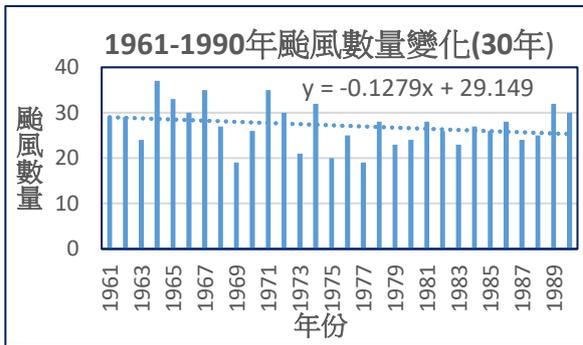


圖17：1961-1990年颱風數量變化趨勢

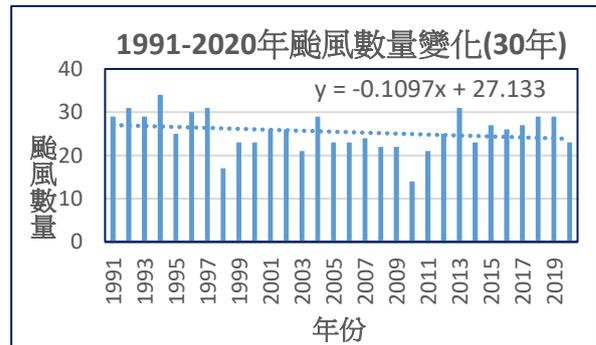


圖18：1991-2020年颱風數量變化趨勢

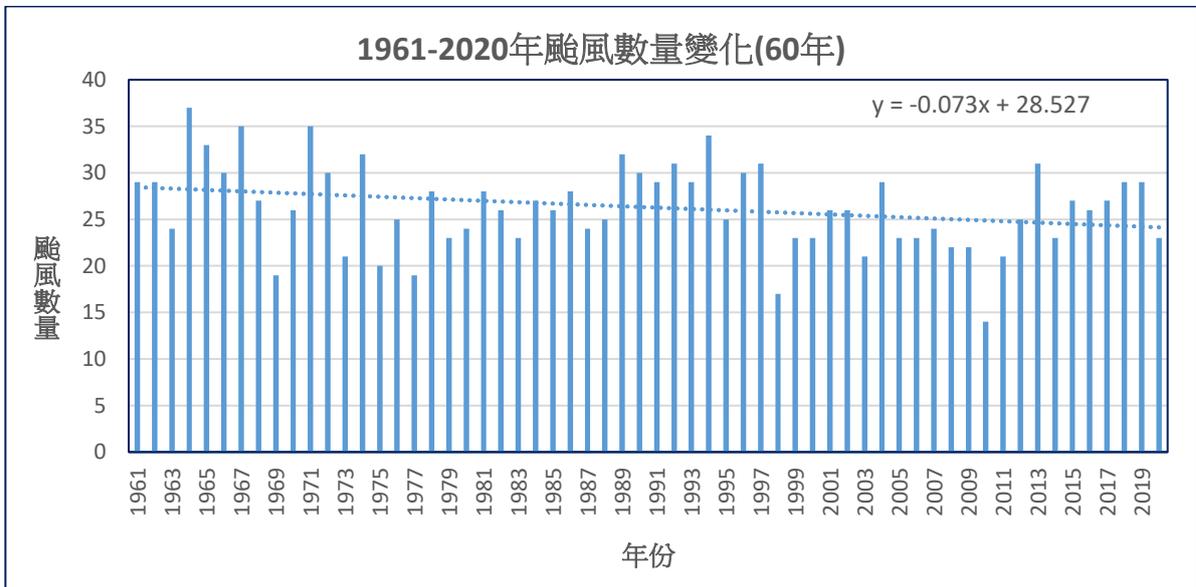


圖19：1961-2020年颱風數量變化趨勢

6. 統計不同年段範圍颱風生成數量變化趨勢(斜率)的比較，如表 2。

表 2：不同年段颱風生成數量變化比較

統計不同年段範圍颱風生成數量變化斜率比較						
每10年	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1991~2000	2001~2010	2011~2020
斜率	-0.5515	-0.6818	0.3818	-1.0545	0.2848	0.2848
每20年	1961~1980		1981~2000		2001~2020	
斜率	-0.4195		-0.0609		0.1586	
每30年	1961~1990			1991~2020		
斜率	-0.1279			-0.1097		
60年	1961~2020					
斜率	-0.073					

(1)表2，發現每10年分別統計颱風生成的數量變化，其斜率有三個正值、三個負值；每20年分別統計颱風生成數量變化，其斜率有一個正值、兩個負值；而每30年分別統計颱風生成數量變化，其斜率都是負值，與60年來颱風生成數量變化(斜率為負值)一致。

(2)根據表2 結果，我們認為要分析颱風長期的各種變化趨勢，至少要分析30年以上的颱風資料較具客觀性。

(二)颱風生成位置變化分析

1.經度分布: 將每10年颱風生成的經、緯度標示出，並在東經105-180度之間每隔15度統計颱風總數，再求百分比，結果如圖 20。

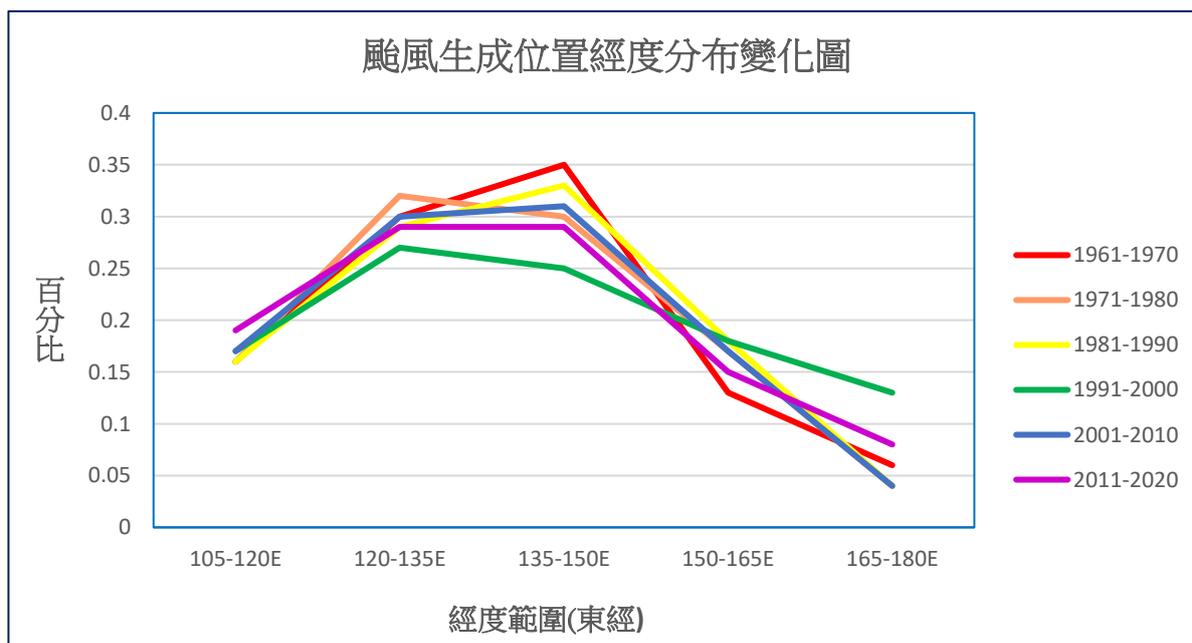


圖 20：颱風生成位置變化圖(經度)

- (1)圖 20，能看出西北太平洋海域颱風生成的經度最多落在 $120^{\circ}\text{E} - 150^{\circ}\text{E}$ 之間。
- (2)圖20，也約略能看出颱風生成位置隨著時間變化有往西方偏移的現象，應該和太平洋高壓往西擴張有關。
- (3)其中1991-2000年、2011-2020年颱風生成位置在 $165^{\circ}\text{E} - 180^{\circ}\text{E}$ 之間的數量明顯偏多，我們認為是受到1997-1998年、2015-2016年的強聖嬰年的影響使颱風生位置東移最顯著。
(聖嬰年如圖 21，圖片取自中央氣象署 2023)

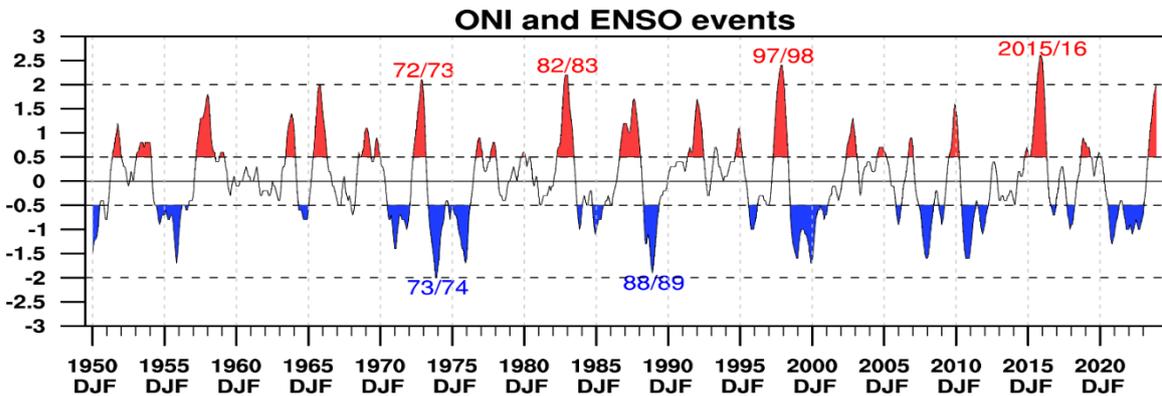


圖 21：聖嬰海溫指標的時序圖，紅色及藍色區域分別代表聖嬰及反聖嬰事件。
圖片取自中央氣象署 2023

- 2.緯度分布: 將每10年颱風生成的經、緯度標示出，並在北緯0-35度之間每隔5度統計颱風總數，再求百分比，結果如圖 22。

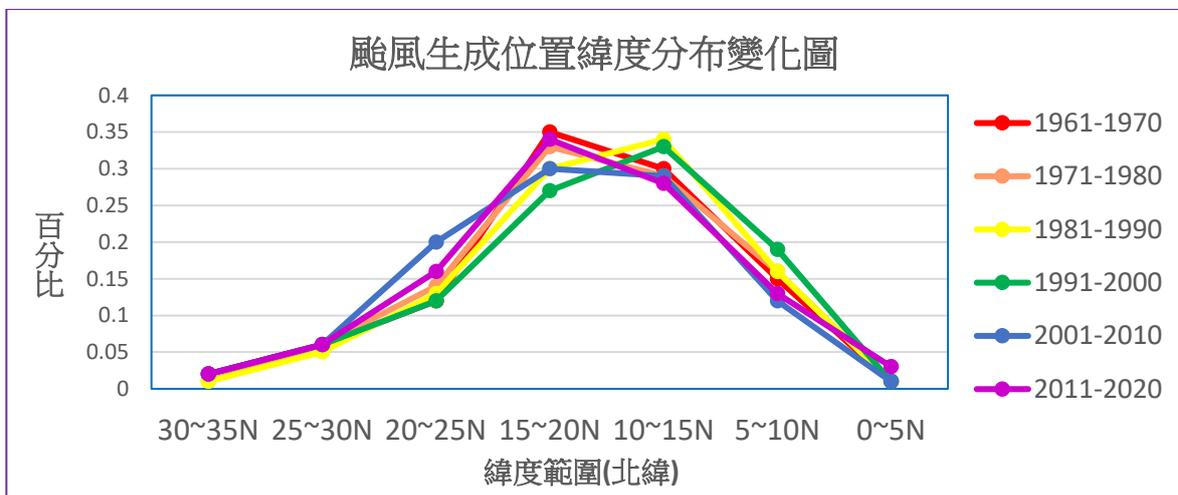


圖 22：颱風生成位置變化圖(緯度)

- (1)圖 22，明顯看出西北太平洋海域颱風生成的緯度大多落在 $10^{\circ}\text{N} - 20^{\circ}\text{N}$ 之間。
- (2)自1981-1990年開始颱風生成位置有明顯往低緯偏移的現象。2011-2020年颱風生成位置出現在 $0^{\circ}\text{N} - 5^{\circ}\text{N}$ 間變多，應是太平洋高壓向南擴張使得季風槽低壓帶(颱風的主要生成區)向南偏移所致。

(三) 颱風消亡位置分析

1.經度分布: 將每10年颱風消亡時的經、緯度標示出，並在東經105-180度之間每隔15度統計颱風總數，再求百分比，結果如圖 23 。

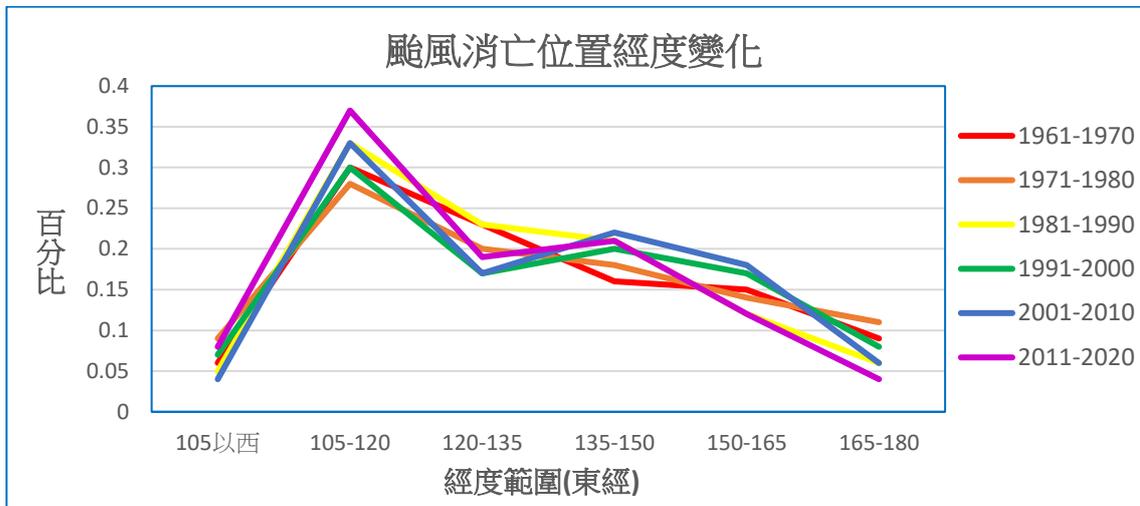


圖 23：颱風消亡位置變化圖(經度)

(1) 圖23，知道西北太平洋海域颱風消亡的經度大多落在 $105^{\circ}\text{E} - 120^{\circ}\text{E}$ 之間。而且其百分比有逐漸增加的趨勢，我們認為和太平洋高壓勢力往西擴張有關，當高壓勢力往西逐漸擴張使得颱風生成後沿著擴張的高壓駛流較易向西移動；若颱風沿著較弱的高壓駛流移動則較易轉向北移動，如圖24 - 27所示，但是颱風一旦登陸亞洲陸地勢必迅速消亡，所以颱風消亡經度不會往西大幅變動。



圖 24：颱風路徑與強副高關係示意
(自行繪圖，底圖取自 Google Maps)



圖 25：颱風路徑與弱副高關係示意
(自行繪圖，底圖取自 Google Maps)



圖 26：2020 閃電颱風路徑圖
圖片取自中央氣象署

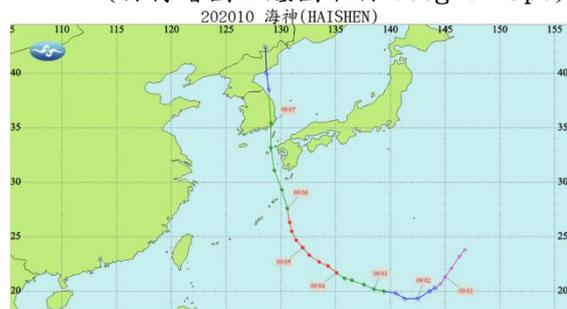


圖 27：2020 海神颱風路徑圖
圖片取自中央氣象署

2.經度分布: 將每10年颱風消亡的經、緯度標示出，並在北緯0 - 60度之間每隔5度統計颱風總數，再求百分比，結果如圖 28。。

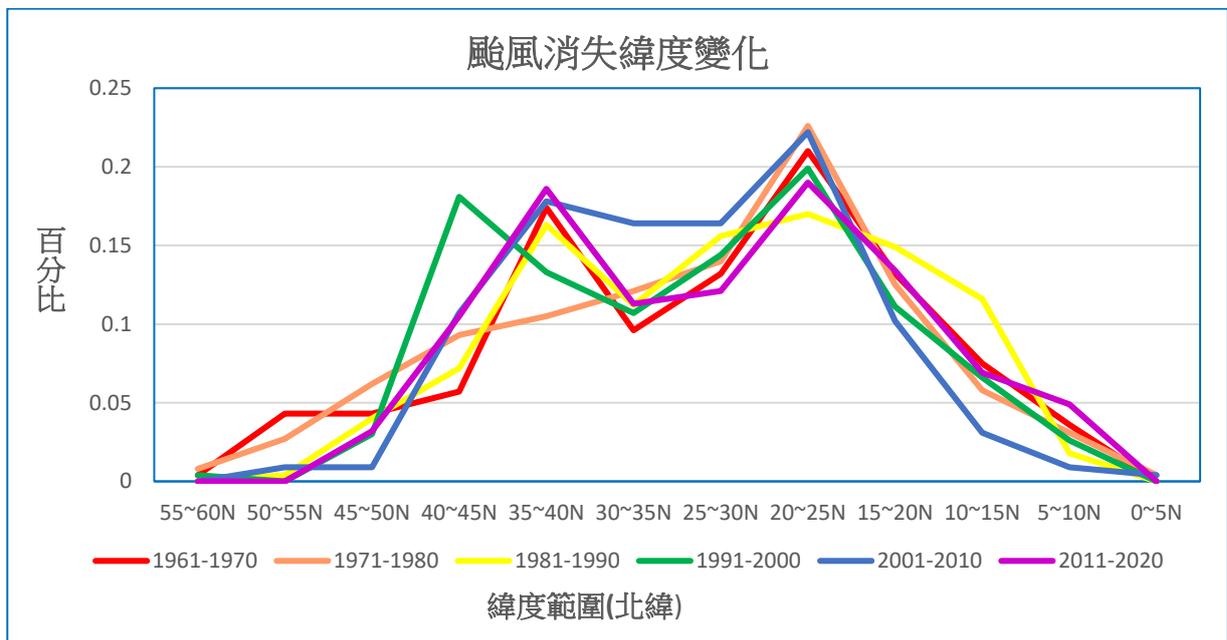


圖 28：颱風消失位置變化圖(緯度)

- (1) 圖28，可以看出西北太平洋海域颱風消亡有兩個緯度範圍，一個主要在 20°N - 25°N之間，另一處則落在35°N - 40°N之間，其中當然存在差異性，例如 1971-1980年只有一個高峰、1981-1990年往低緯度偏移、1991-2000年有部分颱風消亡往高緯度的40°N - 45°N偏移；颱風的消亡位置與當時太平洋高壓強弱及颱風登陸地點關係密切，甚至也與聖嬰現象有關。
- (2) 1971-1980年，從圖 21，知道這10年內有較多、較強的反聖嬰年，又圖 22，知道颱風生成位置偏西，在此種因素作用下使颱風易向西移動、登陸，消亡位置多在較低緯度。1981-1990年，從圖 5，知道這是高壓擴張速率最快的10年，颱風生成緯度特別低，所以在高壓擴張的情況下消亡的緯度也偏低。1991-2000年，颱風生成經度偏東，可能與這10年內有較多的聖嬰年有關，聖嬰年使得生成離台灣較遠的颱風較易轉向東北方行進到更高的緯度。
- (3) 若仔細比較45°N - 60°N間歷年來颱風的消亡數目，則呈現遞減的趨勢，應該是高壓逐漸向西擴張的結果使颱風路徑更易往西登陸，不利颱風向北或往東北方行進到更高的緯度。如圖24、25所示。

(四)強颱風數量變化分析

1. 每10年強颱風平均數目、強颱風與颱風總數的占比分別統計，結果如圖 29、圖 30。

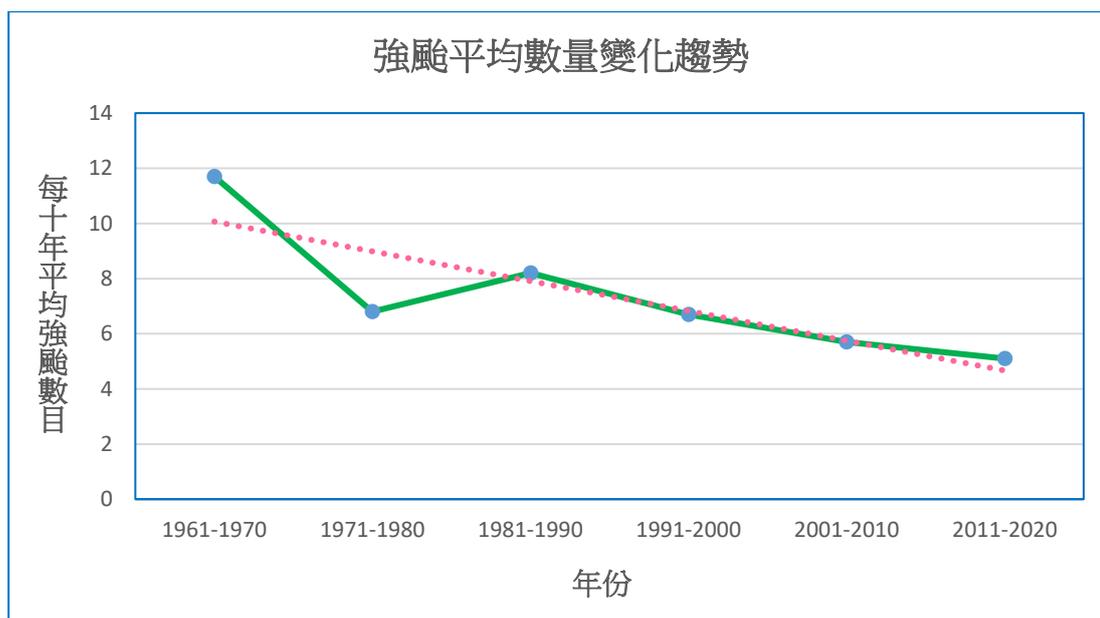


圖 29：強颱風數量變化趨勢圖

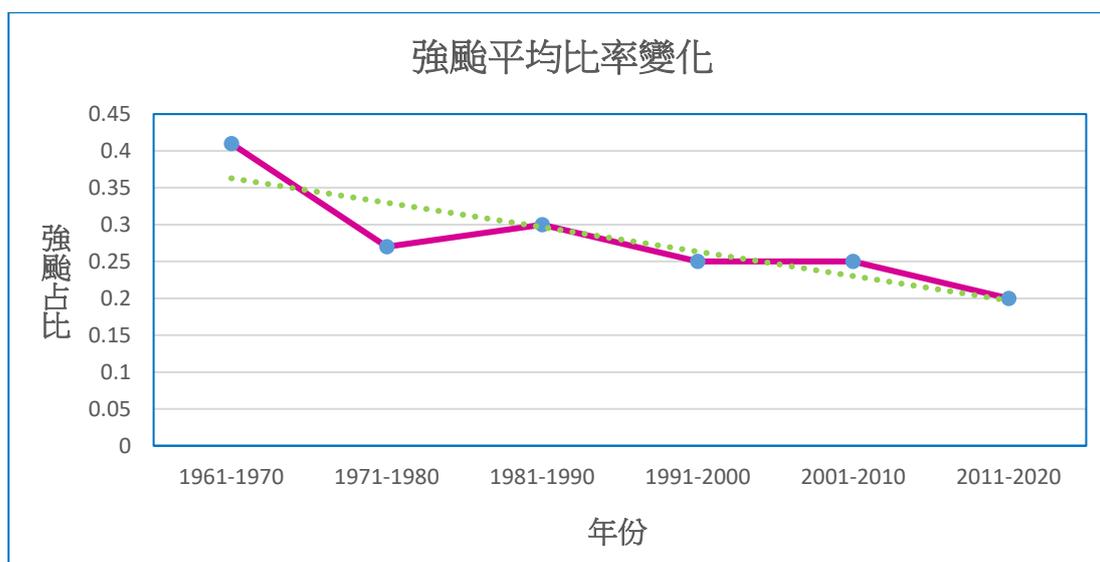


圖 30：強颱風占比變化趨勢圖

- (1)圖 29、圖 30，明顯看出不論是強颱風平均數目、強颱風與颱風總數的占比，60年來都有減少的趨勢，我們原以為全球暖化、海洋升溫將會使強颱風數量增加，但事實卻相反。
- (2)同結果(一)，全球暖化會增加對流層上層和下層風之間的差異，進而增加風切變反而不利於颱風的生成，使颱風生成後也較不易形成強烈颱風，使得強颱風數量近60年有來逐漸減少的趨勢。

(五) 颱風強度變化分析

找出每年最強的颱風，讀取近颱風中心附近最強的平均風速(十分鐘)，結果如圖31。(1977- 2020年共44年風速資料來自聯合颱風警報中心)

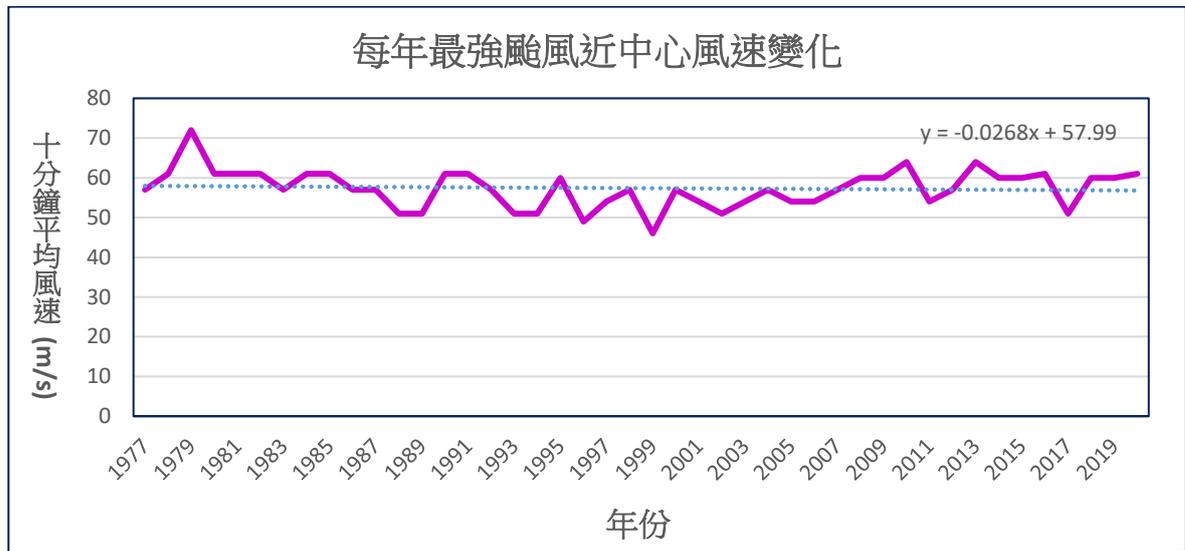


圖 31：每年最強颱風風速變化趨勢圖

1. 每年最強颱風近中心十分鐘平均風速資料自1977- 2020年，從圖 31 的趨勢線看來有微微下降趨勢(斜率為負值)。
2. 1977- 2020年共44年的資料，再將每11年近中心風速 $\geq 60\text{m/s}$ 的颱風個數、颱風總數統計，結果如表 3。

表 3: 近中心風速 $\geq 60\text{m/s}$ 的颱風個數

數量 年份	1977 - 1987	1988 - 1998	1999 - 2009	2010 - 2020
颱風中心風速 $\geq 60\text{m/s}$ 個數	7	3	2	10
11年期間強颱風 總數量	83	96	61	58

3. 圖31、表3，發現自1988 - 2009的22年間強颱風的強度較弱，然而自2010年之後強颱風的強度有明顯增強；但是1977年之前因為聯合颱風警報中心的颱風中心風速是一分鐘的平均風速，不是十分鐘的平均風速，所以無法一起比較；如果只看1988年以後的數據會認為颱風有愈來愈強的趨勢，但時間拉長就不一定是如此，尤其1979年最強的颱風近中心風速高達72m/s，所以我們不敢貿然下結論，還需更進一步的觀察或分析。

4. 表 3，自2010年以後雖然強颱總數較少，但是平均每6個強颱就有超過1個颱風的中心風速 $\geq 60\text{m/s}$ (中央氣象署強颱定義：中心最大風速 $\geq 51\text{m/s}$)，也就是一般所謂的超級強烈颱風愈來愈多，因此會有颱風強度愈來愈強的感覺。簡言之，**全球暖化使強烈颱風數量減少但超級強烈颱風數量卻增加(2010年以後)**。

5.為了更清楚颱風最強風速的變化趨勢，將44年資料分成不同年段作比較，如圖32 -36。斜率比較如表 4。

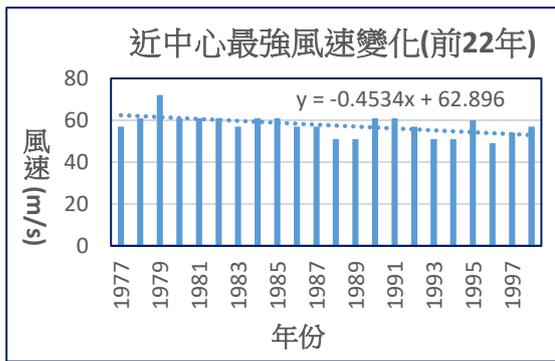


圖32 :每年最強颱風風速變化趨勢圖(前段)

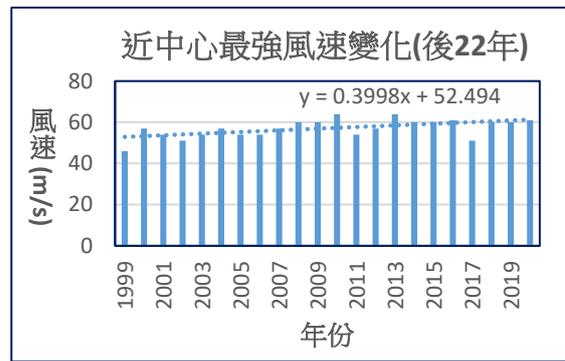


圖33 :每年最強颱風風速變化趨勢圖(後段)

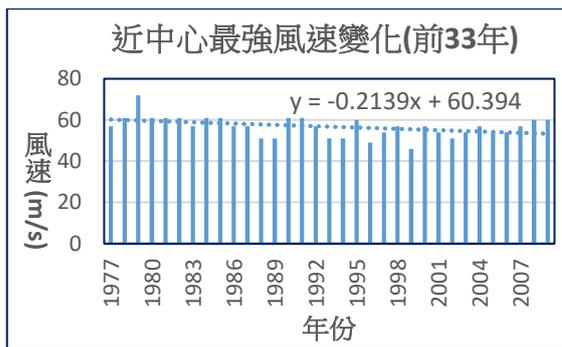


圖34 :每年最強颱風風速變化圖(後33年)

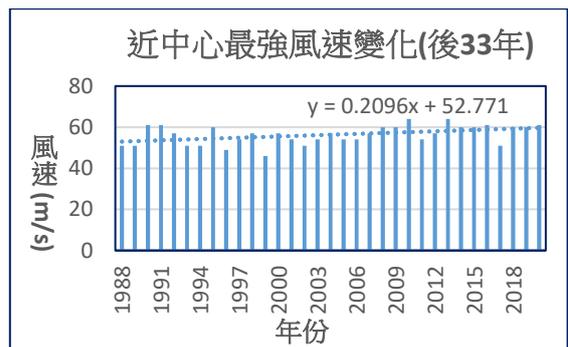


圖35 :每年最強颱風風速變化圖(後33年)



圖36 :每年最強颱風風速變化趨勢圖(44年)

表 4：每年最強颱風近中心風速變化斜率

每年最強颱風近中心風速變化斜率比較		
年段	1977-1998(前22年)	1999-2020(後22年)
斜率	-0.4534	0.3998
年段	1977-2009(前33年)	1988-2020(後33年)
斜率	-0.2139	0.2096
年段	1977-2020(44年)	
斜率	-0.0268	

- (1) 表4，從每年(共44年)最強颱風近中心風速的變化趨勢看來，颱風最強風速其實是呈下降的趨勢。
- (2) 但是若細分成四個年段比較，從斜率明顯看出1977-1998年(前22年)近中心風速是減弱的趨勢，1999-2020年(後22年)近中心風速是增強的趨勢，1977-2009年(前33年)近中心風速也是減弱的趨勢，1988-2020年(後33年)近中心風速也是增強的趨勢。也就是近三十幾年來颱風近中心風速是增強的趨勢，但近二十幾年颱風近中心風速增強的趨勢最為明顯。這個結果也呼應了圖 1，自1981年以來，全球變暖速度增加了一倍多。也與很多專家學者的研究相符，就是暖化加速使得強颱風愈來愈強。
- (3) 綜合表 3 的結果，我們推論：暖化使對流層的風切變增加不利於颱風的生成與強颱風的形成，一旦颱風克服此不利因素，形成風速更強颱風的機會也增加。
6. 針對全球暖化加速、海洋升溫，明顯提供颱風生成的有利條件下，為何颱風生成總數減少、強颱風數量減少，但是超級強颱風卻增加？我們認為兩位學者的研究結論值得參考：

Trenberth, K. E., 2007. -- 「因為熱帶風暴從海洋裡汲取熱量的效率，比一般雷雨風暴更高；所以熱帶氣旋的數目有可能變少，但一旦形成，規模會更強大。當大型風暴過後，海洋變得比較冷，會暫時減少更多新風暴生成。」

陳信印-- 「當颱風擁有較大的暴風半徑、較慢的移動速度以及較冷的海水次表面條件，會使海水出現較強的冷卻，其海水冷卻的幅度與颱風大小成正比。」

所以，我們這麼想：近二十幾年來暖化加速、海水增溫、海洋熱含量增加，有助於超強颱風生成，當超強颱風生成後會吸收更多海洋熱量，颱風愈強、暴風半徑愈大、在海上停留時間若愈久，吸收海洋熱量就愈多；因此超強颱風過後海洋將會有一段時間因熱含量不足使颱風不易形成，所以颱風總數反而變少。

(六) 颱風生命期分析

1. 計算颱風每10年平均生命期(颱風生命期依據中央氣象署定義)，結果如圖 37。

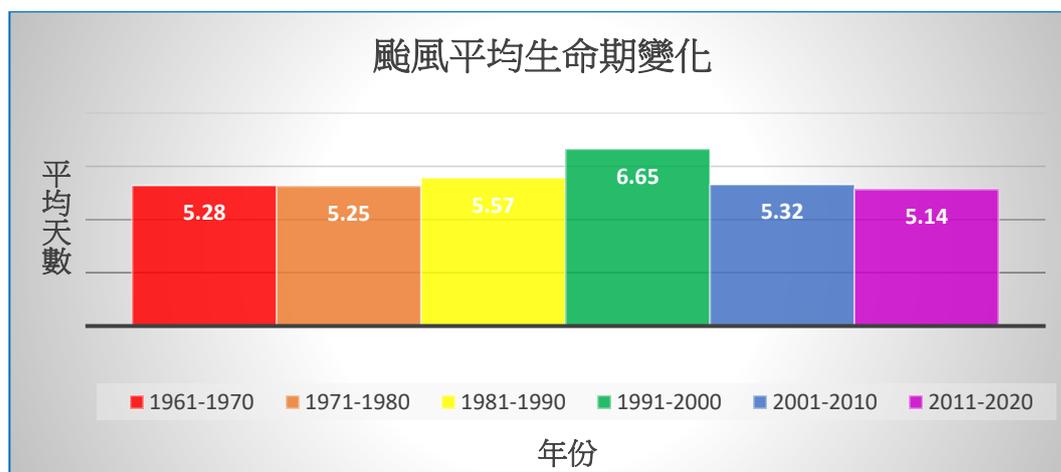


圖 37： 颱風生命期變化圖

2. 颱風平均生命期除了1991 - 2000年特別長為6.65天以外其餘多在5天多，而2011-2020年則明顯颱風生命期稍短；我們認為1991-2000年颱風平均生命期特別長，應該也是和1997 - 1998年的強聖嬰年有關，聖嬰年使得太平洋赤道附近的中區、東區海溫較高，颱風生成經度偏東，沿太平洋高壓駛流移動過程不會太早轉向北上高緯度海面，也不會太早登陸，因而有較長的生命期。
3. 2011- 2020年颱風平均生命期是60年來最短則是和全球暖化有關，如圖 1，這幾十年以來暖化速率加速，因此當高壓範圍向西、向南擴張，使得颱風路徑偏西，北轉高緯度海面機會降低，颱風易提早登陸而風力減弱、消亡。

(七) 侵台颱風的數量變化

1. 每30年分別作侵台颱風的數量圖並與60年的趨勢做比較，結果如圖 38-40、表5。

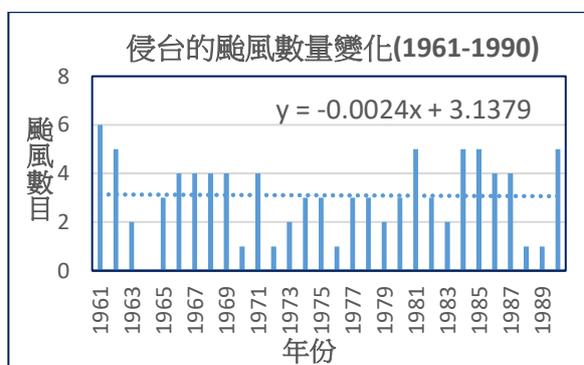


圖38： 侵台颱風數量變化趨勢圖(前段)

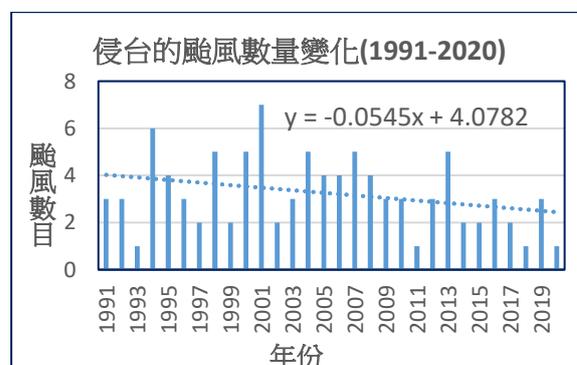


圖39： 侵台颱風數量變化趨勢圖(後段)

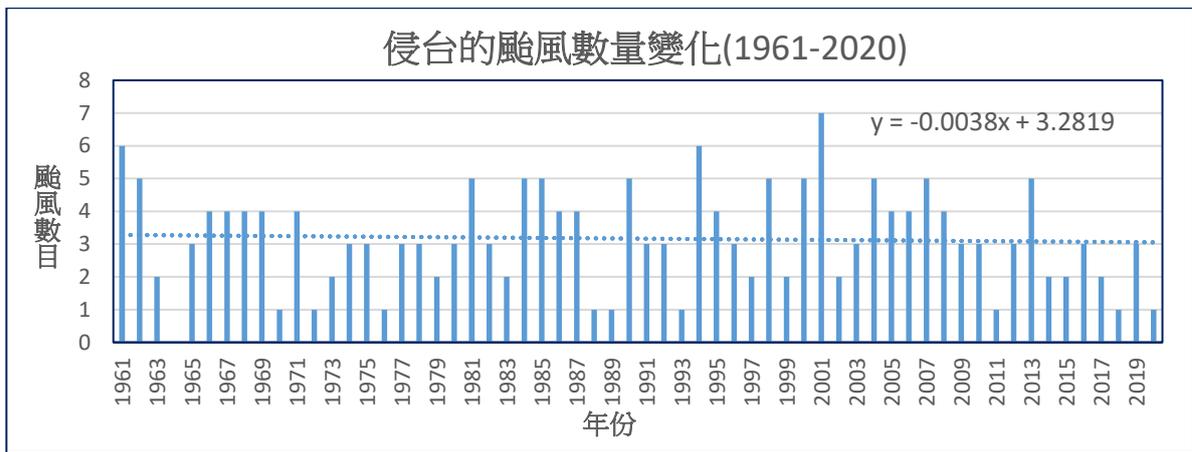


圖 40：侵台颱風數量變化趨勢圖

表 5：侵台颱風數量變化斜率比較

侵台颱風數量變化斜率比較		
年分	1961-1990	1991-2020
斜率	-0.0024	-0.0545
年分	1961-2020	
斜率	-0.0038	

- (1) 圖 38- 40、表 5，可以看出侵台颱風的數目，都是下降的趨勢，而近30年來(1991-2020年) 侵台颱風的數量減少的趨勢更為明顯。也就是說全球暖化使得颱風生成數量減少、侵台機會也降低。
- (2) 圖 40 與圖 21 比較，可以發現侵台颱風的數目也與反聖嬰有關，根據中央氣象署資料反聖嬰年西北太平洋海域颱風生成的總數會偏少、颱風近台機率會增加；但是暖化使得較強的太平洋高壓容易將颱風導引往南海方向前進，因而颱風侵台機率更低。

(八) 颱風破壞潛力分析

從中央氣象署颱風資料庫中，將1578個颱風，分別計算每一個颱風的破壞潛力值，統計每10年數值大於等於 8.25 以上的颱風個數，結果如表 6、圖 41。為了更瞭解颱風的破壞潛力值變化的趨勢，另外比較前、後30年的差異，作圖如 42- 44與表 7。

(2009年造成八八風災的莫拉克颱風，以我們的定義所計算出的颱風破壞潛力值為8.25，我們以此數值當作標準。莫拉克颱風造成的災害無法言喻，但它只是個中度颱風。)

表 6：颱風破壞潛力值 ≥ 8.25 的颱風總

數量 \ 年份	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2020
潛力值 ≥ 8.25 颱風數目	136	94	121	101	104	88

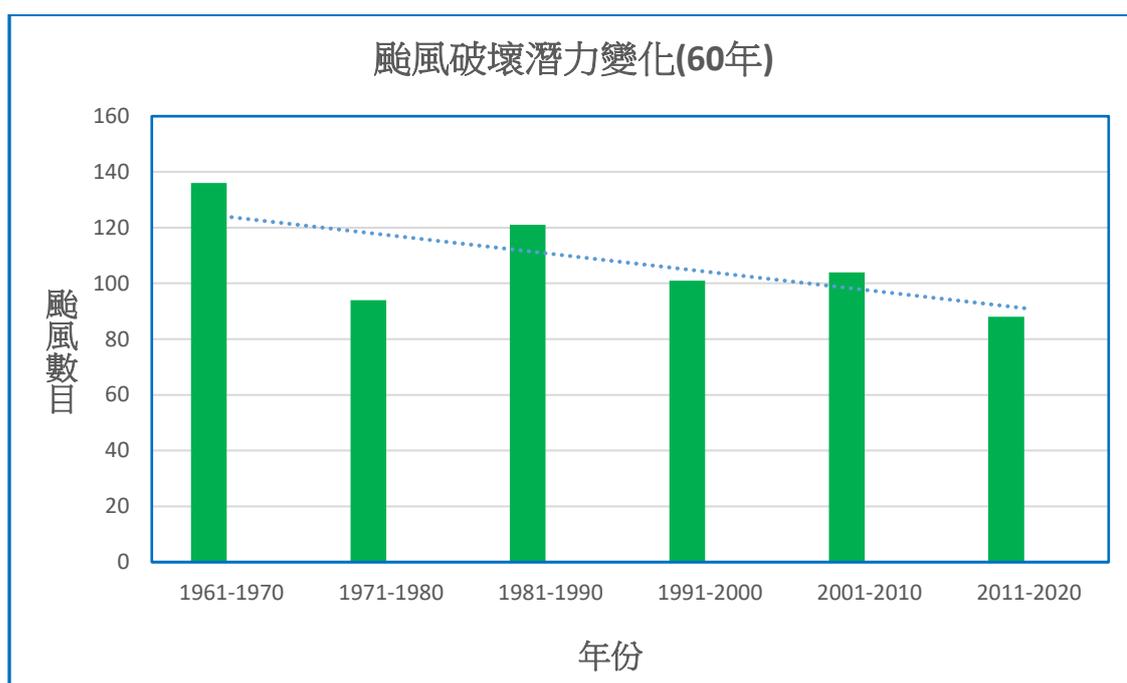


圖 41：颱風破壞潛力值 ≥ 8.25 的颱風總數變化趨勢

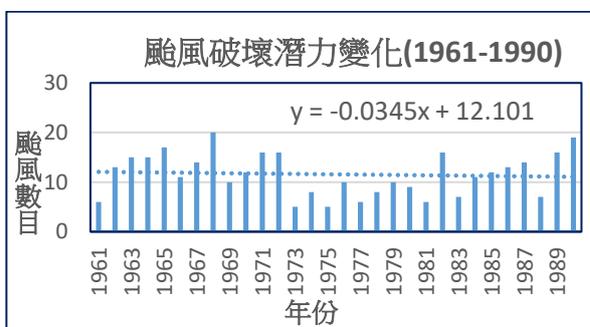


圖42: 每年颱風破壞潛力值 ≥ 8.25 數量(前段)

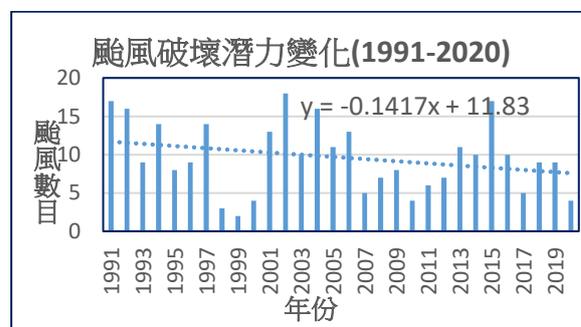


圖43: 每年颱風破壞潛力值 ≥ 8.25 數量(後段)

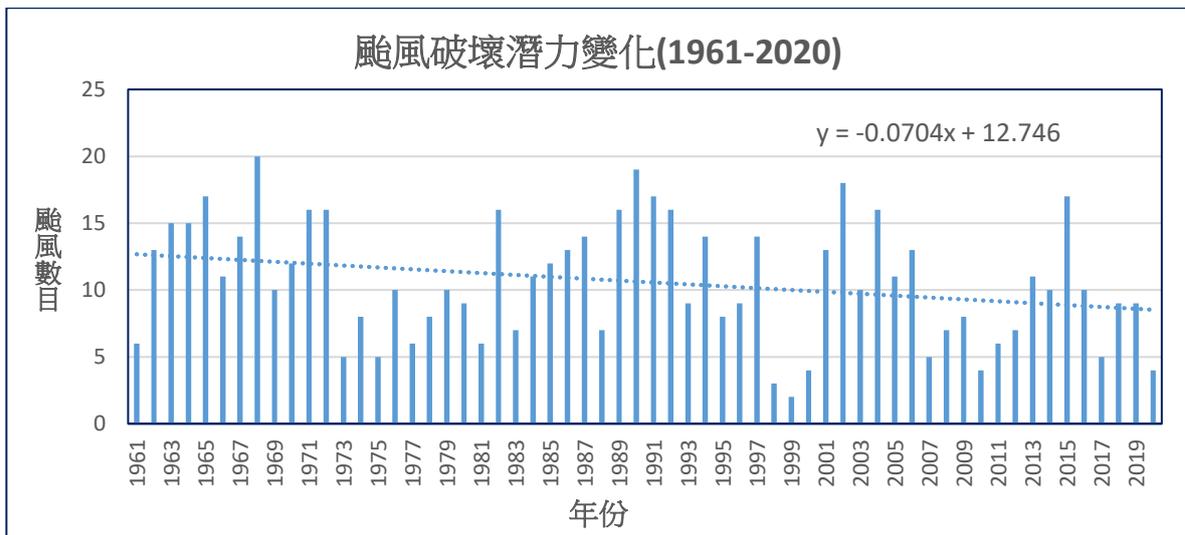


圖44 :每年颱風破壞潛力值 ≥ 8.25 的數量變化趨勢(60年)

表 7 : 颱風破壞潛力值 ≥ 8.25 颱風變化比較

颱風破壞潛力變化斜率比較		
年段	1961-1990	1991-2020
斜率	-0.0345	-0.1417
年段	1961-2020	
斜率	-0.0704	

1. 颱風登陸期間不一定是在颱風生命其中最強的時候；圖41，在我們定義的颱風破壞潛力值下，可以看出60年來颱風的破壞潛力有下降的趨勢，此潛力值與颱風是否登陸無關。
2. 表 7，颱風破壞潛力變化斜率比較可以看出，颱風的破壞潛力在1991-2020年下降的程度超過1961-1990年，也就是說颱風的破壞潛力下降趨勢愈來愈明顯。
3. 綜合(一)、(四)、(五)的研究結果，可知全球暖化使得颱風數量減少、強颱比例減少以及颱風生命期縮短，因而造成颱風的破壞潛力變小。
4. Lin, II., Chan, J., 2015. - - 「最近颱風破壞潛力的下降和全球暖化的影響」，研究期間為1993-2012年的20年資料，研究結果為：「惡化」的大氣層的影響似乎壓倒了「較好」的海洋，透過強烈抑制颱風數量和持續時間來減少颱風的破壞潛力。海洋和大氣之間可以觀察到這種有趣的相互作用。目前西北太平洋地區，大氣層對颱風PDI的控制 在海洋上空占主導地位。 我們雖然利用不同的方式定義，但是結果是相符的，也就是全球暖化使得西北太平洋海域颱風的破壞潛力在60年來有下降的趨勢，而且隨著暖化加劇將愈趨明顯。

5. 我們分析西北太平洋的颱風資料，若與其他海域比較因為相對位置不同、海流不同、聖嬰現象的影響也不同，各海域似乎有些差異，綜合Emanuel, K.A.、 Webster,P.J.等、Lin, H. 等與NCDR的研究結果，我們整理如表 8:

表 8 :各大洋熱帶氣旋變化比較

大洋 熱帶氣旋	西北太平洋	北大西洋	印度洋
數量變化	減少	增加	減少
生命期變化	減少	增加	減少
超強氣旋數量	增加	增加	增加
破壞潛力變化	下降	上升	下降

伍、結論

- 一、對西北太平洋海域而言，全球暖化、大氣海洋升溫、太平洋副熱帶高壓勢力擴張等均是事實。
- 二、分析近60年全球暖化對颱風的影響，發現各種結果與專家的預測不盡相同；全球暖化使得西北太平洋颱風生成數量減少、颱風生成位置偏移並影響颱風路徑與登陸地點；而且強颱風數量減少、颱風生命週期變短更使颱風破壞潛力變弱；大氣暖化升溫對颱風的負面影響超越海洋升溫對颱風的正回饋。一旦颱風克服大氣的不利影響而形成強颱風，變成超級強颱風的機率更增加；近十多年來超級強烈颱風數量確實增加，當超級強颱風過後海溫下降，短時間內不易再生成颱風因而颱風數量也會減少。
- 三、颱風生成位置若是配合適當的太平洋高壓強弱，則颱風很可能剛好閃過台灣，例如颱風生成位置偏西又高壓很強西進，則颱風易往南海方向前進；當颱風生成位置偏東同時高壓減弱東退，則颱風易轉往日本方向前進； 2020年大家沒放到颱風假，當年就是各種條件下形成的巧合，不代表颱風會一直避開台灣，切勿鬆懈了防颱工作。
- 四、我們認為偶而出現的聖嬰現象也對颱風的生成位置、數量、強度等造成影響，然而聖嬰現象是屬於 2-7 年的短周期變化，對颱風的影響屬於波動變化，而全球暖化則是工業革命之後長期的氣候變遷，因此我們認為分析 30 年至 60 年的颱風變化趨勢，全球暖化的影響超越聖嬰。

五、近三十幾年來隨著全球暖化加速，暖化對颱風造成的影響更趨明顯，超級強颱風的機率也增加，我們不僅要提醒大眾更加小心防颱，最重要的是必須竭盡心力阻止暖化持續惡化，儘早達成淨零碳排的目標。

陸、參考資料

- 一、高中基礎地球科學，三民書局，2023。
- 二、中央氣象署全球資訊網，2023。
- 三、台灣永續能源研究基金會，2023。
- 四、環境變遷研究中心，2023。
- 五、聯合颱風警報中心，2023。
- 六、NOAA, 2023. National Centers for Environmental Information, Monthly Global Climate Report for Annual 2022.
- 七、NOAA, 2023. Climate Change: Ocean Heat Content.
- 八、Webster,P.J., Holland,G.J., Curry,J.A., Chang,H.R., 2005. Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment. Science Vol309 pp.1844-1846.
- 九、Emanuel, K.A.,2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years.
- 十、Trenberth, K.E.,2007. 全球暖化讓海面溫度升高，助長了颱風威力。科學人 p.83-89。
- 十一、Lin, H., Chan, J.,2015. 最近颱風破壞潛力的下降和全球暖化的影響。自然通訊 6, 7182。
- 十二、陳信印，2021。1980-2018 年期間西北太平洋颱風大小變化之研究。碩論。
- 十三、國家災害防救科技中心，2024。
NCDR 112-T24 不同氣候變遷時期下之臺灣颱風推估差異分析。

【評語】 051901

本研究由全球暖化趨勢切入西北太平洋副熱帶高壓與颱風活動變化，連結全球暖化趨勢與區域氣候變遷彼此之關聯性，動機架構清楚。惟影響颱風活動特徵相關的因素很多，例如海溫變化、垂直風切、暖水層厚度… 等，並非只有副熱帶高壓的變化，以及不同時間尺度震盪對颱風之影響。僅以 10 年平均的副熱帶高壓變化與颱風活動連結，尚無法歸納颱風特徵的長期趨勢。颱風生成數量可嘗試用不同大小移動窗之平均值或中位數，避免極端值影響斜率計算。計算斜率時應一併計算 95%信賴區間，將有助結果詮釋。

作品簡報

一甲子風雲

壹、前言

全球暖化正威脅著人類生存的環境，西北太平洋海域的颱風60年來似乎也發生一些變化，我們分析1961-2020年有關颱風的各種資料，發現各種結果與專家的預測不盡相同；全球暖化、大氣海洋升溫造成太平洋副熱帶高壓勢力擴張，使得颱風生成數量減少、颱風生成位置偏移並影響颱風路徑與登陸地點；而且強颱風數量減少、颱風生命週期變短也使颱風破壞潛力變弱；大氣暖化升溫對颱風的負面影響超越海洋升溫對颱風的正回饋。但近年來超級強烈颱風的機率卻增加，當超強颱風過後海水會降溫、不利颱風再生成使颱風數量再減少。

貳、研究過程

一、全球暖化的實況分析：

(一)全球氣溫距平值的變化，如圖 1：

(二)全球海洋熱含量距平值的變化，如圖 2：

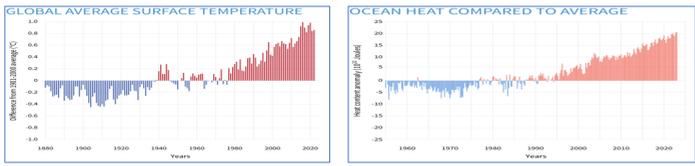


圖 1：1880 至 2022 年全球每年氣溫與二十世紀平均氣溫的比較。圖片取自：NOAA 2023

圖 2：每年海洋熱含量與 1955-2006 年平均值的比較。圖片取自：NOAA 2023

1. 從圖 1，可以明確看出自 1880 年以來全球氣溫逐漸上升的事實。自 1880 年以來，全球平均地表溫度每十年上升 0.078°C ；自 1981 年以來，變暖速度則增加了一倍多。
2. 從圖 2，可以看到受到暖化影響全球海洋熱含量自 1955 年以來逐漸上升的趨勢。
3. 海洋熱含量是指海洋吸收和儲存的熱能。為了計算海洋熱含量，需要測量各地海洋不同位置和深度的溫度，並積分整個海洋的熱量面密度而得出海洋總熱量。(圖取自 NOAA 2023)

(三)太平洋副熱帶高壓的變化：

1. 夏季太平洋高壓勢力範圍變化

影響北太平洋颱風生成與路徑最主要的因素，首推太平洋副熱帶高壓的變化，我們從中央氣象署取得夏季 500 百帕重力位高度場 5870 線的平均位置圖，即可看出自 1951-2020 年，每 10 年夏季太平洋高壓勢力範圍變化情形，如圖 3。

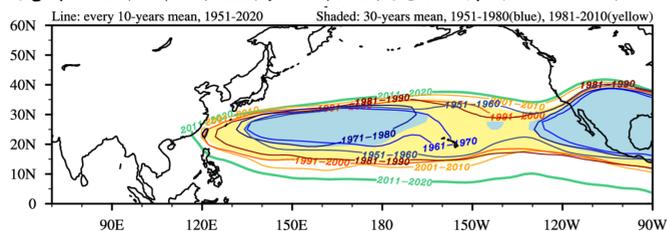


圖 3：夏季 500 百帕重力位高度場 5870 線的平均位置(代表太平洋高壓勢力範圍)，不同的數字代表不同的年代(10 年)平均。圖片取自：中央氣象署 2023

2. 擷取東經 180 度以西每 10 年夏季太平洋高壓勢力範圍變化

因為我們只探討西北太平洋海域的颱風，所以我們只擷取東經 180 度以西的太平洋高壓自 1961-2020 年，每 10 年夏季太平洋高壓勢力範圍變化，並將色塊去除，如圖 4。

- (1)從圖 4，看出夏季太平洋高壓勢力範圍逐漸明顯往西、往南擴張，而往北擴張幅度較小。我們認為夏季太平洋高壓勢力的擴張和全球暖化有正相關。

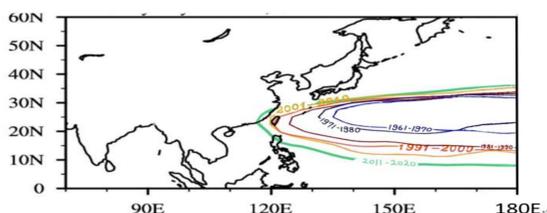


圖 4：夏季 500 百帕重力位高度場 5870 線，自 1961-2020 年每 10 年平均位置。原圖取自：中央氣象署 2023

3. 東經 180 度以西每 10 年夏季太平洋高壓勢力範圍變化趨勢

為了更清楚看出太平洋高壓勢力範圍變化情形，我們讀出太平洋高壓勢力經度、緯度變化，結果如圖 5、圖 6。

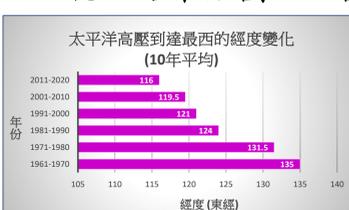


圖 5：太平洋高壓勢力範圍的經度變化趨勢(自行整理繪圖)

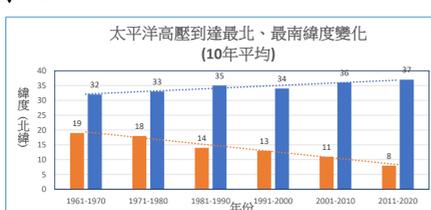


圖 6：太平洋高壓勢力範圍的緯度變化趨勢

- (1)經度方面，從圖 5，可以看出太平洋副熱帶高壓勢力範圍每 10 年平均的變化，從 1961-1970 年平均勢力範圍僅到達東經 135 度，然後一直往西擴張到 2011-2020 年的東經 116 度，平均每 10 年擴張 3.8 個經度，約相當於 365 公里的範圍（以北緯 30 度計算）。

- (2)副高擴張速率並不相同，其中最顯著的是 1981-1990 年平均勢力較前 10 年向西擴張了 7.5 個經度，約相當於 721 公里的範圍，而 2001-2010 年平均勢力較前 10 年只向西擴張了 1.5 個經度是擴張幅度最小的，約相當於 144 公里的範圍；可見太平洋高壓擴張速率並非等速。
- (3)緯度方面，從圖 6，也明顯看到從 1961-1970 年平均勢力範圍僅在北緯 19-32 度間，然後一直向北、向南擴張到 2011-2020 年的北緯 8-37 度間，平均每 10 年擴張 3.2 個緯度，約相當於 355 公里的範圍。
- (4)其中，60 年內太平洋高壓勢力向北擴張幅度僅緯度 5 度，向南擴張幅度則增加了緯度 11 度。

二、全球暖化對西北太平洋颱風的影響探討：

從中央氣象署颱風資料庫中，下載自 1961-2020 年的所有西北太平洋海域的颱風資料共 1578 個颱風，以進行歷年來各種颱風變化的分析。

(一)颱風生成數量分析

以每十年加總數目做比較，分析颱風生成總數是否有變化。另外，針對 60 年的資料分成每 10 年、20 年、30 年分別做比較，看颱風生成總數變化趨勢是否相同。

(二)颱風生成位置分析

以每十年加總颱風形成時的經、緯度範圍，分析颱風生成位置是否有變化。

(三)颱風消亡位置分析

以每十年加總颱風消亡時的經、緯度範圍，分析颱風消亡位置是否有變化。

(四)強颱風數量變化分析

以每十年加總強颱風數量，分析強颱風數量、所占比率是否有變化。颱風的強度以其生命週期中最強的強度定之。

(五)颱風強度變化分析

找出每年最強的颱風，讀取颱風中心附近最強的風速(十分鐘)，以便了解颱風強度是否有增強的趨勢。資料只有 44 年。針對 44 年的資料分成每 11 年、每 22 年、前 33 年、後 33 年分別做比較。

(六)颱風生命期分析

計算颱風每 10 年平均生命期，分析颱風生命期長短是否有變化。

(七)侵台颱風的數量變化

將中央氣象署發布有侵襲台灣的颱風數量做比較，並針對 60 年的資料另分成前、後 30 年分別做比較，看侵台颱風的數量變化是否一致。

侵台颱風的定義：該颱風中心登陸台灣，或颱風中心雖然沒有登陸，但導致台灣陸上有災情發生。

(八)颱風破壞潛力分析

[PDI 是由 Emanuel 於 2005 年提出，用以表示熱帶氣旋破壞潛力的參數。熱帶氣旋的 PDI 定義為氣旋生命週期內 6 小時最大表面風速(氣旋強度)立方的總和。]

$$PDI = \int_0^{\tau} V_{\max}^3 dt$$

颱風破壞潛力與颱風強弱、影響時間有關，我們參考資料並經過討論後自行定義颱風破壞潛力值，定義如下：

將一個颱風生命週期中，強颱風期(5 分計)乘以時間(天) + 中颱風期(3 分計)乘以時間(天) = 颱風破壞潛力數值。

說明：我們認為中度及強烈颱風對台灣的陸地與周邊海域都具有威脅性，所以只取每一個颱風生命期中的中颱風期與強颱風期來計算其破壞潛力數值，數值愈大代表颱風破壞潛力愈強，以此標準作為分析用。

參、結果與討論

一、全球暖化對西北太平洋颱風的影響探討：

各種颱風變化的分析、比較結果如下。

(一) 颱風生成數量分析

1. 統計每10年颱風總數量求取平均值，再減去60年的平均颱風生成數量取得距平值，如表 1、圖 7。

年份	颱風數量	平均	距平值
1961-1970	289	28.9	2.6
1971-1980	257	25.7	-0.6
1981-1990	269	26.9	0.6
1991-2000	272	27.2	0.9
2001-2010	230	23	-3.3
2011-2020	261	26.1	-0.2
60年平均	263.0	26.3	

表 1: 颱風生成數量、10年平均與距平值

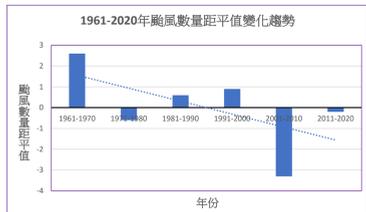


圖 7: 颱風生成數量距平值變化

2. 自1961-2020年這60年內西北太平洋海域每年平均生成颱風數量為26.3個。
3. 從圖 7，可以看出每十年颱風平均生成數量多寡確實有變化，但從圖中趨勢線可以確定**西北太平洋海域颱風生成數量有減少的趨勢**。也就是當全球平均氣溫、海溫皆升高的情況下颱風生成數量卻減少，可能的原因之一是太平洋副熱帶高壓勢力擴張，使得某些原本適合颱風生成的海域因為低壓槽線的改變，反而讓颱風形成的條件變差了。
4. Lin, II., Chan, J., 2015.，研究顯示全球暖化會增加對流層上層（200 hPa）和下層（850 hPa）風之間的差異，進而增加風切變反而不利於颱風的生成，而使得颱風生成數量減少。
5. 從文獻回顧，我們發現不同學者統計或預測受暖化影響下颱風生成數量變化，結果不完全相同，因此，我們分別統計每10年、每20年、每30年颱風總數量的變化趨勢(斜率)做比較，如表 2。

統計不同年段範圍颱風生成數量變化斜率比較						
每10年	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2020
斜率	-0.5515	-0.6818	0.3818	-1.0545	-0.8848	0.2848
每20年	1961-1980		1981-2000		2001-2020	
斜率	-0.4195		-0.0609		0.1586	
每30年	1961-1990			1991-2020		
斜率	-0.1279			-0.1097		
60年	1961-2020					
斜率	-0.073					

表 2: 不同年段颱風生成數量變化比較

- (1)表2，發現每10年分別統計颱風生成的數量變化，其斜率有兩個正值、四個負值；每20年分別統計颱風生成數量變化，其斜率有一個正值、兩個負值；而每30年分別統計颱風生成數量變化，其斜率都是負值，與60年來颱風生成數量變化(斜率為負值)一致。
- (2)根據表2 結果，我們認為要分析颱風長期的各種變化趨勢，至少要分析30年以上的颱風資料較具客觀性。

(二) 颱風生成位置變化分析

1. **經度分布**：將每10年颱風生成的經、緯度標示出，並在東經105-180度之間每隔15度統計颱風總數，再求百分比，結果如圖 8。

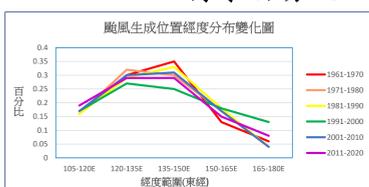


圖 8: 颱風生成位置變化圖(經度)

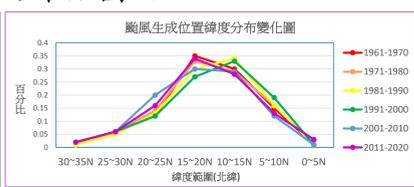


圖 9: 颱風生成位置變化圖(緯度)

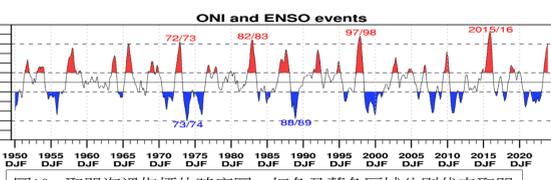


圖 10: 聖嬰海溫指標的時序圖，紅色及藍色區域分別代表聖嬰及反聖嬰事件。 圖片取自中央氣象署

- (1)從圖8，能看出西北太平洋海域颱風生成的經度最多落在120°E -150°E之間。
- (2)圖 9 也約略能看出**颱風生成位置隨著時間變化有往西方偏移**的現象，可能和太平洋高壓往西擴張有關。
- (3)其中1991-2000年、2011-2020年颱風生成位置在165°E -180°E之間的數量明顯偏多，我們認為是受到1997-1998年、2015-2016年的強聖嬰年的影響使颱風生位置東移最顯著。

(三) 颱風消失位置分析

1. **經度分布**：將每10年颱風消亡時的經、緯度標示出，並在東經105-180度之間每隔15度統計颱風總數，再求百分比，結果如圖 11。

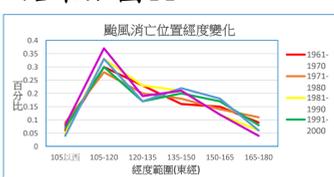


圖 11: 颱風消失位置變化圖(經度)

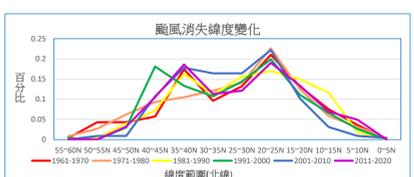


圖 14: 颱風消失位置變化圖(緯度)

- (1)從圖11，知道西北太平洋海域颱風消亡的經度大多落在105°E - 120°E之間。而且其百分比有逐漸增加的趨勢，我們認為和副高勢力往西擴張有關，副高勢力往西逐漸擴張使得颱風生成位置往西偏移，加上颱風沿著擴張的副高的駁流較易向西移動，若颱風沿著較弱的副高駁流移動則較易轉向北移動，如圖12、13所示，但是颱風一旦登陸亞洲陸地勢必迅速消亡，所以颱風消亡經度不會太往西大幅變動。



圖 12、13: 颱風路徑與副高關係示意圖
自行繪圖 底圖取自Google Maps



圖 15、16: 2020閃電颱風、海神颱風路徑圖
圖片取自中央氣象署 2023

2. **緯度分布**：將每10年颱風消亡的經、緯度標示出，並在北緯0 - 60度之間每隔5度統計颱風總數，再求百分比，結果如圖14。

- (1)圖14，可以看出西北太平洋海域颱風消亡有兩個緯度範圍，一個主要在20°N- 25°N之間，另一處則落在35°N - 40°N之間，其中當然存在差異性，例如1971-1980年只有一個高峰、1981-1990年往低緯度偏移、1991-2000年有部分颱風消亡往高緯度的40°N - 45°N偏移；颱風的消亡位置與副高強弱及颱風登陸地點關係密切，甚至也與聖嬰現象有關。
- (2) 1971-1980年，從圖10知道這10年內有較多的反聖嬰年，從圖8知道颱風生成位置偏西，在這種因素作用下使颱風消亡位置多在較低緯度。1981-1990年，從圖5知道這是副高擴張速率最快的10年，颱風生成緯度特別低，所以在副高擴張的情況下消亡的緯度也偏低。1991-2000年，颱風生成經度偏東，可能與這10年內有較多的聖嬰年有關，聖嬰年使得生成離台灣較遠的颱風容易轉向東北方行進到更高的緯度。
- (3)若仔細比較45°N - 60°N間歷年來颱風的消亡數目，呈現遞減的趨勢，應該是副高逐漸向西擴張的結果使颱風路徑更易往西登陸，不利颱風向北或往東北方行進到更高的緯度。如圖12、13、15、16所示。

(四) 強颱風數量變化分析

1. 每10年強颱風平均數目、強颱風與颱風總數的占比分別統計，結果如圖 17、圖 18。

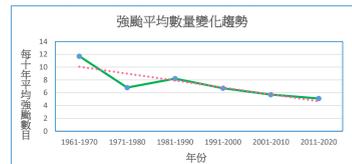


圖 17: 強颱風數量變化趨勢圖

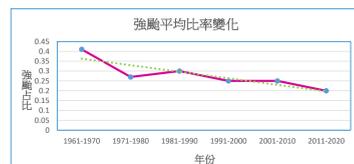


圖 18: 強颱風占比變化趨勢圖

- (1)從圖 17、圖 18，明顯看出強颱風平均數目、強颱風與颱風總數的占比，60年來都有減少的趨勢，我們原以為全球暖化、海洋升溫將會使強颱風數量增加，但事實卻相反。
- (2)同結果(一)，全球暖化會增加對流層上層和下層風之間的差異，增加風切變反而不利於颱風的生成，使颱風生成後也較不易形成強烈颱風，使得強颱風數量近60年來逐漸見減少。

(五) 颱風強度變化分析

找出每年最強的颱風，讀取近颱風中心附近最強的平風速(十分鐘)，結果如圖18。(1977- 2020年風速資料來自聯合颱風警報中心)

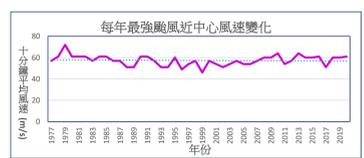


圖 19: 每年最強颱風風速變化趨勢圖

年分	1977 - 1987	1988 - 1998	1999 - 2009	2010 - 2020
颱風中心風速 ≥ 60m/s 個數	7	3	2	10
11年期間強颱風總數量	83	96	61	58

表 3: 近中心風速 ≥ 60m/s 的颱風個數

1. 每年最強颱風近中心十分鐘平均風速資料自1977- 2020年，從圖18的趨勢線看來有微微下降趨勢。
2. 1977- 2020年共44年的資料，將每11年近中心風速 ≥ 60m/s 的颱風個數、颱風總數統計，結果如表 3。
3. 從圖19、表3，發現自1988 - 2009的20年間颱風的強度較弱，自2010年之後颱風的強度增強；但是1977年之前因為聯合颱風警報中心的颱風中心風速是一分鐘的平均風速，不是十分鐘的平均風速，無法一起比較，如果只看1988年以後的數據會以為颱風有愈來愈強的趨勢，但時間拉長就不一定是，尤其1979年最強的颱風近中心風速高達72m/s，所以我們不敢貿然下結論，還需更長時間的觀察。
4. 表3，自2010年以後強颱風總數較少，但是平均每6個強颱風就有超過1個颱風的中心風速 ≥ 60m/s (中央氣象署強颱風定義：中心最大風速 ≥ 51m/s)，也就是一般所謂的超級強烈颱風愈來愈多，會有颱風強度愈來愈強的錯覺。簡言之，**全球暖化使強烈颱風數量減少但超級強烈颱風數量卻增加(2010年以後)**。

5. 為了更清楚颱風最強風速的變化趨勢，將44年資料分成不同年段作比較，斜率比較如表 4。

年段	1977-1998(前22年)	1999-2020(後22年)
斜率	-0.4534	0.3998
年段	1977-2009(前33年)	1988-2020(後33年)
斜率	-0.2139	0.2096
年段	1977-2020(44年)	
斜率	-0.0268	

表 4：每年最強颱風近中心風速變化斜率比較

(1)表4，從每年(共44年)最強颱風近中心風速的變化趨勢看來，颱風最強風速其實是呈下降的趨勢。

(1)若細分成四個年段比較，從斜率明顯看出1977-1998年(前22年)近中心風速是減弱的趨勢，1999-2020年(後22年)近中心風速是增強的趨勢，1977-2009年(前33年)近中心風速也是減弱的趨勢，1988-2020年(後33年)近中心風速也是增強的趨勢。也就是近三十幾年來颱風近中心風速是增強的趨勢，但**近二十幾年颱風近中心風速增強的趨勢最為明顯**。這個結果也呼應了圖1，自1981年以來，**全球變暖速度增加了一倍多**。也與很多專家學者的研究相符，就是**暖化加速使得強颱風愈來愈強**。綜合表4的結果，我們推論：**暖化使對流層的风切變增加不利於颱風的生成與強颱風的形成，一旦颱風克服此不利因素，形成風速更強颱風的機會也增加**。

6. 針對全球暖化加速、海洋升溫，明顯提供颱風生成的有利條件下，為何颱風生成總數減少、強颱風數量減少，但是超級強颱風卻增加？我們認為兩位學者的研究結論值得參考：

Trenberth, K. E., 2007. -- 「因為熱帶風暴從海洋裡汲取熱量的效率，比一般雷雨風暴更高；所以熱帶氣旋的數目有可能變少，但一旦形成，規模會更強大。**當大型風暴過後，海洋變得比較冷，會暫時減少更多新風暴生成**。」

陳信印-- 「當颱風擁有較大的暴風半徑、較慢的移動速度以及較冷的海水次表面條件，會使海水出現較強的冷卻，其海水冷卻的幅度與颱風大小成正比。」

我們這麼想：**近二十幾年來暖化加速、海水增溫、海洋熱含量增加，有助於超強颱風生成，當超強颱風生成後會吸收更多海洋熱量，颱風愈強、暴風半徑愈大、在海上停留時間若愈久，吸收海洋熱量就愈多；因此超強颱風過後海洋將會有一段時間因熱含量不足使颱風不易形成，所以颱風總數反而變少**。

(六)颱風生命期分析

1. 計算颱風每10年平均生命期，結果如圖 20。

2. 颱風平均生命期除了1991-2000年特別長為6.65天外其餘多在5天多，2011-2020年則明顯颱風生命期稍短：我們認為1991-2000年颱風平均生命期特別長，應該也是和1997-1998年的強聖嬰年有關，聖嬰年使得太平洋赤道附近的中區、東區海溫較高，颱風生成經度偏東，沿副高駁流移動過程不會太早轉向北高緯度海面，也不會太早登陸，因而有較長的生命期。

3. 2011-2020年颱風平均生命期是60年來最短則是和全球暖化有關如圖1，這幾十年以來暖化速率加速，因此當副高範圍向西、向南擴張，使得颱風路徑偏西，北轉高緯度海面機會降低，使颱風提早登陸而風力減弱、消亡。



圖 20：颱風生命期變化圖

(七)侵台颱風的數量變化

1. 每30年分別作侵台颱風的數量圖並與60年的趨勢做比較，結果如表5。

(1)表5，可以看出侵台颱風的數目，都是下降的趨勢，而**近30年來侵台颱風的數量減少的趨勢更為明顯**。

年分	1961-1990	1991-2020
斜率	-0.0024	-0.0545
年分	1961-2020	
斜率	-0.0038	

表 5：侵台颱風數量變化斜率比較

(2)與圖10比較，可以發現侵台颱風的變化也與反聖嬰有關，根據中央氣象署資料反聖嬰年西北太平洋海域颱風生成的總數會偏少、颱風近台機率會增加；但是暖化使得較強的太平洋高壓容易將颱風導引往南海方向前進，因而颱風侵台機率更低。

(八)颱風破壞潛力分析

從中央氣象署颱風資料庫中，將1578個颱風，分別計算每一個颱風的破壞潛力值，統計每10年**數值大於等於 8.25**以上的颱風個數，結果如圖21。為了更瞭解颱風的破壞潛力值變化的趨勢，另外比較前、後30年的差異，比較其斜率變化，如表 6。

(**2009年造成八八風災的莫拉克颱風，以我們的定義所計算出的颱風破壞潛力值為8.25，我們以此數值當作標準。莫拉克颱風造成的災害無法言喻，但它只是個中度颱風**。)

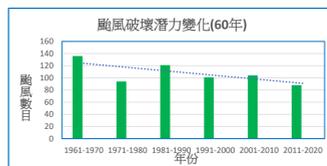


圖 21：颱風破壞潛力值≥8.25的颱風總數變化趨勢圖

年段	1961-1990	1991-2020
斜率	-0.0345	-0.1417
年段	1961-2020	
斜率	-0.0704	

表 6：侵台颱風數量變化斜率比較

1. 颱風登陸期間不一定是在颱風生命其中最強的時候；圖21，在我們定義的颱風破壞潛力值下，可以看出 60年來颱風的破壞潛力有下降的趨勢，此潛力值與颱風是否登陸無關。表6，**颱風的破壞潛力下降趨勢愈來愈明顯**。
2. 綜合(一)、(四)、(五)的研究結果，可知全球暖化使得颱風數量減少、強颱風比例減少以及颱風生命期縮短，因而造成颱風的破壞潛力變小。
3. Lin, II., Chan, J., 2015. -- 「最近颱風破壞潛力的下降和全球暖化的影響」，研究期間為1993-2012年的20年資料，研究結果為：「惡化」的大氣層的影響似乎壓倒了「較好」的海洋，透過強烈抑制颱風數量和持續時間來減少颱風的破壞潛力。海洋和大氣之間可以觀察到這種有趣的相互作用。目前西北太平洋地區，大氣層對颱風PDI的控制海洋上空占主導地位。我們雖然利用不同的方式定義，但是結果是相符的，也就是**全球暖化使得西北太平洋海域颱風的破壞潛力在60年來有下降的趨勢，而且隨著暖化加劇將愈趨明顯**。
4. 各大洋海域似乎有些差異，綜合Emanuel, K. A.、Webster, P. J. 等、Lin, II. 等與NCDR的研究結果，我們整理如表7：

熱帶氣旋	大洋	西北太平洋	北大西洋	印度洋
數量變化		減少	增加	減少
生命期變化		減少	增加	減少
超強氣旋數量		增加	增加	增加
破壞潛力變化		下降	上升	下降

表 7：各大洋熱帶氣旋變化比較

肆、結論

- 一、對西北太平洋海域而言，全球暖化、大氣海洋升溫、太平洋副熱帶高壓勢力擴張等均是事實。
- 二、**全球暖化使得西北太平洋颱風生成數量減少、颱風生成位置偏移並影響颱風路徑與登陸地點；強颱風減少、生命週期變短、強度增強、破壞潛力變弱；大氣暖化升溫對颱風的負面影響超越海洋升溫對颱風的正回饋**。
- 三、颱風生成位置若是配合適當的太平洋高壓強弱，則颱風很可能剛好閃過台灣，2020年大家沒放到颱風假，就是各種條件下形成的巧合，不代表颱風會一直避開台灣，切勿鬆懈了防颱工作。
- 四、聖嬰現象也對颱風的生成位置、數量、強度等造成影響，而聖嬰現象是屬於2-7年的短周期變化，對颱風的影響屬於波動變化，而全球暖化則是工業革命之後長期的氣候變遷，因此我們認為分析30年至60年的颱風變化趨勢，全球暖化的影響超越聖嬰。我們必須盡力阻止暖化持續惡化，儘早達成淨零碳排的目標。

伍、參考資料

- 一、中央氣象署全球資訊網，2023。
- 二、台灣永續能源研究基金會，2023。
- 三、環境變遷研究中心，2023。
- 四、聯合颱風警報中心，2023。
- 五、NOAA, 2023. National Centers for Environmental Information, Monthly Global Climate Report for Annual 2022.
- 六、NOAA, 2023. Climate Change: Ocean Heat Content.
- 七、Webster, P. J., Holland, G. J., Curry, J. A., Chang, H. R., 2005. Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment. Science Vol309 pp.1844-1846.
- 八、Emanuel, K. A., 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years.
- 九、Trenberth, K. E., 2007. 全球暖化讓海面溫度升高，助長了颱風威力。科學人 p. 83-89。
- 十、Lin, II., Chan, J., 2015. 最近颱風破壞潛力的下降和全球暖化的影響。自然通訊 6, 7182。
- 十一、陳信印, 2021. 1980-2018年期間西北太平洋颱風大小變化之研究。碩論。
- 十二、國家災害防救科技中心，2024。NCDR 112-T24 不同氣候變遷時期下之臺灣颱風推估差異分析。