

# 中華民國第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 地球科學科

佳作

030511

「颶」客強強滾

學校名稱：宜蘭縣立中華國民中學

作者：  國三 劉劭旂  國三 吳允碩  國三 梁程鈞	指導老師：  張耕碩  蕭欽鴻
---	-----------------------------

關鍵詞：颶風、快速增強、颶風強度

## 摘要

本研究採用聯合颱風警報中心(JTWC) 2011-2020 年衛星觀測資料，探究西北太平洋颱風快速增強(Rapid Intensification, RI)現象。研究發現並非所有颱風都會經歷 RI 現象，秋季(9 月-11 月)颱風伴隨 RI 現象發展的比例較其他季節高。颱風最活躍的 6 至 11 月，強颱風的生成與發生 RI 的現象具高度正相關。聖嬰現象發生期間，有更多強烈颱風的生成，發生 RI 現象的強烈颱風也相對較多。RI 現象最主要出現於颱風的發展期，其次才是極盛期。最後，以天秤颱風、卡努颱風進行個案分析，發現 RI 期間出現颱風眼隨強度增強而愈來愈清晰並趨於正圓、螺旋雲雲帶與颱風中心對流雲系發展迅速、颱風結構也愈接近對稱等現象。

(本作品未標示出處的圖片皆由第二作者製作)

## 壹、前言

去(2023)年全球均溫紀錄再度被打破，成為有紀錄以來最熱的一年。氣候變遷議題的範圍很廣，其中有關颱風的極端氣候相關內容，是我們特別關注且好奇的面向。在某一次討論研究主題時，於台灣颱風論壇的粉專發現「快速增強（Rapid Intensification, 簡稱為 RI）」這個陌生的名詞，可透過這個現象來了解颱風強度的增加速率與發展，加上西北太平洋又是全世界颱風發生頻率最高的區域(佔約三成)，於是我們想藉由蒐集、分析國內外西北太平洋颱風的相關資料，進一步探究颱風的快速增強現象。

颱風的生成是海洋、大氣交互作用的產物，熱帶溫暖海水提供對流發展的環境，上升氣流的潛熱釋放後加熱大氣，在地球旋轉的條件下，這樣的大氣加熱作用產生旋轉的低壓系統，進而颱風的形成。根據美國大氣學教授格雷(William M.Grag)提出熱帶氣旋生成的六大條件：海溫至少  $26.5^{\circ}\text{C}$ (至少 50m 深)、大氣溫度隨高度降低而釋放潛熱、靠近中對流層要有相對濕度、近地表已有低壓系統存在、垂直風切要小、至少距離赤道 500km。

從衛星雲圖、天氣圖上颱風的符號來看，颱風常是軸對稱的圓盤構造，強度達一定程度的颱風，還會出現中心無雲、無雨的颱風眼構造，緊鄰周邊的眼牆，卻是對流雲最旺盛且風速最強的区域。颱風屬於熱帶氣旋，北半球颱風低層氣流是以逆時鐘方向旋轉，中心氣壓低、外圍氣壓高，高層氣流為順時鐘向外幅散(如圖 1)。

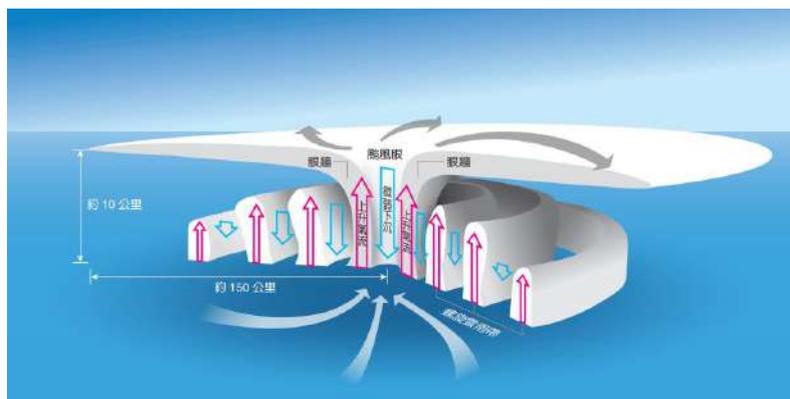


圖 1：北半球颱風垂直剖面結構示意圖(翰林版高中地球科學課本)

颱風的生命史大致可以分為四個階段：由最初形成低壓環流到中心附近最大平均風力達到八級(輕度颱風等級)的「形成期」，氣旋中心對流旺盛、強度繼續發展的「發展期」，發展至最強階段，強度不再發展、氣壓不再降低、風速不再增大的「極盛期」，以及中心風速減小、氣壓升高或進入中緯度而轉變為溫帶氣旋的「衰弱期」。以上四個時期，每階段短則 1~2 日，長則 2~3 日，每個颱風的情形均不同。

在歷年全國科展作品中，有研究指出聖嬰年(聖嬰現象維持全年)的中颱、強颱比例較高(第 53 屆國中組國展作品：小男孩別來亂-聖嬰來了)，聖嬰期颱風生成月份較晚，但生成位置遠離陸地，使平均壽命較長，颱風強度也易增強(51 屆國展作品：聖嬰現象與颱風生命期之關係；56 屆國展作品：聖嬰-南方震盪現象對颱風的影響)。也有研究對於 1993 年-2012 年影響台灣及週邊地區(120-170°E，4-26°N)的西北太平洋颱風進行研究分析，發現 19-26°N 海域颱風的強度漸減，10-19°N 海域的颱風強度則有上升的趨勢(2014 年國際科展作品-西北太平洋颱風增強與上層海洋熱力結構關係之長期變化)。

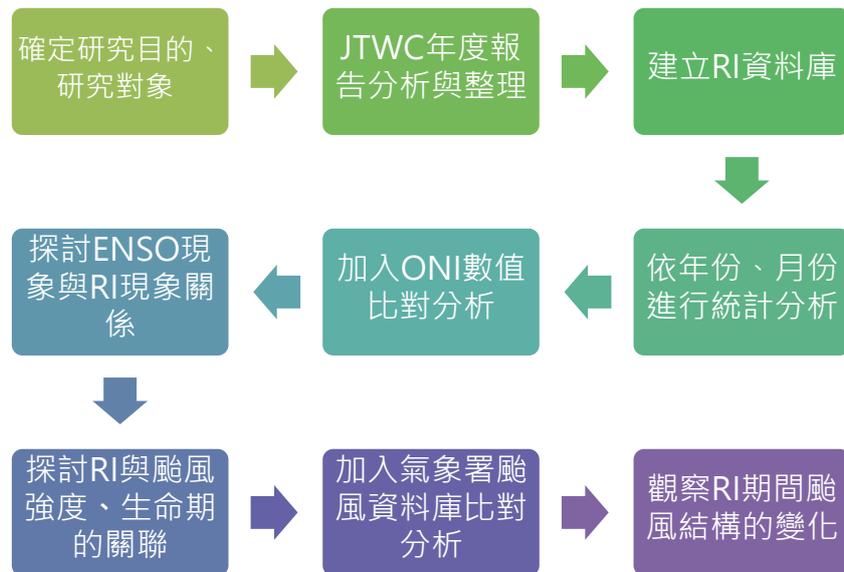
我們於是產生好奇和疑問：是否所有颱風都會經歷 RI 現象？RI 現象發生的比例、頻率為何？全球氣候變遷與經歷 RI 現象的颱風的相關性為何？因此，我們擬訂出以下研究目的：

- 一、統計分析各年份、各月份經歷 RI 現象颱風的情形。
- 二、探討聖嬰事件與反聖嬰事件對颱風 RI 現象的影響。
- 三、探討 RI 現象與颱風強度、生命期的關聯。
- 四、探討經歷 RI 現象期間颱風結構的發展與變化。

## 貳、研究設備及器材

- 一、中央氣象署颱風資料庫
- 二、Joint Typhoon Warning Center (JTWC)網站
- 三、Climate Prediction Center 網站
- 四、Google 試算表、Microsoft Excel、Microsoft Powerpoint

## 參、研究過程或方法



### 一、快速增強的定義、建立資料庫

(一)聯合颱風警報中心（Joint Typhoon Warning Center，JTWC）是美國在夏威夷設立的中心，全年持續監察、分析及預測熱帶氣旋的路徑及發展，該中心的負責範圍覆蓋全球九成熱帶氣旋的活動範圍。我們進入 JTWC(Joint Typhoon Warning Center)網站發現，目前提供了 1959 年至 2020 年熱帶氣旋年度報告(如圖 2)，因此決定以其中最最近十年(2011 年至 2020 年)的西北太平洋熱帶氣旋作為本研究的研究對象。

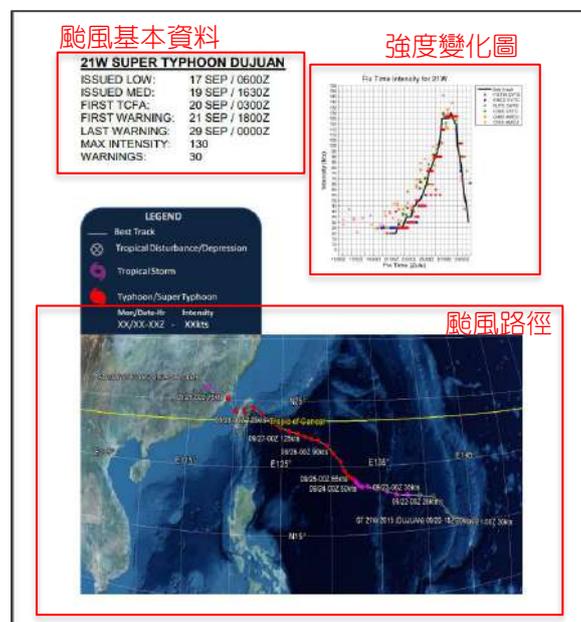


圖 2：JTWC 熱帶氣旋年度報告

(二)採用美國國家颶風中心(National Hurricane Center)將颶風強度快速增強 (Rapid intensification, 簡稱 RI)的定義,內容為:24 小時內之近中心最大風速增加至少 30 kt 以上(kt:風速單位;1kt=等於 1.852km/h)。將西北太平洋 2011 年-2020 年有經歷快速增強(之後皆以「RI 現象」表示)且被命名的熱帶氣旋,逐一觀察、紀錄其 24 小時內風速大小的變化,若有符合 24 小時近中心最大風速增加至少 30 kt(s)以上,即定義為發生 RI 現象的颶風。

(三)以 Google 試算表建立線上資料庫,內容包括有編號、颶風名稱、RI 次數、發生 RI 現象日期、風速變化( $\Delta v$ )、生命期最大強度、生命週期(天)、發生 RI 期間屬於生命期哪一階段等,方便後續進行統計、分析。

## 二、統計與分析發生 RI 現象的颶風個數與比例

(一)統計出 2011 年-2020 年各月份輕度颶風、中度颶風與強烈颶風的個數,再製作統計圖表從中分析經歷一次 RI 現象及多次 RI 現象的颶風個數。

(二)統計出 2011 年-2020 年每一年生成輕度颶風、中度颶風與強烈颶風的個數,再製作統計圖表從中分析經歷一次 RI 現象及多次 RI 現象的颶風個數。

## 三、聖嬰現象與反聖嬰現象對颶風 RI 現象的影響

(一)為探討聖嬰現象與反聖嬰現象對颶風 RI 事件的影響,由美國國家海洋暨大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)網站取得海洋 Niño 指數(Oceanic Niño Index; ONI),該數值是將太平洋赤道分成 4 個區域,取其中  $140^{\circ}\text{W}\sim 170^{\circ}\text{W}$  的區域,若平均 SST(Sea Surface Temperature)超過  $+0.5^{\circ}\text{C}$ ,稱為「聖嬰現象」;若低於  $-0.5^{\circ}\text{C}$ ,則稱為「反聖嬰現象」。該指數是前後三個月的平均數值。

(二)若一年內,連續 5 個月 ONI 指數都大於 0.5,稱為「聖嬰年」;若該年連續 5 個月 ONI 指數小於  $-0.5$  則稱為「反聖嬰年」;如都不屬於前兩者,則為「正常年」。定義聖嬰年、反聖嬰年與正常年後,再將歷年颶風基本資料(包括發生 RI 事件)進行比對分析。

(三)依年份、編號將每個颱風發生 RI 現象期間的路徑繪製於地圖的相對位置，逐一把這些 RI 期間路徑疊加起來，接著再分別依聖嬰年、反聖嬰年及正常年，觀察、分析颱風 RI 現象發生位置(經緯度分佈)。

#### 四、颱風強度發展、生命期與經歷 RI 事件的關聯

(一)採用氣象署對颱風強度(近中心最大風速(Kts))的分類—輕度颱風(34~63Kts)、中度颱風(64~99Kts)、強烈颱風(100Kts 以上)，以 Excel 計算 Pearson 相關係數 r 找出颱風強度與經歷 RI 事件的關聯。

(二)統計有發生 RI 現象的颱風每一段 RI 的數值( $\Delta v/24$ hours)，並製成統計圖分析。

(三)統計各颱風發生 RI 現象期間對應於颱風強度發展階段(例如從輕度發展至中度階段)，並製成統計圖分析。

(四)統計各颱風發生 RI 現象期間對應颱風生命期(形成期、發展期、極盛期及衰弱期)的階段，製成統計圖分析。

#### 五、經歷 RI 現象期間颱風結構的發展與變化

(一)自氣象署颱風資料庫(如圖 3)挑選資料較豐富、經歷 RI 現象的颱風個案，包括紅外線衛星雲圖、可見光衛星雲圖、地面天氣圖及雷達回波圖等，觀察經歷 RI 現象的颱風，其颱風眼、眼牆、中心氣壓等颱風結構的變化。

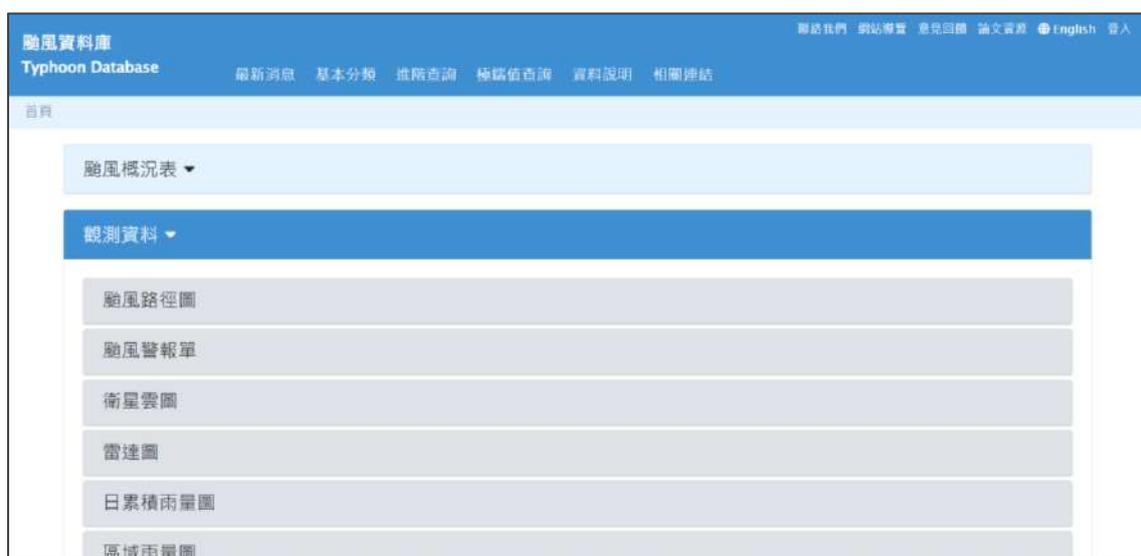


圖 3：交通部中央氣象署颱風資料庫

(二)紅外線(IR)雲圖所拍攝的是雲頂溫度(對流層中大氣溫度隨高度增加而降低，所以溫度愈低表示雲頂越高)，且將不同溫度用不同顏色代表，低亮溫冷雲系呈現灰白色，高亮溫暖雲呈現較為透明的色彩。透過色調強化處理後的雲圖，高亮溫暖雲系色調偏向藍色系，低亮溫冷雲系色調偏向紅色系。主要目的為強調對流系統的發展，將易於分辨強對流的位置及其結構，分析對流最強區域。

(三)雷達回波是雷達發射的電磁波，經由大氣中的降水粒子(雨、雪、冰雹等)反射回來的訊號，根據訊號強度再利用不同的顏色顯示，即可製成雷達回波圖。一般來說，反射回來的訊號愈強，降水的強度就愈強。

## 肆、研究結果與討論

### 一、各月份發生 RI 現象的情形

(一)2011 年-2020 年期間西北太平洋共生成有 252 個颱風，平均每年有 25.2 個颱風生成，很接近氣候平均值的 25.4 個（根據中央氣象署 1991 至 2020 年平均）。

表 1：2011 年至 2020 年各月份 RI 現象統計

月份	全部颱風(個數)				發生 RI 現象的颱風(個數)			
	輕颱	中颱	強颱	總計	輕颱	中颱	強颱	總計
1	4	1	0	5	0	1	0	1
2	2	1	1	4	0	0	1	1
3	2	1	2	5	0	0	2	2
4	3	1	0	4	0	0	0	0
5	1	1	4	6	0	0	3	3
6	16	3	2	21	0	0	2	2
7	16	11	10	37	0	2	10	12
8	15	13	24	52	0	0	18	18
9	19	7	19	45	0	3	18	21
10	9	10	21	39	0	2	19	21
11	7	8	8	23	0	7	8	15
12	5	1	5	11	0	0	5	5

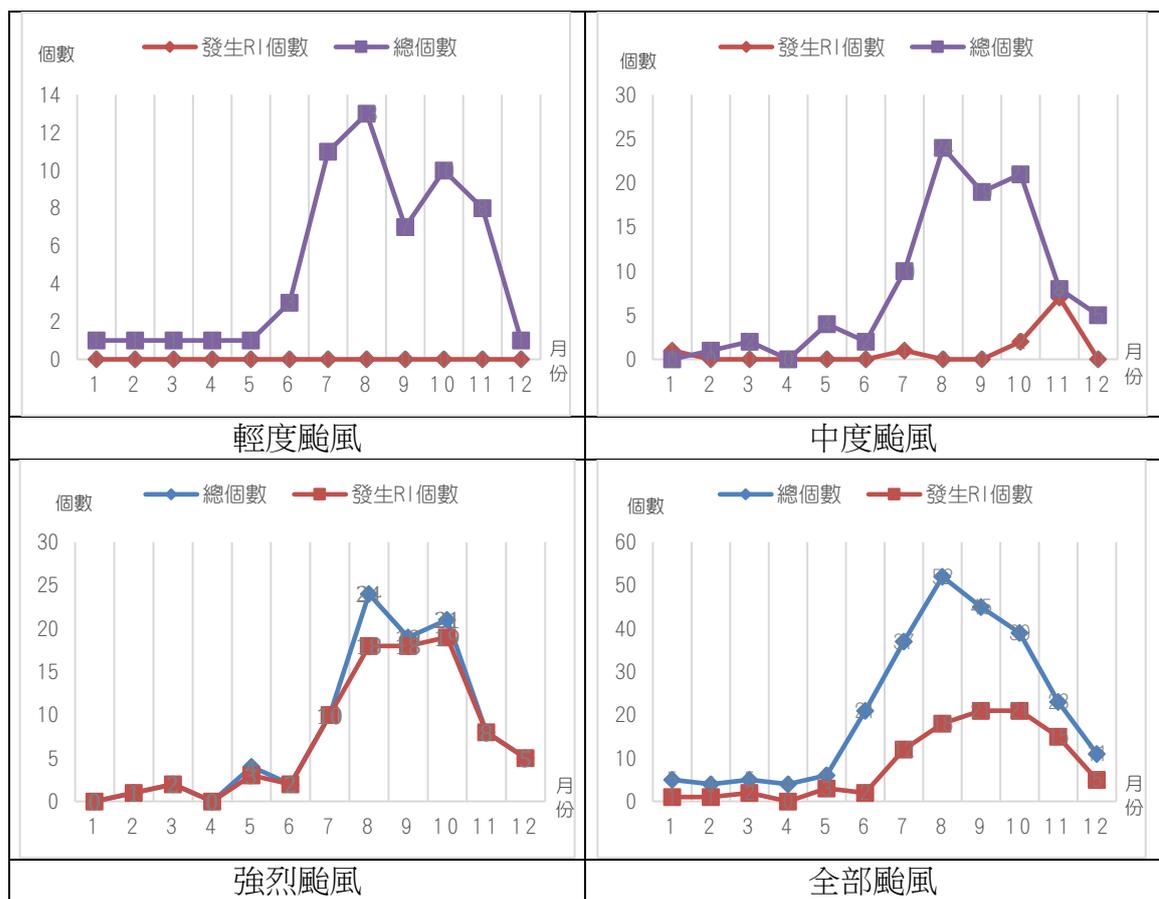


圖 4：2011 年-2020 年各月份颱風總數與發生 RI 現象的颱風數

- (二)從圖 4 可看出，6 至 11 月是颱風活躍的月份，約佔 86%，最高的是 8 月，其次依序是 10 月、9 月。
- (三)如果從 RI 現象來看，主要是 7 月至 11 月，約佔 86%，最高的是 9 月和 10 月，其次是 8 月。但轉換成發生率(發生 RI 現象颱風數/颱風總數)，反而是 11 月最高，高達 65%，其次是 10 月的 54%、9 月的 47%，可初步推論西北太平洋秋季颱風容易伴隨有 RI 現象的發展。

## 二、各年份發生 RI 現象的情形

- (一)據夏威夷聯合颱風警報中心統計，1950 年至 2022 年間西北太平洋及南海海域，平均每年有 26.5 個被命名的熱帶氣旋生成，其中平均每年有 16.6 個達到中心持續風速 64 節的颱風標準。

表 2：2011 年至 2020 年 RI 現象統計

年份	全部颱風				發生 RI 現象的颱風			
	輕颱	中颱	強颱	總計	輕颱	中颱	強颱	總計
2011	11	3	7	21	0	2	6	8
2012	10	5	10	25	0	0	7	7
2013	13	6	10	29	0	1	9	10
2014	10	4	8	22	0	0	8	8
2015	6	5	16	27	0	2	15	17
2016	7	6	11	24	0	2	10	12
2017	13	8	5	26	0	4	5	9
2018	12	7	10	29	0	3	10	13
2019	10	6	12	28	0	3	11	14
2020	11	5	7	23	0	1	6	7

(二)從圖 5 來看，可知 2015 年、2016 年、2018 年、2019 年發生 RI 現象的颱風數較多，以 RI 現象的發生率來看，2015 年的 63%最高，其次是 2019 年的 50%。

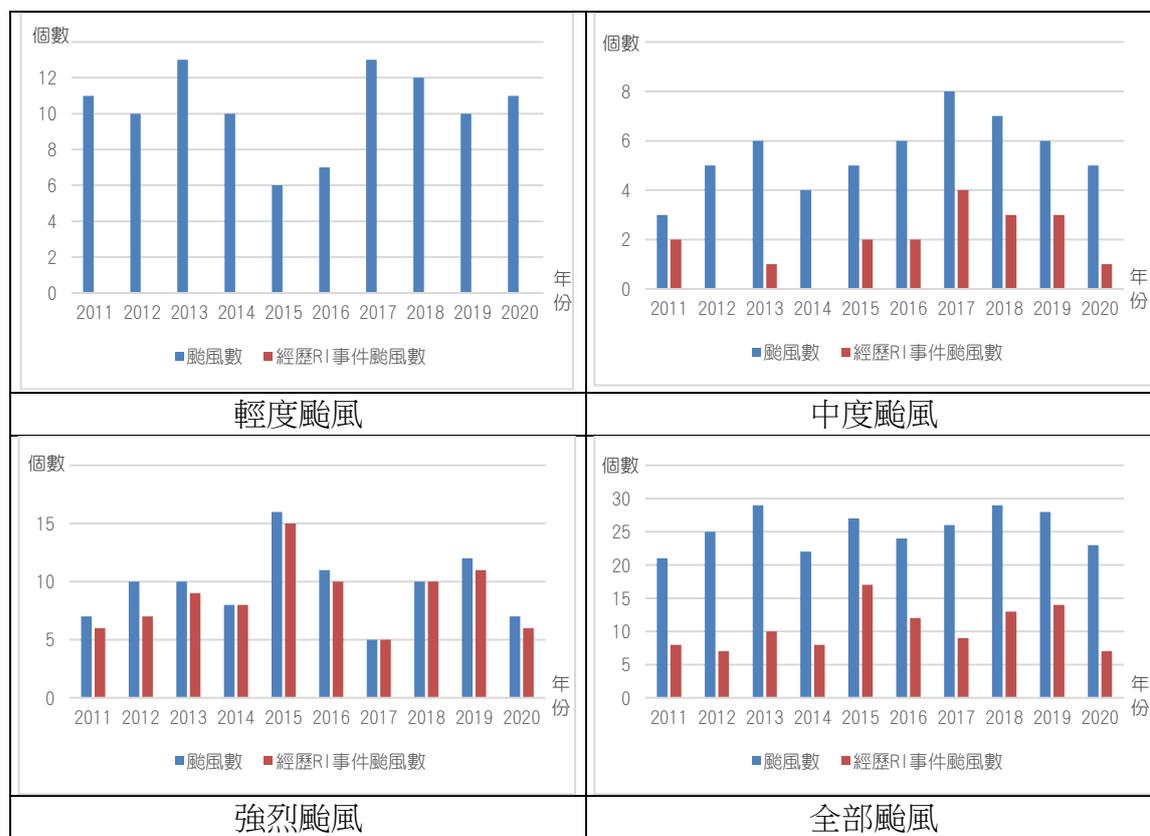


圖 5：2011 年-2020 年各年颱風(總)數與發生 RI 現象的颱風個數

### 三、探討聖嬰事件與反聖嬰事件對颱風 RI 現象的影響

(一)我們參考美國氣候預報中心 (CPC) 的定義，當 ONI 指數連續 5 個月高於 0.5°C，該段時期為聖嬰現象，該年亦是聖嬰年。反之，當 ONI 指數連續 5 個月低於 0.5°C，該段時期為反聖嬰現象，該年亦是反聖嬰年。將 2011 年-2020 年分為：

表 3：2011 年-2020 年聖嬰年、正常年與反聖嬰年列表

ENSO 條件	年份
聖嬰年	2015 年(強聖嬰)、2019 年
正常年	2012 年、2013 年、2014 年、2017 年、2018 年
反聖嬰年	2011 年、2016 年、2020 年

(二)對照表 2 與表 3，聖嬰年、正常年和反聖嬰年每年的颱風總數，彼此沒有顯著差異，但聖嬰年(2015 年、2019 年)強颱風的比例明顯多於正常年與反聖嬰年，又以 2015 年(59%)大於 2019 年(43%)。

(三)對照表 3 和圖 5 的分析結果，2015 年、2019 年發生 RI 現象的颱風數比例較高(同樣是以 2015 年 63%最高)，反聖嬰年和正常年則較少(反聖嬰年和正常年兩者沒有顯著差異)，可初步推論聖嬰事件也會影響颱風 RI 現象的發展。

(四) JTWC(Joint Typhoon Warning Center)歷年年度報告，提供有每個熱帶氣旋的移動路徑(附地圖)、日期、強度(Kts)等主要資訊，我們將同一年強颱風發展階段路徑(片段)，以及有發生 RI 現象的颱風，擷取其中發生 RI 現象的路徑片段，繪製在地圖上並標示出編號(同資料庫)(詳如 23-27 頁附錄)。最後，再將 2011 至 2020 年所有發生 RI 現象的颱風路徑依不同條件疊加起來進行分析與討論。

(五)聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 第六次氣候變遷評估報告 (6th Assessment Report, AR6) 指出，受到全球暖化影響，颱風強度有增強趨勢，移動路徑偏北。再者，根據圖 6、圖 7 和圖 8，我們也發現颱風生命週期中強颱風時期的移動路徑，反聖嬰年會較正常年、聖嬰年更偏北、偏西，也就是對台灣而言的影響相對較大。

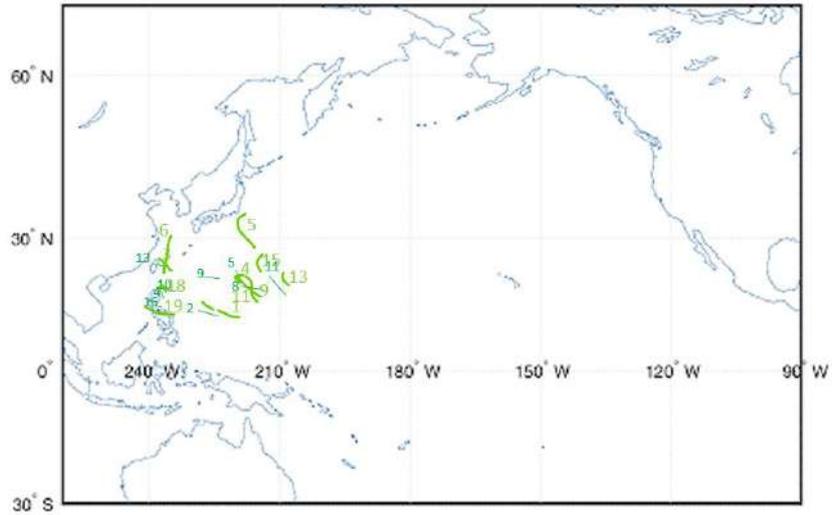


圖 6：2011 年-2020 年強颱風階段發生位置分佈(聖嬰年)

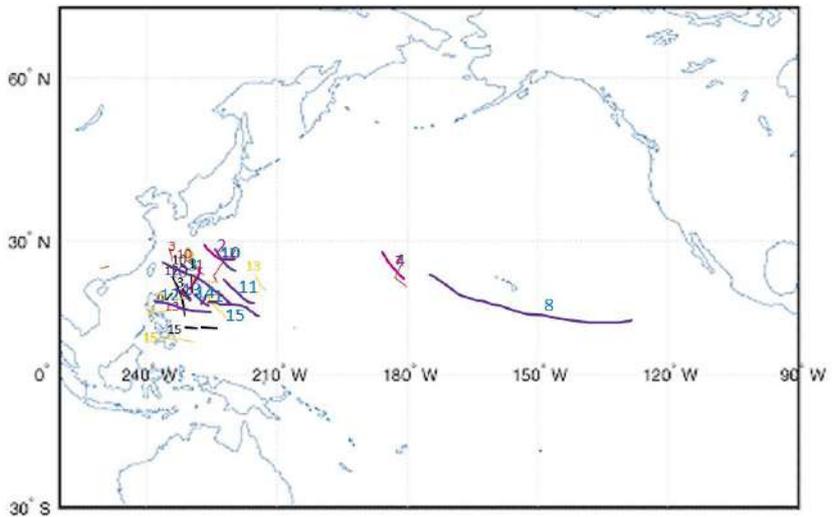


圖 7：2011 年-2020 年強颱風階段發生位置分佈(正常年)

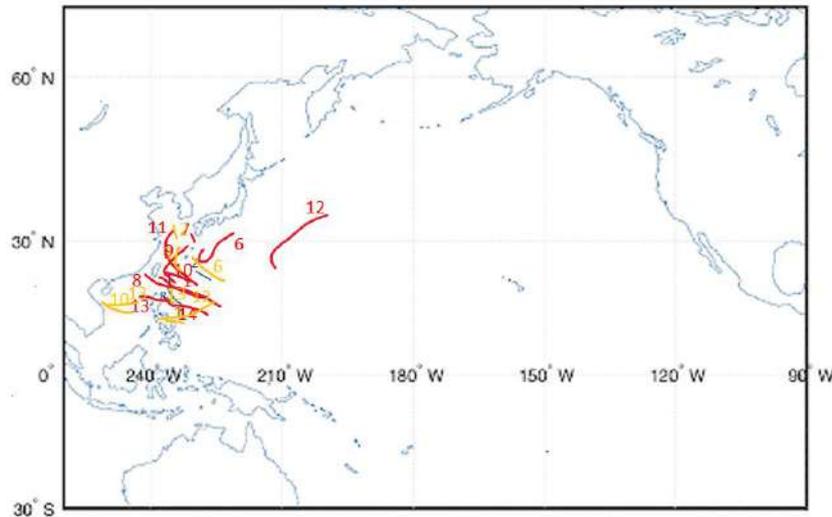


圖 8：2011 年-2020 年強颱風階段發生位置分佈(反聖嬰年)

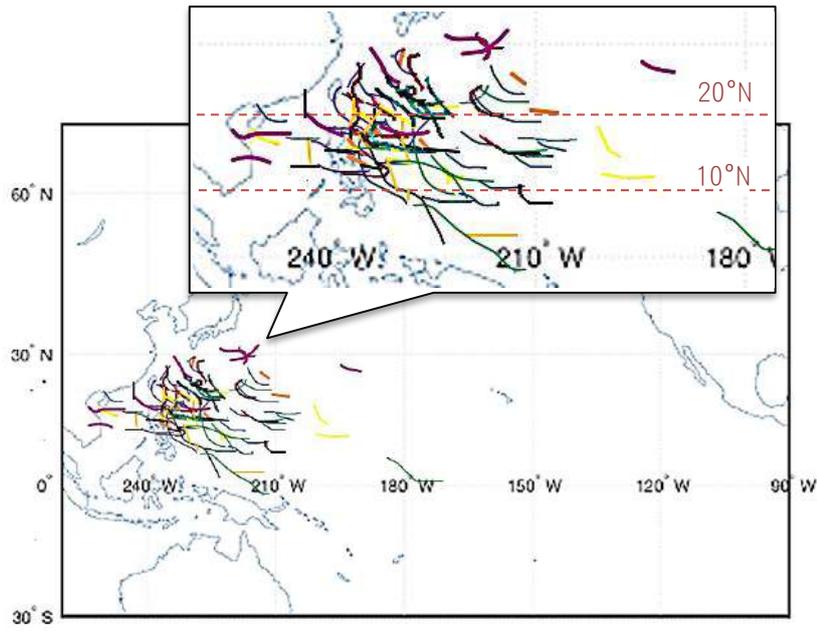


圖 9：2011 年-2020 年 RI 現象發生位置分佈

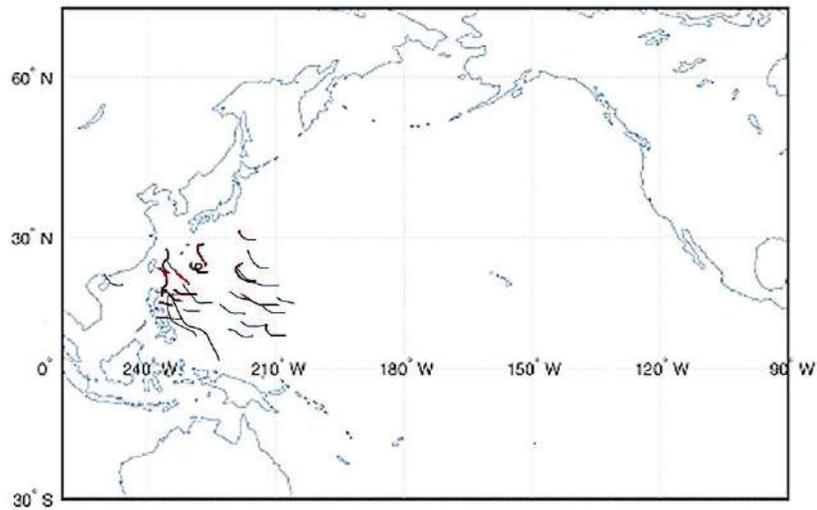


圖 10：2011 年-2020 年 RI 現象發生位置分佈(聖嬰年)

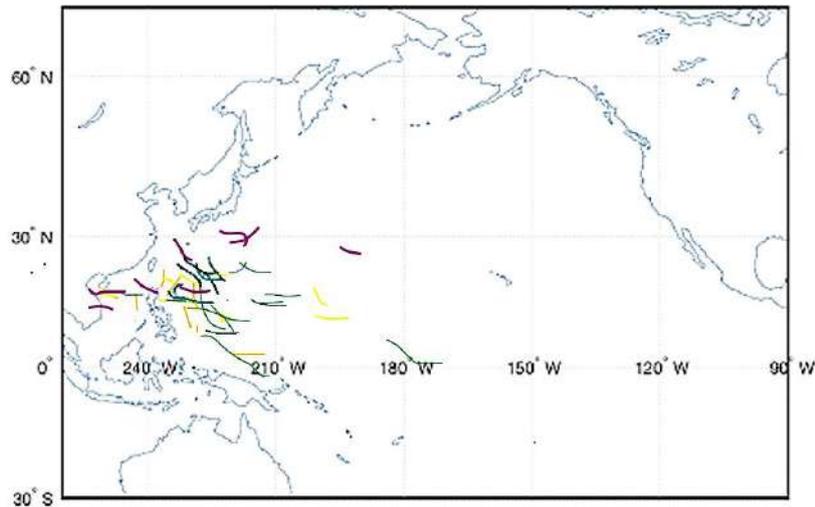


圖 11：2011 年-2020 年 RI 現象發生位置分佈(正常年)

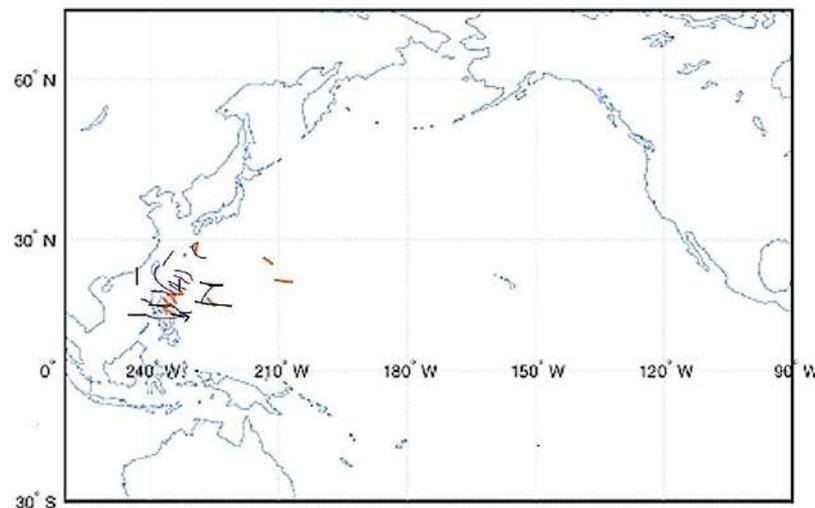


圖 12：2011 年-2020 年 RI 現象發生位置分佈(反聖嬰年)

(六)如圖 9，2011 年-2020 年西北太平洋颱風發生 RI 現象主要分佈於  $5^{\circ}\text{N}\sim 30^{\circ}\text{N}$  的範圍內，其中主要為  $10^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$ ，其次為  $20^{\circ}\text{N}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 。

(七)反聖嬰年期間颱風發生 RI 現象時的移動路徑(位置)，相較來說較偏太平洋西側 ( $100^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$ )(如圖 10)，聖嬰年期間大多颱風發生 RI 現象的移動路徑(位置)，明顯偏東( $150^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}\text{E}$ ) (圖 10、圖 11、圖 12)。

(八)以緯度來看，反聖嬰年期間颱風發生 RI 現象的移動路徑(位置)，多分佈於  $10^{\circ}\text{N}\sim 25^{\circ}\text{N}$ ，聖嬰年期間颱風發生 RI 現象的位置，則為  $5^{\circ}\text{N}\sim 25^{\circ}\text{N}$ ，分佈範圍緯度較低(圖 10、圖 11、圖 12)。

#### 四、探討 RI 現象與颱風最大強度的關聯

(一)從表 4 及圖 13 可知，沒有任何輕度颱風經歷 RI 現象，有 32.7%的中度颱風經歷過 RI 現象，而有 90.6%強烈颱風經歷過 RI 現象。我們特別發現到，6 至 11 月颱風最活躍的月份，強颱風的生成與發生 RI 現象有著高度相關(相關係數為 0.947)。

表 4：不同強度颱風發生 RI 現象統計

項目	個數(A)	發生 RI 現象(B)	發生率 (A/B) (%)
輕度颱風	103	0	0
中度颱風	55	18	32.7
強烈颱風	96	87	90.6

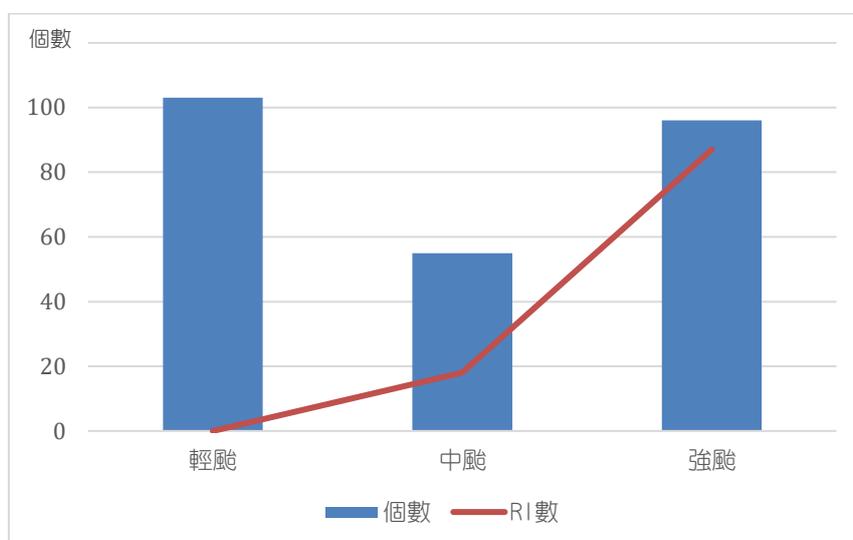


圖 13：2011 年-2020 年輕颱、中颱、強颱個數與 RI 發生數

(二)根據 RI 現象的定義，經歷過 RI 現象的颱風，其 RI 數值能大到多少？有多少比例是發生在中度颱風發展階段？有多少比例是發生在強烈颱風發展階段呢？首先，我們先將每個出現 RI 現象的颱風，記錄每一段 RI 的數值，將數據製成柱狀圖(如圖 14)，最常出現+30Kts/24hours，大致上 RI 值愈大，其發生機率愈低。

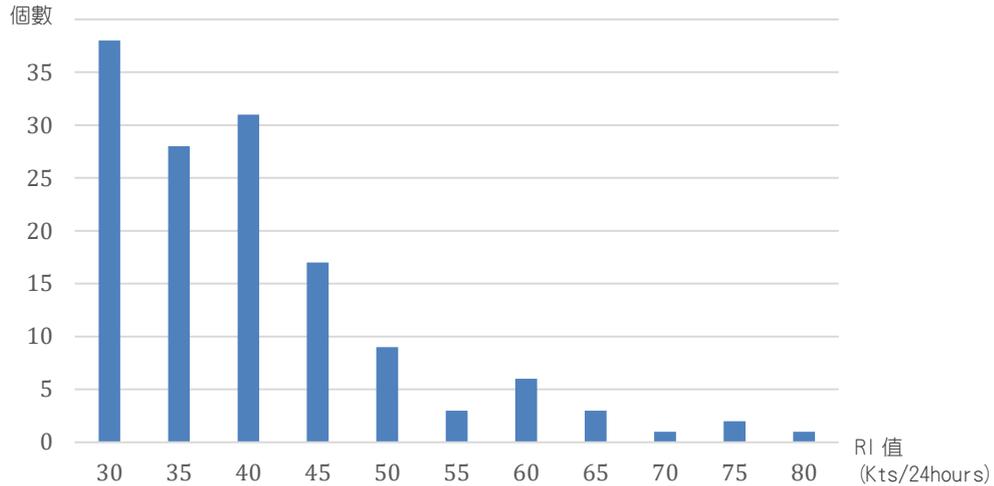


圖 14：2011 年-2020 年颱風 RI 數值

(三)接下來，依照中央氣象署對於颱風等級的分類，我們將發生 RI 現象的強度變化對應於颱風強度發展階段，統計如下表：

表 5：颱風強度發展階段發生 RI 現象的統計

熱低~輕度	輕度~中度	輕度~強烈	中度	中度~強烈	強烈
6	63	11	3	52	13

根據表 5 的結果，可發現颱風發生 RI 現象最常出現在輕度颱風發展至中度颱風階段(占 43%)，其次是中度颱風發展至強烈颱風階段(占 35%)。我們並發現 2011 年-2020 年共有 11 個經歷由輕度颱風快速發展至強烈颱風的 RI 個案，其中有 3 個颱風同時也經歷了兩次的 RI 現象，有 HALONG(2014 年)、GENEVIEVE(2014 年)、JEBI(2018 年)等颱風。

(四)此外，NESAT(2011 年)、VICENTE(2012 年)(一天經歷快速增強與快速減弱)、PRAPIROON(2012 年)、WIPHA(2013 年)、CHMPI(2015 年)、LIONROCK(2016 年)、LAN(2017 年)、WUTIP(2019 年)、MATMO(2019 年)、BAVI(2020 年)等強烈颱風雖未經歷 RI 現象，但仍有出現 SI 現象(Slow Intensification，緩慢增強)( $30 > \Delta v > 10$ (Kts))。

## 五、探討 RI 現象與颱風生命期的關聯

(一)颱風的生命週期平均來說是多少天？是否經歷 RI 現象的強颱，生命期普遍較長？

我們將 2011 年-2020 年的颱風生命期天數加以統計，有不到 1 天的，例如

TOKAGE 颱風(2011 年)；也有不少颱風超過 10 天，甚至有生命期長達 23 天、從中太平洋越過國際換日線進入西北太平洋的 KILO 颱風(2015 年)。從圖 15 來看，颱風生命期大多為 3 至 11 天。我們再將強颱分為「有發生 RI」、「無發生 RI」兩組，求其(生命期)平均值，結果前者為 9.4 天、後者為 9.7 天，顯示經歷 RI 現象的強颱，生命期並未較長。

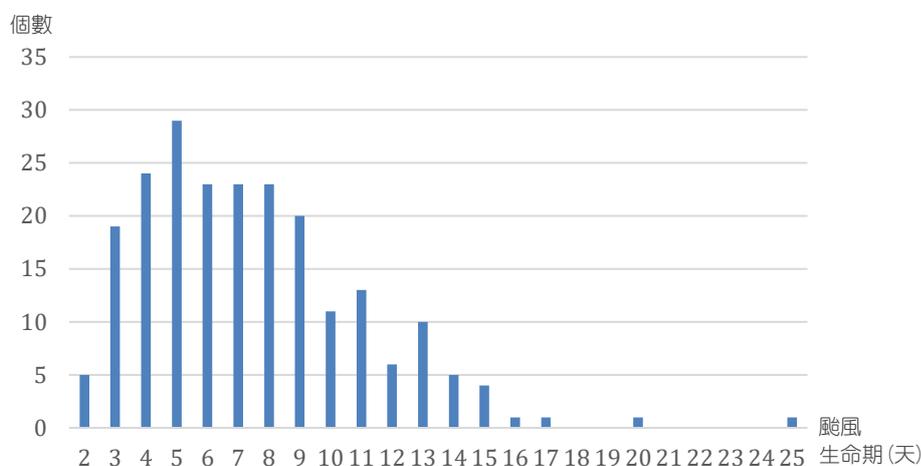


圖 15：颱風生命史(天數)統計

(二)發生 RI 現象颱風對應於其颱風生命期(形成期、發展期、極盛期和衰弱期)，結果如下表：

表 6：颱風生命史出現 RI 現象次數

發生期	發展期	極盛期	衰弱期
4	103	38	1

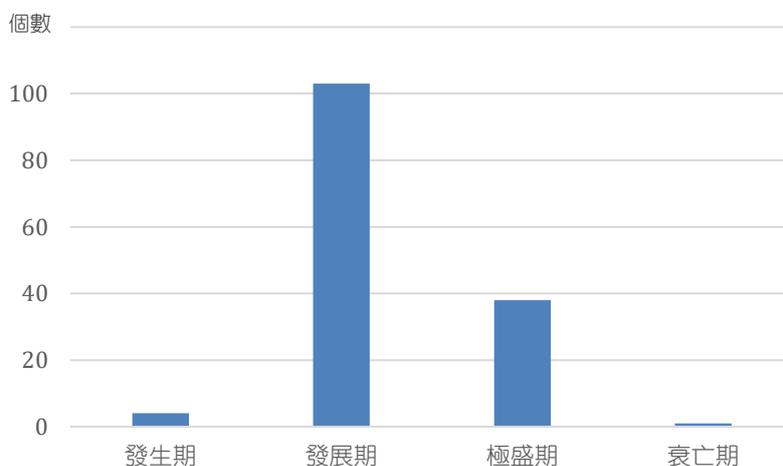


圖 16：颱風 RI 現象發生於生命期各階段情形

(三)我們從圖 16 發現到，RI 現象最常出現於颱風的發展期(71%)，這段期間颱風還可能繼續增強，尚未到達最大強度的階段。其次，有 26%的 RI 現象發生於極盛期，表示這類型的颱風在經歷 RI 現象後，強度就達到最大值不再增強。

(四)經歷兩次或三次 RI 現象的颱風中，RI 現象有分別前後出現在發展期、極盛期的類型，像是 LEKIMA(2013 年)、KROSA(2019 年)等颱風。也有都出現在發展期的類型，像是 SOUDELOR(2015 年)、LIKIMA(2019 年)等颱風。



圖 17：寶發(BOPHA)颱風路徑圖(JTWC)

(五)極少有颱風的 RI 現象出現在形成期和衰弱期。其中的例子是 2012 年的寶發 (BOPHA)颱風(圖 17)，第一次的 RI 現象出現在 11/30-12/1 期間，強度由 55Kts-115 Kts，12/3 到達最大強度 150 Kts，因碰觸菲律賓部分陸地後，強度開始減弱，但接著移動到呂宋島西方海域，於 12/7-12/8 期間出現第二次 RI 現象，強度由 65Kts-110 Kts，算是在衰亡期又再次出現 RI 現象的颱風案例。

## 六、探討經歷 RI 現象期間颱風結構的發展與變化(個案 I)

(一)我們根據歷年手繪圖(如附錄)，設定挑選在台灣附近發生 RI 現象的颱風，再比對氣象署的颱風資料庫內的資料，包括路徑圖、衛星雲圖(含可見光衛星雲圖和紅外線衛星雲圖)、雷達圖等，選定了 2012 年的天秤(TEMBIN)颱風(8/23-8/24 在台灣附近經歷 RI)(圖 18)，進一步作為個案分析。

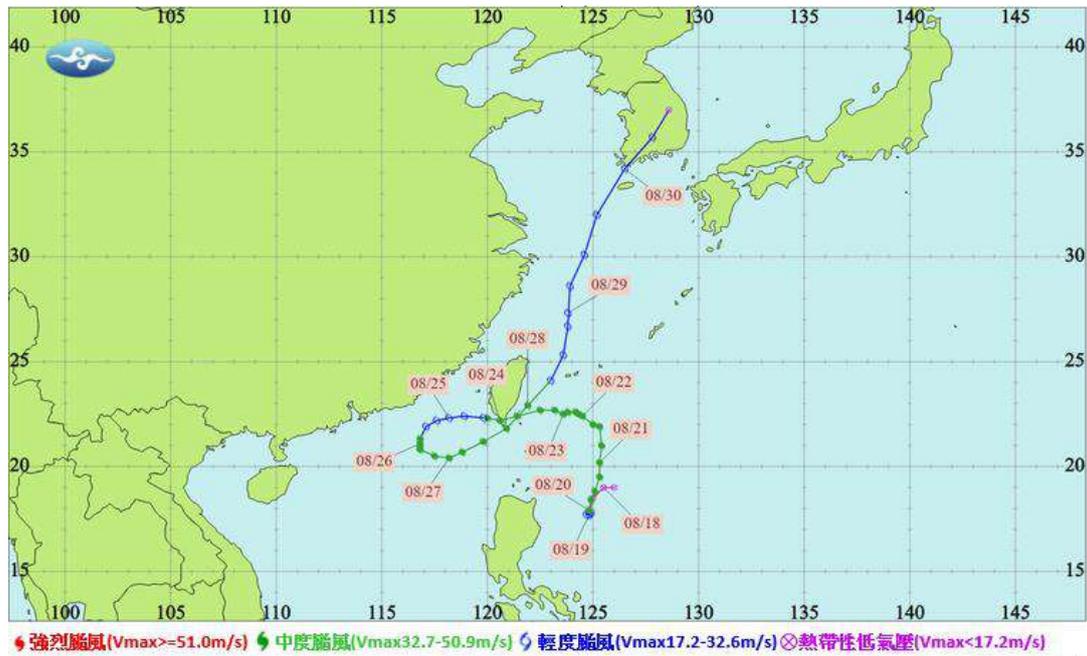
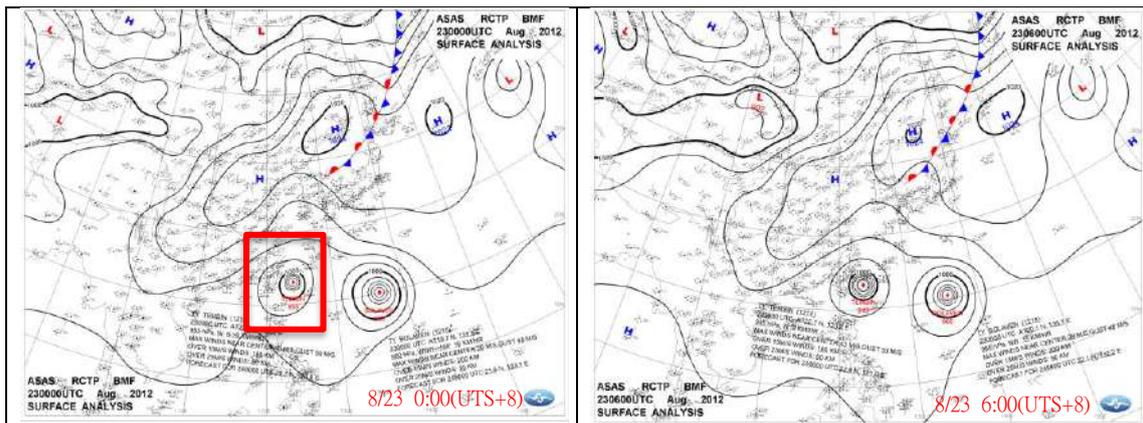


圖 18：天秤颱風路徑圖(氣象署)

(二)從 JTWC 資料得到天秤颱風共有三次 RI 現象，分別是 8/19(35-75 Kts)、8/20(75-115 Kts)、8/23(90-120 Kts)，並由氣象署的颱風資料庫下載地面天氣圖、雷達回波圖及衛星雲圖，觀察這段時間颱風的變化。比較特別的是第三次 RI，8/23 0:00(UTS)為 90Kts、8/23 12:00(UTS)為 120 Kts、8/24 0:00(UTS)又降為 100 Kts。

(三)由地面天氣圖可知天秤颱風(如圖 19 紅色方框所示)8/23 0:00(UTS+8)時中心氣壓為 955hPa，6:00(UTS+8)時中心氣壓降至 945 hPa，12:00(UTS+8)時、18:00(UTS+8)時中心氣壓仍為 945 hPa，8/24 0:00(UTS+8)時中心氣壓又升為 960 hPa，6:00(UTS+8)時更升至 970 hPa，除中心氣壓的變化外，也可從地面天氣圖看出 RI 期間暴風圈略為變大。天秤颱風經歷 RI 發展階段後，因颱風結構接觸陸地，強度開始變小，暴風圈略為縮小(8/24 5:00(UTS+8)於屏東牡丹鄉附近登陸)。



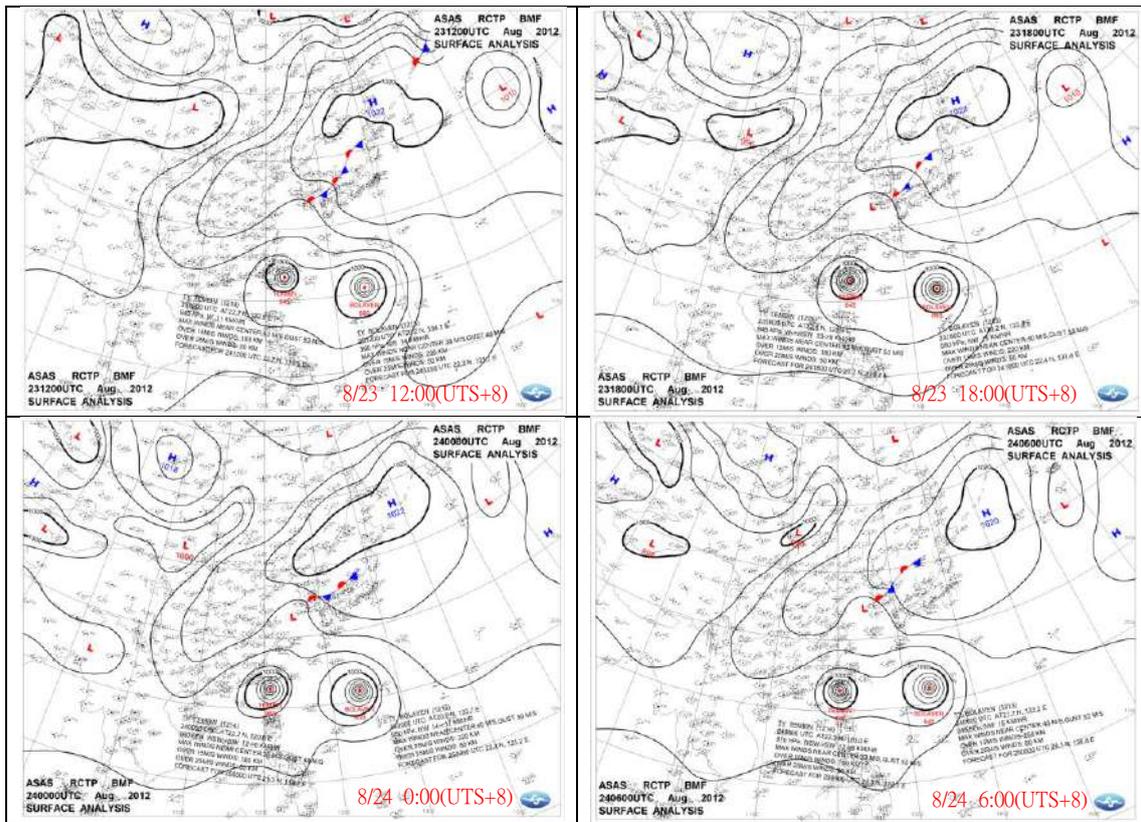


圖 19：地面天氣圖(天秤颱風)(氣象署)

(四)從圖 20 的雷達圖可以發現颱風結構變化非常迅速、明顯，強回波的比例逐漸增加，也表示發生 RI 的期間雨量愈來愈強。颱風眼區主要特徵為無回波或弱回波的區域，眼牆區經常成環狀封閉，主要為對流性的強降水區，同時是颱風風速最強的區域。螺旋雨帶其降水區呈螺旋狀，回波的強度一般較眼牆區弱，且無封閉的情形發生，由於其影響區域廣闊，經常是造成劇烈降雨重要的原因之一。

(五)圖 20 的紅外線雲圖中，天秤颱風位於台灣東(南)部海面上，它的右方是暴風半徑範圍更大的布拉萬(BOLAVEN)颱風。第三次 RI 期間(8/23 0:00 ~12:00(UTC))，颱風眼形狀逐漸更趨於正圓，螺旋狀雲帶與眼牆發展的非常迅速，颱風整體結構愈來愈完整、對稱。因颱風持續接觸陸地，結構被地形和摩擦力所破壞，結束 RI 現象後((8/23 12:00 ~8/24 0:00(UTC))出現風眼縮小甚至消失，眼牆、螺旋狀雲帶也受到影響等現象，颱風結構開始鬆散。

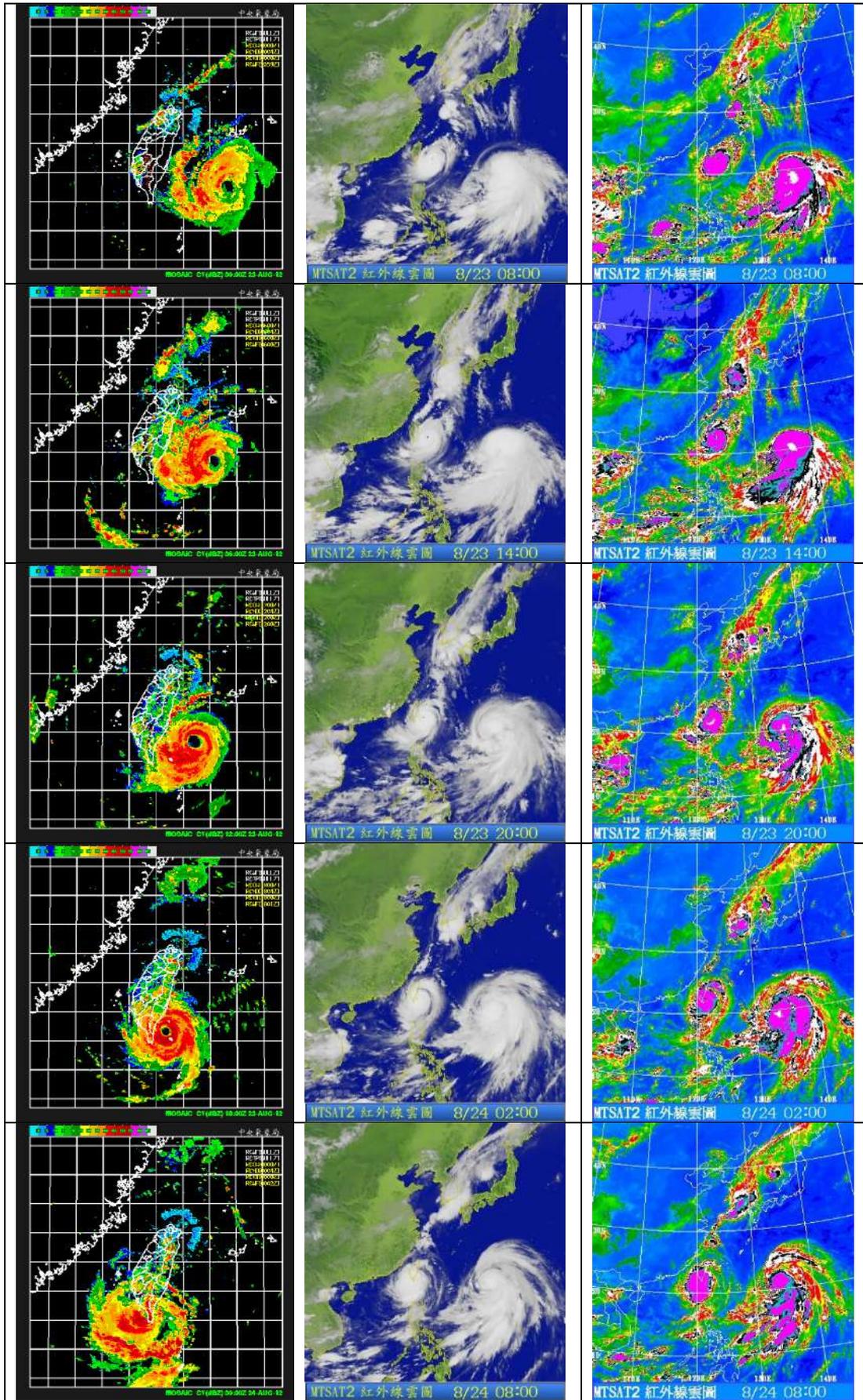


圖 20：雷達圖、紅外線雲圖與色調強化紅外線雲圖(天秤颱風) (氣象署)

## 七、探討經歷 RI 現象期間颱風結構的發展與變化(個案 II)

(一) JTWC 颱風資料僅止於 2020 年之前，我們再從 2020 年之後的颱風，挑選出有出現 RI 現象的卡努(KHANUN)颱風(相關數據來自 Zoom Earth)作為第二個個案進行分析，先繪製出 JTWC 時間與風速(Kts)、中心氣壓(hPa)的關係圖(圖 21)。

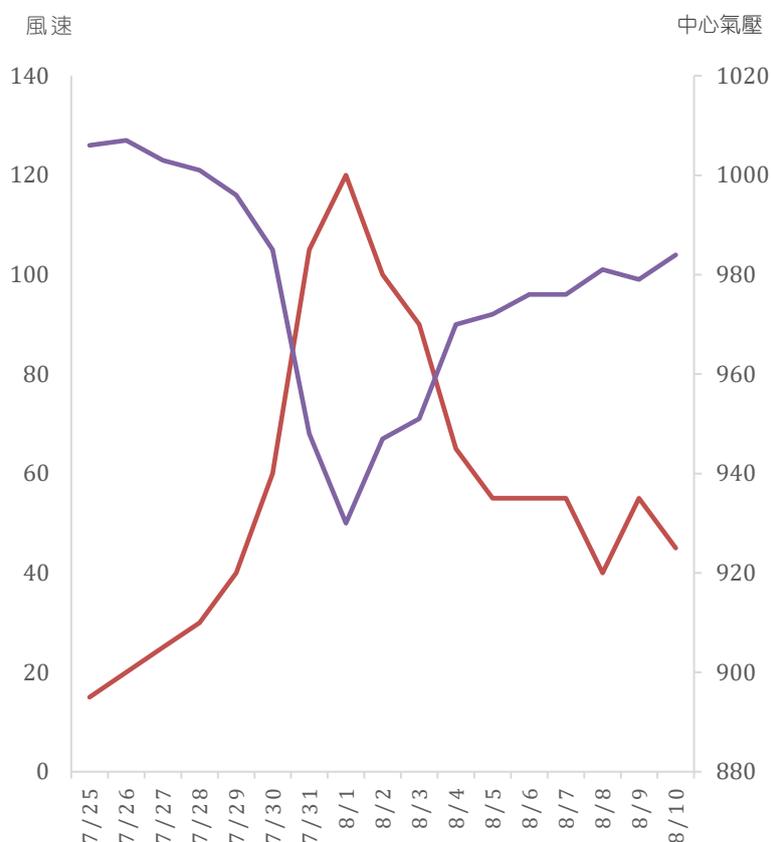


圖 21：KHANUN-風速、中心氣壓變化關係圖

(二)卡努颱風發生 RI 現象階段，是在 7/30 0:00(UTS)-7/31 0:00(UTS)期間，強度由 60(Kts)上升至 105(Kts)。由圖 21 也可發現，當颱風中心風速逐漸變強，中心氣壓也隨之變小，風速最強時也中心氣壓達最小值。

(三)從圖 22 的紅外線雲圖看出卡努颱風 RI 現象階段，螺旋雲帶發展迅速且明顯，由 7/30 16:00(UTS+8)這張雲圖可發現已形成風眼、眼牆，且在短時間內快速內縮，眼牆逐漸厚實。

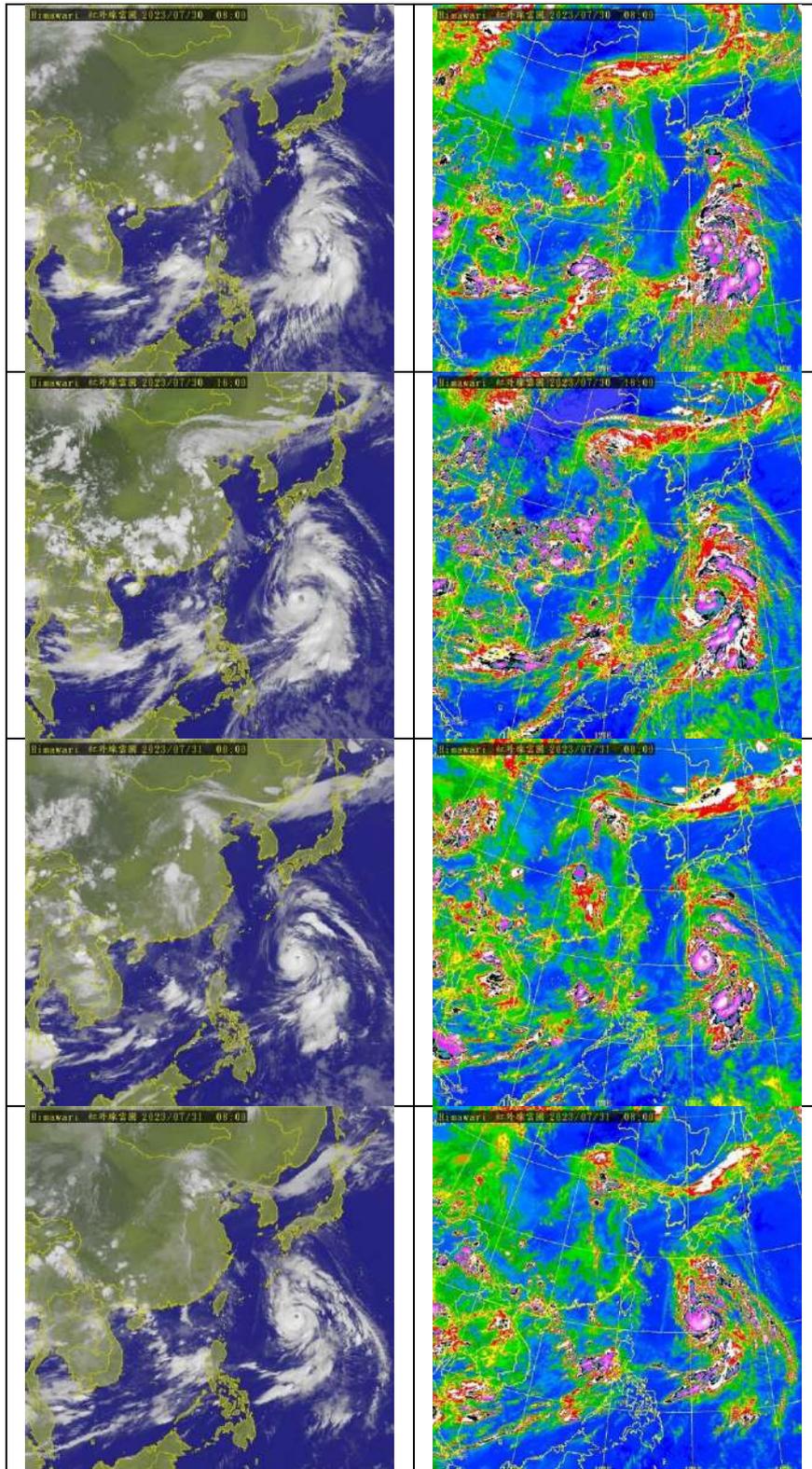


圖 22：紅外線雲圖與色調強化紅外線雲圖(卡努颱風)(氣象署)

(四)透過圖 22 的色調強化紅外線雲圖，可見颱風中心的紫色雲系面積愈來愈大也更為對稱，顯示中心對流雲系持續發展且強度愈來愈強。

## 伍、結論

- 一、並非所有颱風都會經歷 RI 現象，颱風是地球上海洋與大氣交互作用下的產物，RI 現象的發生，必須要有合適的外在環境與颱風自身等條件的搭配而成。
- 二、西北太平洋颱風最活躍的 6 至 11 月，強颱風的生成與發生 RI 的現象具高度正相關，秋季(9 月-11 月)颱風較其他季節颱風更容易伴隨有 RI 現象的發展。
- 三、相較於反聖嬰(年)時期、平常年，聖嬰(年)時期強颱風的比例明顯較高，發生 RI 現象的颱風比例也相對較高。
- 四、2011 年至 2020 年間西北太平洋颱風 RI 現象的生成位置主要為  $10^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$ ，其次為  $20^{\circ}\text{N}\sim 30^{\circ}\text{N}$ ，極少數出現在  $5^{\circ}\text{N}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 。
- 五、聖嬰現象發生期間，西北太平洋颱風 RI 現象的生成位置，較平常年、反聖嬰年更偏東、偏南；反聖嬰現象發生期間，西北太平洋颱風 RI 現象的生成位置則較往西、往北偏，更靠近菲律賓、台灣方面。
- 六、RI 現象主要出現在颱風的發展期，輕度颱風至中度颱風的強度發展階段統計次數略多於中度颱風至強烈颱風階段。少部分可能出現在極盛期，RI 現象發生的同時，颱風也達到最大強度。在颱風到達最大強度後，則極少出現 RI 現象。
- 七、相較未經歷 RI 現象的強颱風，有經歷 RI 現象的強颱風其生命期並未較長。
- 八、經歷兩次或三次 RI 現象的颱風，主要有：(1)RI 現象分別出現在發展期、極盛期、(2)RI 現象都出現在發展期等兩種類型。
- 九、由衛星氣象資料輔助比對，以 2012 年天秤颱風、2023 年卡努颱風作為個案分析，均發現 RI 現象有伴隨中心氣壓下降( $|\Delta P|>20\text{hPa}$ )、螺旋雲帶與眼牆發展迅速、颱風眼縮小、颱風結構愈加緊實且愈對稱等現象。

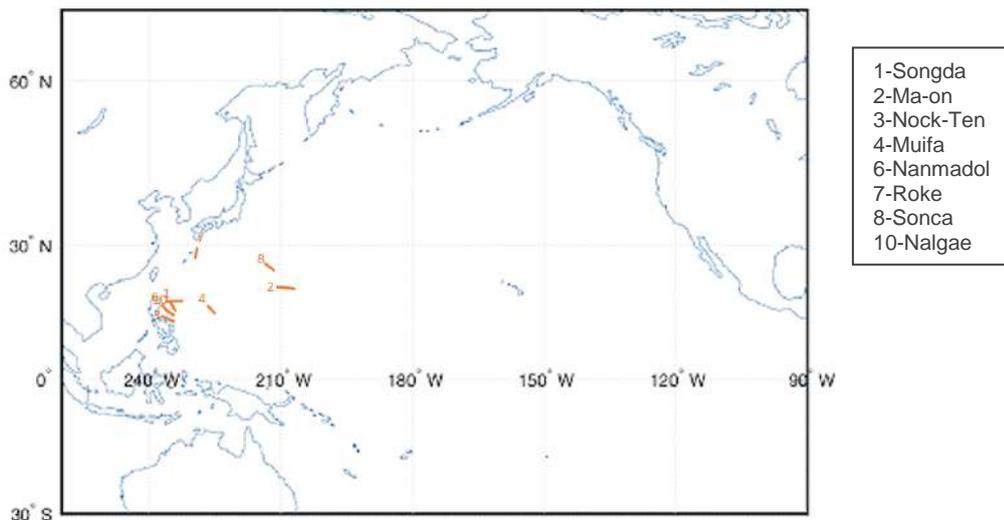
## 陸、未來展望

溫暖的海水是颱風生成的必要條件之一，但颱風的增強，就不僅是海水表面溫度 (SST) 所能決定，海洋熱含量 (OHC) 更是影響颱風強度的關鍵。將颱風個案的觀測資料，與 SST、OHC、垂直風切等資料加以比對分析，對於颱風 RI 現象的瞭解，是值得更進一步的研究面向。

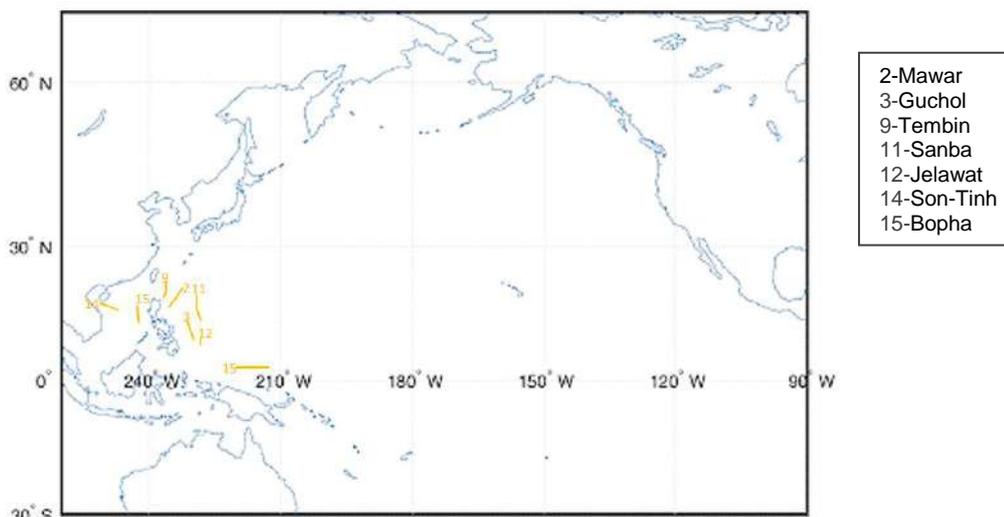
## 柒、參考文獻資料

- 一、JTWC：<https://www.metoc.navy.mil/jtwc/jtwc.html>
- 二、中央氣象署颱風資料庫：<https://rdc28.cwa.gov.tw/TDB/>
- 三、Climate Prediction Center(NOAA) the Oceanic Niño Index (ONI)：  
[https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)
- 四、國家氣候變遷科學報告 2024-現象、衝擊與調適(國科會、環境部)：  
<https://www.moenv.gov.tw/nera/7CFA1D364EA6AFE4>
- 五、維基百科(颱風)：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%A2%B1%E9%A2%A8>
- 六、雷翔宇、黃家俊、林書帆、林吉洋、莊瑞琳。颱風：在下一次巨災來臨前。春山出版。2019年。
- 七、呂特根、塔布克、塔沙(著)；范賢娟、黃靜雅(譯)。觀念地球科學4：天氣·天文。天下出版。2012年。
- 八、李明營、李清騰、羅資婷、洪景山(2023)。為什麼颱風又沒登陸。科學人，259，56-60。
- 九、陳郁欣(2013)。西北太平洋颱風增強與海洋渦流關係之長期變化。第53屆中小學科學展覽會。高中組地球科學科。
- 十、江博楨、周亞賢、林集揚(2007)。二十世紀後期聖嬰與西北太平洋颱風的關係。第47屆中小學科學展覽會。高中組地球科學科。
- 十一、蒲姿佑、辛詠瑄、柯欣妤(2016)。聖嬰-南方震盪現象對颱風的影響。第56屆中小學科學展覽會。高中組地球科學科。
- 十二、廖時萱、劉欣怡(2013)。小男孩別來亂-聖嬰來了!。第53屆中小學科學展覽會。國中組地球科學科。
- 十三、許晃雄(2005)。多重尺度交互作用與颱風。自然科學簡訊。17卷1期。
- 十四、王嘉琪(2013)。判讀衛星雲圖，網民智慧搞定。科學月刊。527期。
- 十五、黃椿喜、賴竟豪(2017)。從衛星看颱風形成過程。科學月刊。569期。

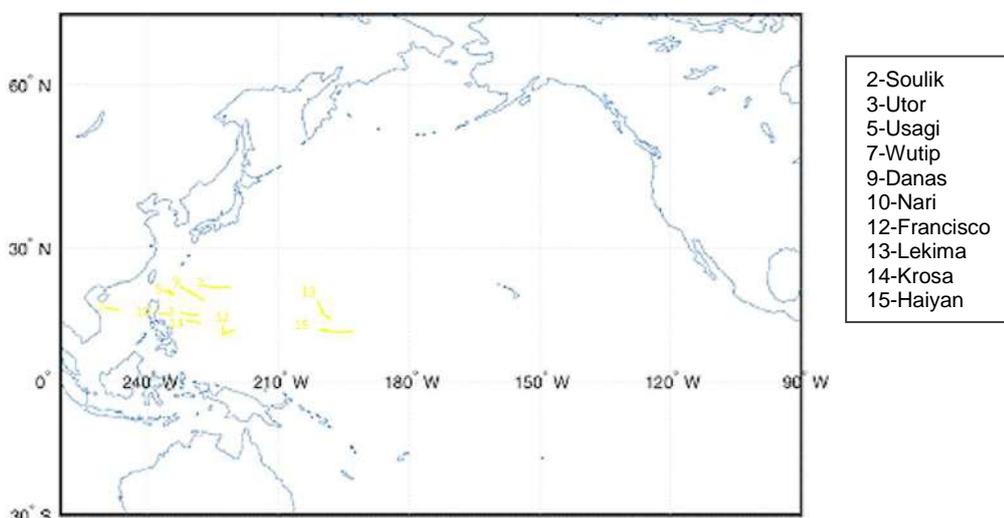
# 附錄



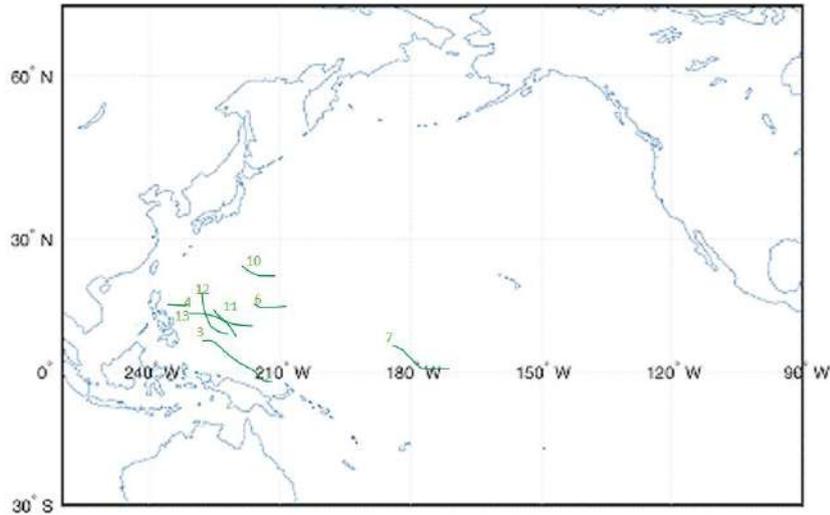
2011 年西北太平洋颱風 RI 現象發生位置



2012 年西北太平洋颱風 RI 現象發生位置

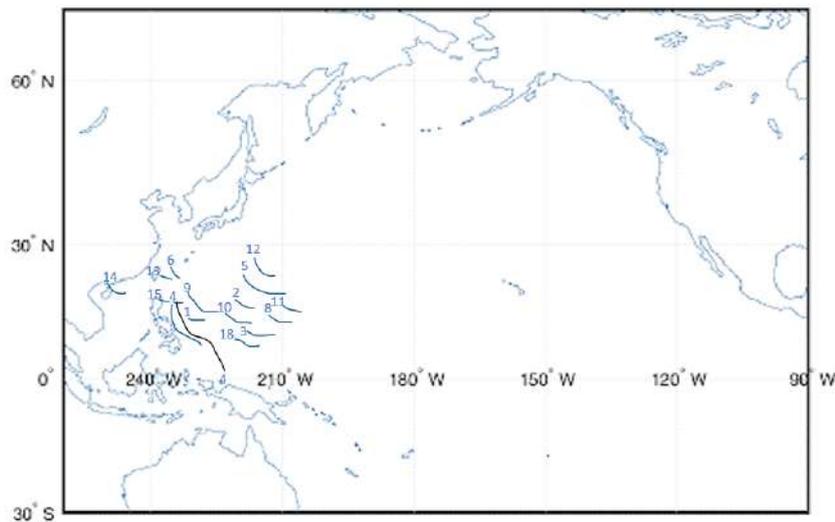


2013 年西北太平洋颱風 RI 現象發生位置



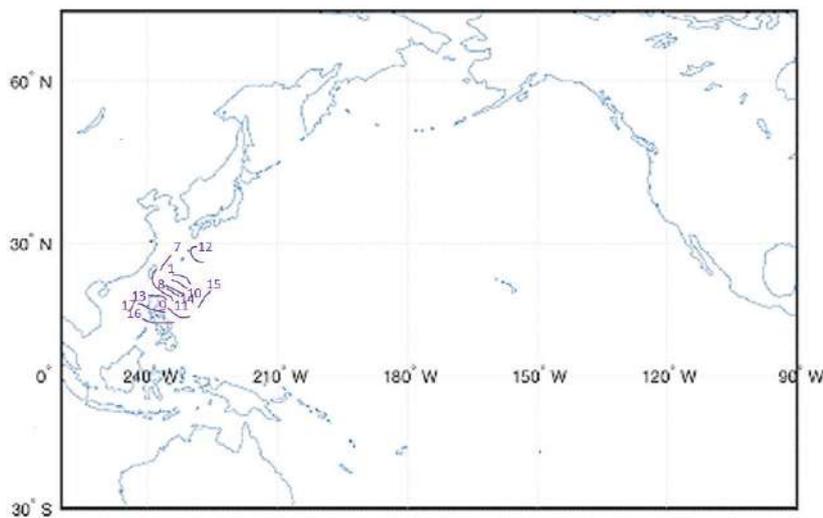
- 3-NEOGURI
- 4-RAMMASUN
- 6-HALONG
- 7-GENEVIEVE
- 10-PHANFONG
- 11-VONGFONG
- 12-NURI
- 13-HAGUPIT

2014 年西北太平洋颱風 RI 現象發生位置



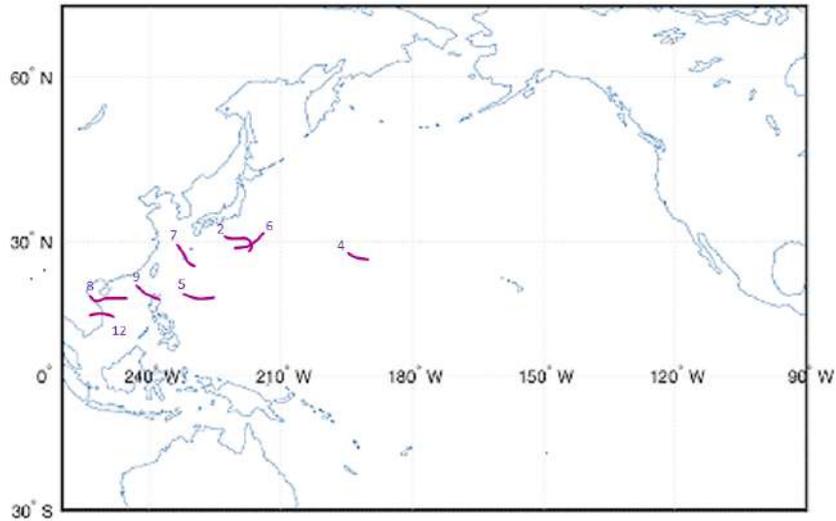
- 1-MEKKHALA
- 2-HIGOS
- 3-MAYSAK
- 4-NOUL
- 5-DOLPHIN
- 6-CHAN-HOM
- 8-NANGKA
- 9-SOUDELOR
- 10-GONI
- 11-ATSANI
- 12-KROVANH
- 13-DUJUAN
- 14-MUJIGAE
- 16-KOPPU
- 18-IN-FA
- 19-MELOR

2015 年西北太平洋颱風 RI 現象發生位置



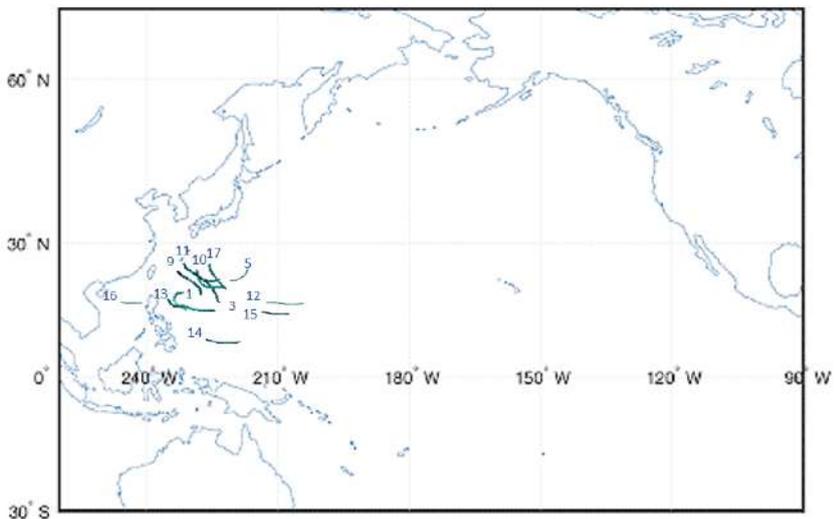
- 1-NEPARTAK
- 7-NAMTHEUN
- 8-MERANTI
- 9-MALAKAS
- 10-MEGI
- 11-CHABA
- 12-SONGDA
- 13-SARIKA
- 14-HAIMA
- 15-MEARI
- 16-TOKAGE
- 17-NOCK-TEN

2016 年西北太平洋颱風 RI 現象發生位置



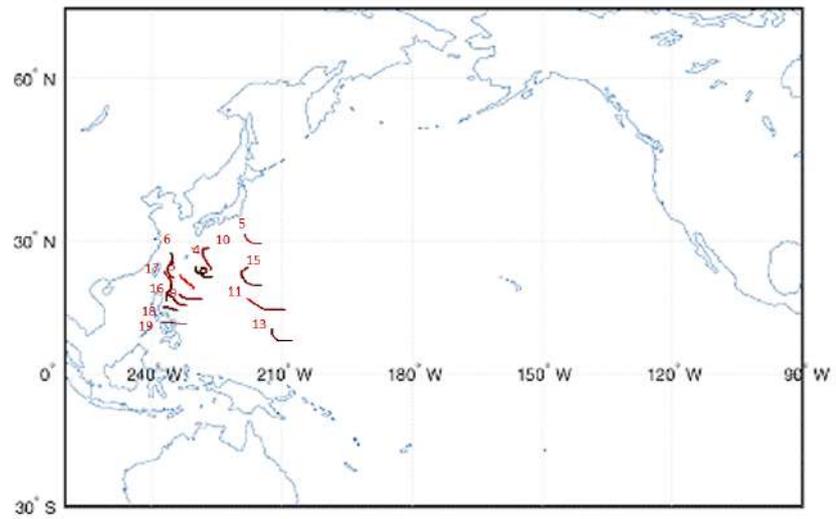
- 2-NORU
- 4-BANYAN
- 5-HATO
- 6-SANVU
- 7-TALIM
- 8-DOKSURI
- 9-KHANUN
- 11-SAOLA
- 12-DAMREY

2017 年西北太平洋颱風 RI 現象發生位置



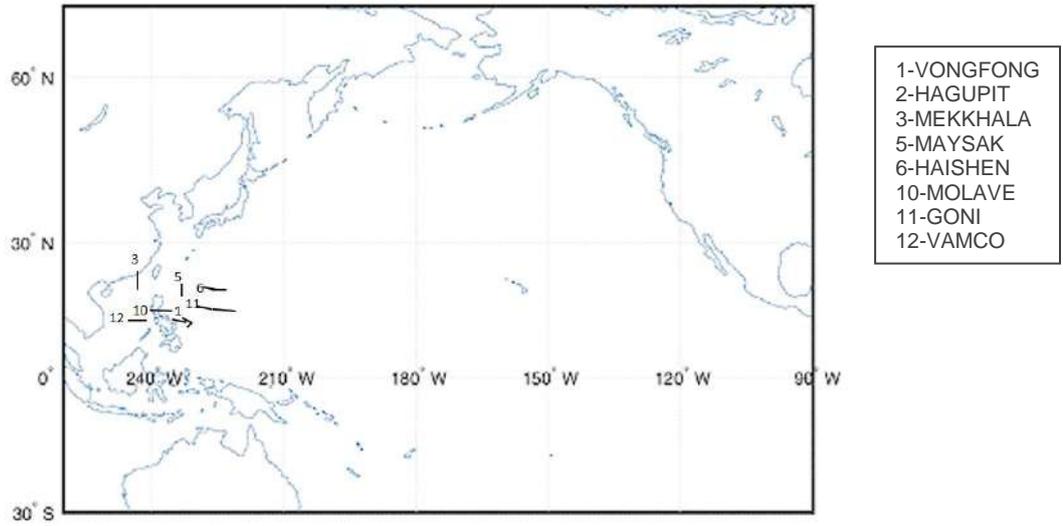
- 1-JELAWAT
- 3-MARIA
- 5-JONGDARI
- 8-HECTOR
- 9-SOULIK
- 10-CIMARON
- 11-JEBI
- 12-MANGKHUT
- 13-TRAMI
- 14-KONG-REY
- 15-YUTU
- 16-USAGI
- 17-MAN-YI

2018 年西北太平洋颱風 RI 現象發生位置



- 3-LEKIMA
- 4-KROSA
- 5-FAXAI
- 6-LINGLING
- 9-HAGIBIS
- 10-NEOGURI
- 11-BUALOI
- 13-HALONG
- 15-FENGSHEN
- 16-KALMAEGI
- 17-FUNG-WONG
- 18-KAMMURI
- 19-PHANFONE

2019 年西北太平洋颱風 RI 現象發生位置



2020 年西北太平洋颱風 RI 現象發生位置

## 【評語】 030511

本研究整合分析衛星觀測資料，專注颱風伴隨 RI 現象的發生的特性。分析工作完整，結論合理。宜對觀測現象再做深入探討。

## 作品簡報

聽客強強滾



# 前言

氣候變遷議題中有關颱風的相關內容，是我們特別關注且好奇的。在某一次討論研究主題時，發現「快速增強 ( Rapid Intensification, 簡稱為 RI ) 」這個特別的名詞，可藉此瞭解颱風強度的增加速率與發展，於是我們想藉由蒐集、分析西北太平洋颱風資料，進一步探究颱風的快速增強現象。

因此，我們擬訂出以下研究目的：

- 一、統計分析各年份、各月份經歷 RI 現象颱風的情形。
- 二、探討聖嬰事件與反聖嬰事件對颱風 RI 現象的影響。
- 三、探討 RI 現象與颱風強度、生命期的關聯。
- 四、探討經歷 RI 現象期間颱風結構的發展與變化。

# 研究過程或方法



## 一、快速增強的定義、建立資料庫

- (一) 我們以聯合颱風警報中心 ( JTWC ) 網站近十年 ( 2011 年至 2020 年 ) 的西北太平洋熱帶氣旋作為本研究的研究對象。
- (二) 採用美國國家颶風中心 ( NHC ) 快速增強 ( Rapid intensification, 簡稱為 RI ) 的定義，內容為：24小時內之近中心最大風速增加至少 30 kt 以上 ( kt：風速單位；1 kt=等於1.852 km/h )。將西北太平洋被命名的熱帶氣旋，其中若有符合 24小時近中心最大風速增加 30 kt ( s ) 以上，即定義為發生 RI 現象。
- (三) 以 Google 試算表建立線上資料庫，內容包括有編號、颱風名稱、RI 次數、發生 RI 現象日期、風速變化、生命期最大強度、生命週期 ( 天 )、發生 RI 期間屬於生命期哪一階段等，方便後續進行統計、分析。

## 二、統計與分析發生 RI 現象的颱風個數與比例

- (一) 統計各月份輕度颱風、中度颱風與強烈颱風的個數，再製作統計圖表分析經歷一次 RI 現象及多次 RI 現象的颱風個數。
- (二) 統計每一年生成輕度颱風、中度颱風與強烈颱風的個數，再製作統計圖表分析經歷一次 RI 現象及多次 RI 現象的颱風個數。

## 三、聖嬰現象與反聖嬰現象對颱風 RI 現象的影響

- (一) 由美國國家海洋暨大氣總署 ( NOAA ) 網站取得 ONI 指數，若平均 SST ( Sea Surface Temperature ) 超過+0.5°C，稱為「聖嬰現象」；若低於-0.5°C，則稱為「反聖嬰現象」。
- (二) 若一年內，連續 5 個 ONI 指數都大於 0.5，稱為「聖嬰年」；若該年連續 5 個月 ONI 指數小於-0.5則稱為「反聖嬰年」；如都不屬於前兩者，則為「正常年」。
- (三) 依年份、編號將每個颱風發生 RI 現象期間的路徑繪製於地圖的相對位置，逐一疊加起來再分別依聖嬰年、反聖嬰年及正常年進行分析。

## 四、颱風強度發展、生命期與經歷 RI 事件的關聯

- (一) 採用氣象署對颱風強度 ( 近中心最大風速 ( Kts ) ) 的分類—輕度颱風 ( 34 ~ 63Kts )、中度颱風 ( 64 ~ 99Kts )、強烈颱風 ( 100Kts以上 )，以 Excel 計算Pearson 相關係數 r 找出颱風強度與經歷 RI 事件的關聯。
- (二) 統計有發生 RI 現象的颱風每一段 RI 的數值，並製成統計圖分析。
- (三) 統計各颱風發生 RI 現象期間對應於颱風強度發展階段 ( 例如從輕度發展至中度階段 )，並製成統計圖分析。
- (四) 統計各颱風發生 RI 現象期間對應颱風生命期 ( 形成期、發展期、極盛期及衰弱期 ) 的階段，製成統計圖分析。

## 五、經歷 RI 現象期間颱風結構的發展與變化

由氣象署颱風資料庫 ( 包括紅外線衛星雲圖、可見光衛星雲圖、地面天氣圖及雷達回波圖等資料 )，觀察經歷 RI 現象期間颱風眼、眼牆、中心氣壓等變化。

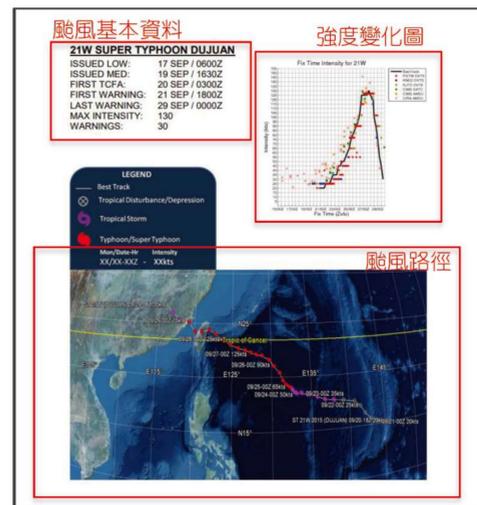


圖1：JTWC熱帶氣旋年度報告

# 研究結果與討論

## 一、各月份發生 RI 現象的情形

- (一) 2011 年- 2020 年期間西北太平洋共有 252 個颱風，平均每年有 25.2 個颱風生成，很接近氣候平均值的 25.4 個 ( 根據中央氣象署 1991 至 2020 年平均 )。
- (二) 6至11月是颱風活躍的月份，約佔 86%，最高的是 8 月，其次依序是 10月、9月。
- (三) 如果從 RI 現象來看，主要是 7 月至 11 月，約佔 86%，最高的是 9 月和 10 月，其次是 8 月。但轉換成發生率 ( 發生 RI 現象颱風數 / 颱風總數 )，反而是 11 月最高，高達 65%，其次是 10 月的 54%、9 月的 47%，可初步推論西北太平洋秋季颱風容易伴隨有 RI 現象的發展。

## 二、各年份發生 RI 現象的情形

- (一) 據 JTWC 統計 1950 年至 2022 年間西北太平洋及南海海域，平均每年有 26.5 個被命名的熱帶氣旋生成，其中平均每年有 16.6 個達到中心持續風速 64 Kts的 ( 中度 ) 颱風標準。
- (二) 2015 年、2016 年、2018 年、2019 年發生 RI 現象的颱風數較多，以 RI 現象的發生率來看，2015 年的 63% 最高，其次是 2019 年的 50%。

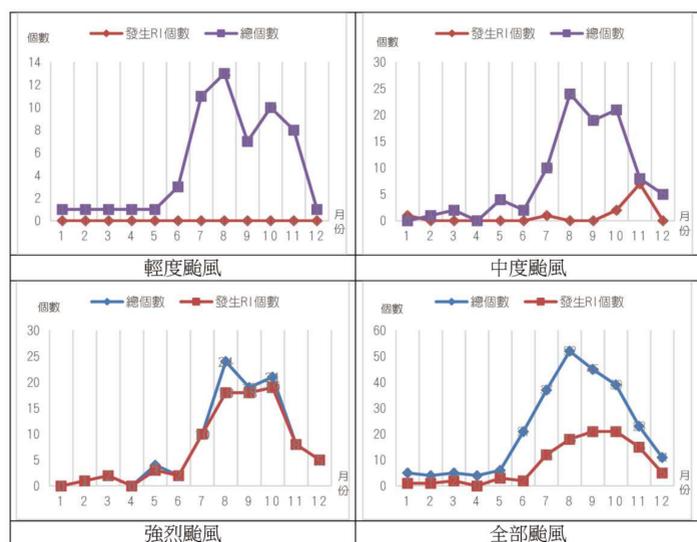


圖2：2011年-2020年各月份颱風總數與發生 RI 現象的颱風數

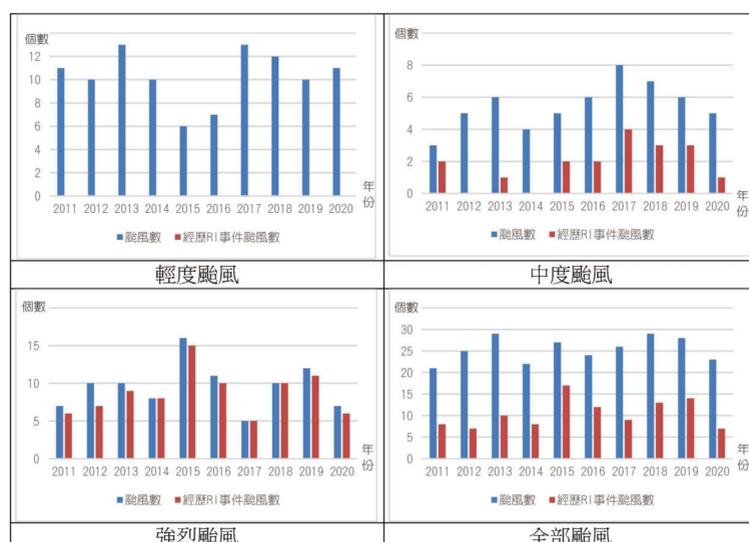


圖3：2011年-2020年各年颱風 ( 總 ) 數與發生 RI 現象的颱風個數

## 三、探討聖嬰事件與反聖嬰事件對颱風 RI 現象的影響

- (一) 我們參考美國氣候預報中心 ( CPC ) 的定義，將 2011年- 2020年分為：
- (二) 聖嬰年、正常年和反聖嬰年每年的颱風總數，彼此沒有顯著差異，但聖嬰年 ( 2015年、2019年 ) 強颱風的比例明顯多於正常年與反聖嬰年，又以 2015年 ( 59% ) 大於 2019年 ( 43% )。
- (三) 2015 年、2019 年發生 RI 現象的颱風數比例較高，反聖嬰年和正常年則較少 ( 反聖嬰年和正常年兩者沒有顯著差異 )，可初步推論聖嬰事件也會影響颱風 RI 現象的發展。
- (四) 我們也發現颱風生命週期中強颱風時期的移動路徑，反聖嬰年會較正常年、聖嬰年更偏北、偏西，也就是對台灣而言的影響相對較大。

表：2011年- 2020年聖嬰年、正常年與反聖嬰年列表

ENSO 條件	年份
聖嬰年	2015 年(強聖嬰)、2019 年
正常年	2012 年、2013 年、2014 年、2017 年、2018 年
反聖嬰年	2011 年、2016 年、2020 年

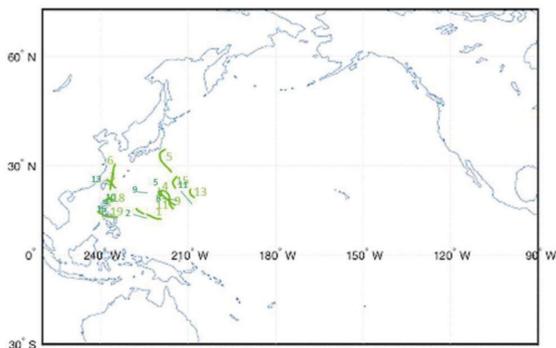


圖4：2011年 - 2020年強颱風階段發生位置分佈（聖嬰年）

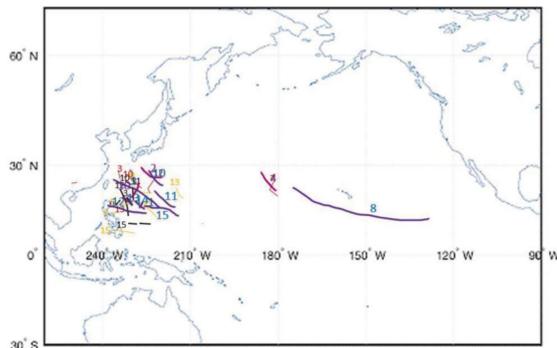


圖5：2011年 - 2020年強颱風階段發生位置分佈（正常年）

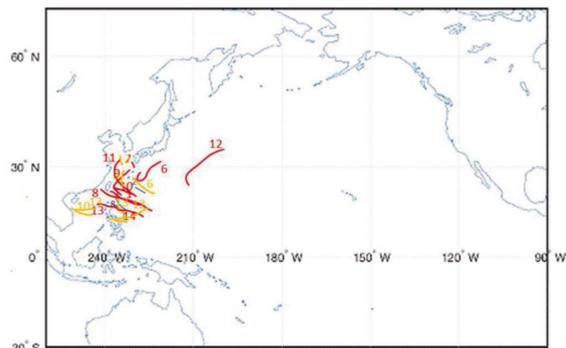


圖6：2011年 - 2020年強颱風階段發生位置分佈（反聖嬰年）

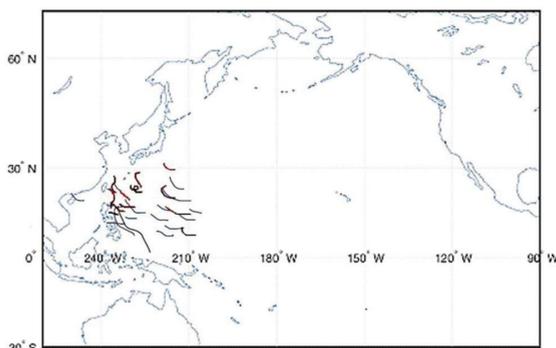


圖7：2011年 - 2020年RI現象發生位置分佈（聖嬰年）

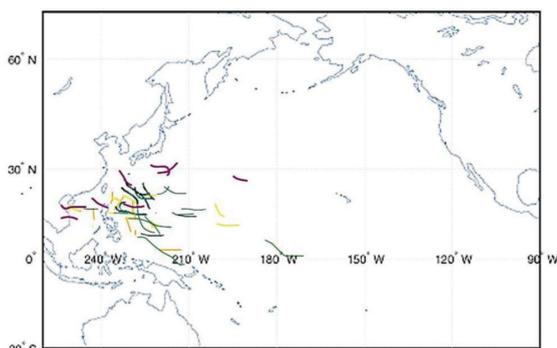


圖8：2011年 - 2020年RI現象發生位置分佈（正常年）

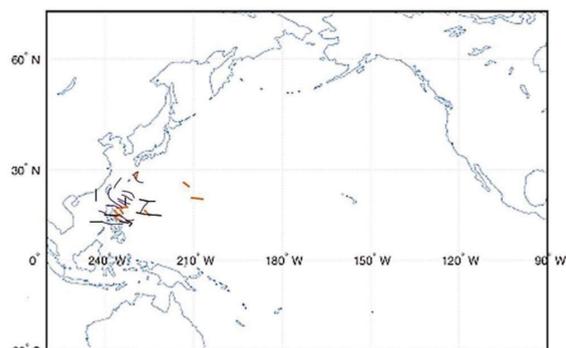


圖9：2011年 - 2020年RI現象發生位置分佈（反聖嬰年）

- (五) 反聖嬰年期間颱風發生 RI 現象時的移動路徑（位置），相較來說較偏太平洋西側（100°E~140°E），聖嬰年期間明顯偏東（150°E~180°E）。
- (六) 以緯度來看，反聖嬰年期間颱風發生 RI 現象的移動路徑（位置），多分佈於 10°N~25°N，聖嬰年期間則為 5°N~25°N，分佈範圍緯度較低。

#### 四、探討 RI 現象與颱風最大強度的關聯

- (一) 有 32.7% 的中度颱風曾經歷過 RI 現象，而有 90.6% 強烈颱風曾經歷過 RI 現象。我們特別發現到，6 至 11 月颱風最活躍的月份，強颱風的生成與發生 RI 現象有著高度相關（相關係數為 0.947）。

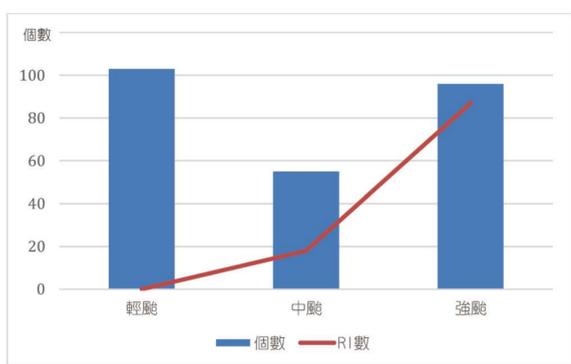


圖10：2011年 - 2020年輕颱、中颱、強颱風個數與 RI 發生數

- (二) 從趨勢來看，愈大的 RI 值，其發生機率通常則愈低。

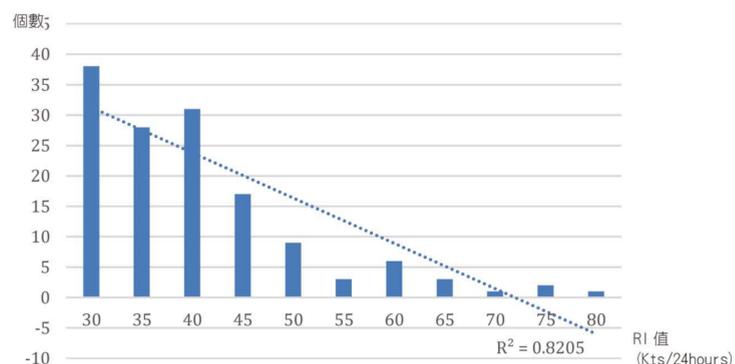


圖11：2011年 - 2020年颱風 RI 數值

- (三) 發生 RI 現象的強度變化對應於颱風強度發展階段，統計如下表：

表：颱風強度發展階段發生 RI 現象的統計

熱低~輕度	輕度~中度	輕度~強烈	中度	中度~強烈	強烈
6	63	11	3	52	13

颱風發生 RI 現象最常出現在輕度颱風發展至中度颱風階段（占 43%），其次是中度颱風發展至強烈颱風階段（占 35%）。我們並發現 2011年 - 2020年共有 11 個經歷由輕度颱風快速發展至強烈颱風的 RI 個案，其中有 3 個颱風同時也經歷了兩次的 RI 現象，有 HALONG（2014年）、GENEVIEVE（2014年）、JEBI（2018年）等颱風。

- (四) 此外，NESAT（2011年）、VICENTE（2012年）（一天經歷快速增強與快速減弱）、PRAPIROON（2012年）、WIPHA（2013年）、CHMPI（2015年）、LIONROCK（2016年）、LAN（2017年）、WUTIP（2019年）、MATMO（2019年）、BAVI（2020年）等強烈颱風雖未經歷 RI 現象，但仍有出現 SI 現象（Slow Intensification，緩慢增強）（ $30 > \Delta v > 10$  (Kts)）。

#### 五、探討 RI 現象與颱風生命期的關聯

- (一) 我們將 2011年-2020年的颱風生命期天數加以統計，有不到 1 天的，例如 TOKAGE 颱風（201 年）；也有不少颱風超過 10 天，甚至有生命期長達 23 天、從中太平洋越過國際換日線進入西北太平洋的 KILO 颱風（2015年）。颱風生命期大多為 3 至 11 天。我們再將強颱分為「有發生 RI」、「無發生 RI」兩組，求其（生命期）平均值，結果前者為 9.4 天、後者為 9.7 天，顯示經歷 RI 現象的強颱，生命期並未較長。

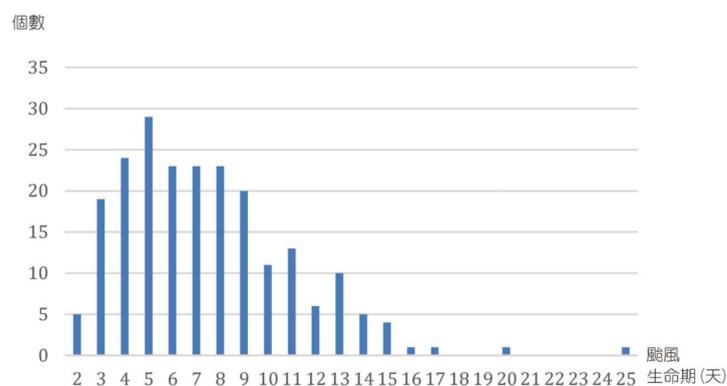


圖12：颱風生命史（天數）統計

- (二) 發生 RI 現象颱風對應於其颱風生命期（形成期、發展期、極盛期和衰弱期），結果如下表：

表：颱風生命史出現 RI 現象次數

發生期	發展期	極盛期	衰弱期
4	103	38	1

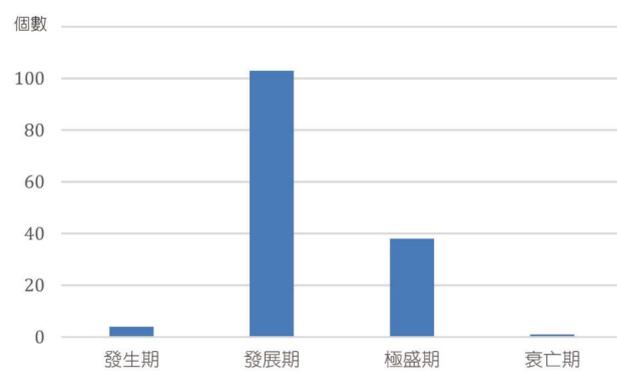


圖13：颱風 RI 現象發生於生命期各階段情形

- (三) RI 現象最常出現於颱風的發展期（71%），其次，有 26% 的 RI 現象發生於極盛期。
- (四) 經歷兩次或三次 RI 現象的颱風中，RI 現象有分別前後出現在發展期、極盛期的類型，像是 LEKIMA（2013年）、KROSA（2019年）等颱風。也有都出現在發展期的類型，像是 SOUDELOR（2015年）、LIKIMA（2019年）等颱風。
- (五) 極少有颱風的 RI 現象出現在形成期和衰弱期。

## 六、探討經歷 RI 現象期間颱風結構的發展與變化（個案 I）

- 選定 2012 年的天秤（TEMBIN）颱風（8/23-8/24 在臺灣附近經歷 RI）作為個案分析。
- 天秤颱風共有三次 RI 現象，分別是 8/19（35-75 Kts）、8/20（75-115 Kts）、8/23（90-120 Kts），並由氣象署的颱風資料庫下載地面天氣圖、雷達回波圖及衛星雲圖，觀察這段時間颱風的變化。比較特別的是第三次 RI，8/23 0:00（UTS）為 90 Kts、8/23 12:00（UTS）為 120 Kts、8/24 0:00（UTS）又降為 100 Kts。
- 由地面天氣圖可知天秤颱風 8/23 0:00（UTS+8）時中心氣壓為 955hPa，6:00（UTS+8）時中心氣壓降至 945 hPa，12:00（UTS+8）時、18:00（UTS+8）時中心氣壓仍為 945 hPa，8/24 0:00（UTS+8）時中心氣壓又升為 960 hPa，6:00（UTS+8）時更升至 970 hPa，除中心氣壓的變化外，也可從地面天氣圖看出 RI 期間暴風圈略為變大。天秤颱風經歷 RI 發展階段後，因颱風結構接觸陸地，強度開始變小，暴風圈略為縮小（8/24 5:00（UTS+8）於屏東牡丹鄉附近登陸）。

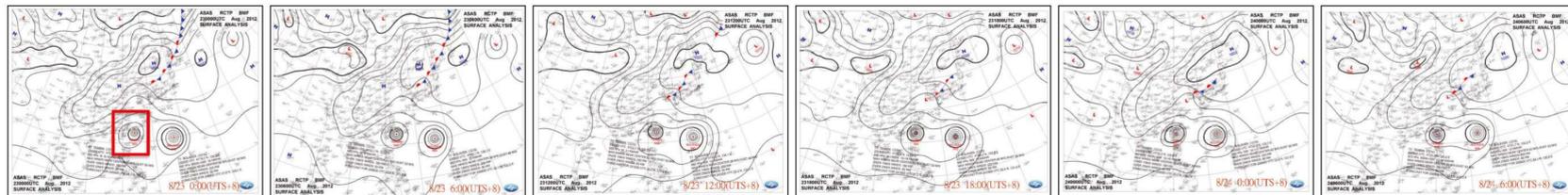


圖14：地面天氣圖（天秤颱風）

- 從雷達圖可以發現颱風結構變化非常迅速、明顯，強回波的比例逐漸增加，表示發生 RI 的期間雨量愈來愈強。而從紅外線雲圖可以看到天秤颱風第三次 RI 期間（8/23 0:00 ~12:00（UTS）），颱風眼形狀逐漸更趨於正圓，螺旋狀雲帶與眼牆發展的非常迅速，颱風整體結構愈來愈完整、對稱。因颱風持續接觸陸地，結構被地形和摩擦力所破壞，結束 RI 現象後（8/23 12:00 ~8/24 0:00（UTS））出現風眼縮小甚至消失，眼牆、螺旋狀雲帶也受到影響等現象，颱風結構開始鬆散。

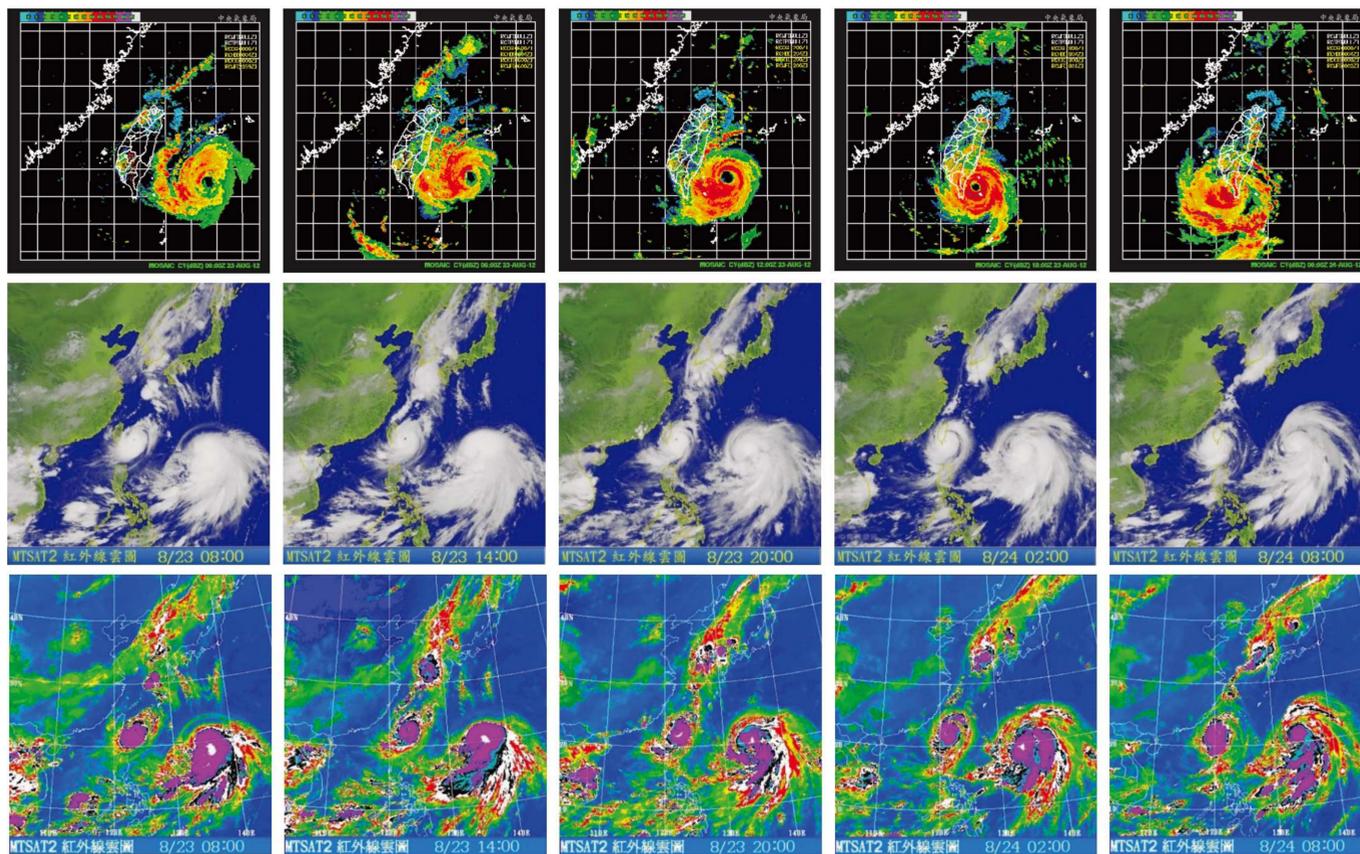


圖15：雷達圖、紅外線雲圖與色調強化紅外線雲圖（天秤颱風）

## 七、探討經歷 RI 現象期間颱風結構的發展與變化（個案 II）

- 我們再從 2020 年之後的颱風，挑選出有出現 RI 現象的卡努（KHANUN）颱風作為第二個個案進行分析，繪製出 JTWC 時間與風速（Kts）、中心氣壓（hPa）的關係圖。
- 卡努颱風 RI 現象階段出現在 7/30 0:00（UTS）-7/31 0:00（UTS）期間，強度由 60（Kts）上升至 105（Kts）。當颱風中心風速逐漸變強，中心氣壓也隨之變小，風速最強時也中心氣壓達最小值。
- 從紅外線雲圖看出卡努颱風 RI 現象階段，螺旋雲帶發展迅速且明顯，由 7/30 16:00（UTS+8）這張雲圖可發現已形成風眼、眼牆，且在短時間內快速內縮，眼牆逐漸厚實。
- 透過色調強化紅外線雲圖，可見颱風中心的紫色雲系面積愈來愈大也更為對稱，顯示中心對流雲系持續發展且強度愈來愈強。

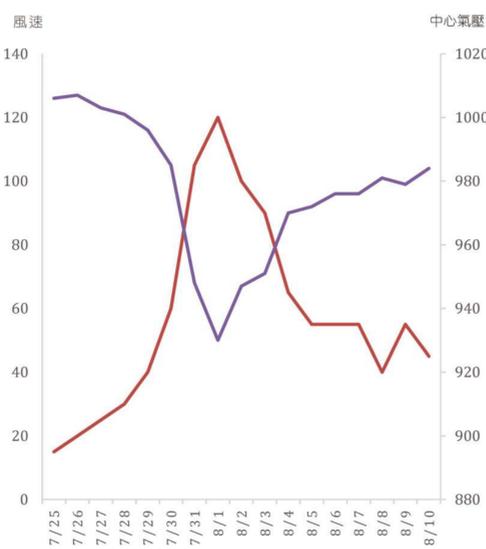


圖16：KHANUN 風速、中心氣壓變化關係圖

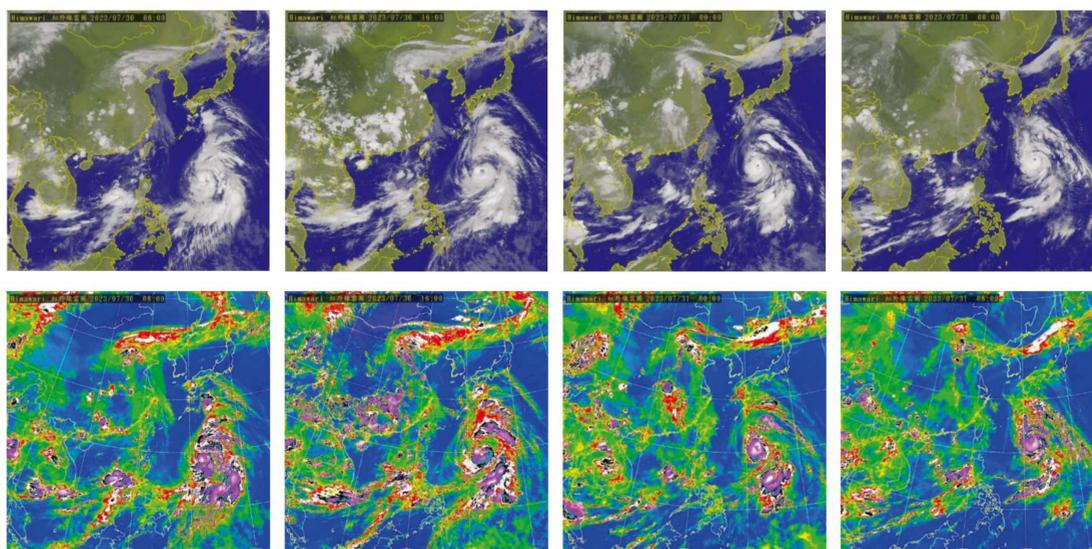


圖17：紅外線雲圖與色調強化紅外線雲圖（卡努颱風）（氣象署）

## 結論

- 並非所有颱風都會經歷 RI 現象，颱風是地球上海洋與大氣交互作用下的產物，RI 現象的發生，必須要有合適的外在環境與颱風自身等條件的搭配而成。
- 西北太平洋颱風最活躍的 6 至 11 月，強颱風的生成與發生 RI 的現象具高度正相關，秋季（9 月-11 月）颱風較其他季節颱風更容易伴隨有 RI 現象的發展。
- 相較於反聖嬰（年）時期、平常年，聖嬰（年）時期強颱風的比例明顯較高，發生 RI 現象的颱風比例也相對較高。
- 2011 年至 2020 年間西北太平洋颱風 RI 現象的生成位置主要為 10°N~20°N，其次為 20°N~30°N，極少數出現在 5°N~10°N。
- 聖嬰現象發生期間，西北太平洋颱風 RI 現象的生成位置，較平常年、反聖嬰年更偏東、偏南；反聖嬰現象發生期間，西北太平洋颱風 RI 現象的生成位置則較往西、往北偏，更靠近菲律賓、台灣方面。
- RI 現象主要出現在颱風的發展期，輕度颱風至中度颱風的強度發展階段統計次數略多於中度颱風至強烈颱風階段。少部分可能出現在極盛期，RI 現象發生的同時，颱風也達到最大強度。在颱風到達最大強度後，則極少出現 RI 現象。
- 相較未經歷 RI 現象的強颱風，有經歷 RI 現象的強颱風其生命期並未較長。
- 經歷兩次或三次 RI 現象的颱風，主要有：（1）RI 現象分別出現在發展期、極盛期、（2）RI 現象都出現在發展期等兩種類型。
- 由衛星氣象資料輔助比對，以 2012 年天秤颱風、2023 年卡努颱風作為個案分析，均發現 RI 現象有伴隨中心氣壓下降（ $|\Delta P| > 20 \text{ hPa}$ ）、螺旋雲帶與眼牆發展迅速、颱風眼縮小、颱風結構愈加緊實且愈對稱等現象。