

# 第十四屆旺宏科學獎

## 成果報告書

參賽編號：SA14-291

作品名稱：凡轉彎必有問題- 談雙颱交互  
作用

姓名：王之昀

關鍵字：藤原效應、雙颱質心

## 摘要

颱風路徑預測一直是近來被深入研究的課題，而多颱風交互作用的發展趨勢更是深不可測，分析一中我們透過三組颱風案例，從不同方法如：暴風域半徑、最大風速來探討交互作用的情形，並比較兩者差異。分析二中我們將自己的計算方式與《雙颱風渦旋交互作用之新詮釋架構》中的結果進行比較，分析三以氣壓圖與路徑圖分析三組颱風發生藤原效應前後的走向，從數據統計的過程中歸納整理雙颱風交互作用的模式。分析四中討論了氣壓值、最大風速與暴風域半徑三者間關係。

## 壹、研究動機

每年夏、秋之際，台灣飽受颱風的威脅。近年台灣對單一颱風路徑的預測愈來愈成熟，然而雙颱風之間的交互作用會對颱風路徑與結構造成何種影響，至今仍不明確，於是我們興起研究雙颱風交互作用路徑的念頭，便著手進行了分析與討論，期待能揭開雙颱風共舞的神秘面紗。

## 貳、研究目的

- 一、 分析鳳凰與風神、米勒與芭瑪、天秤與布拉萬三組颱風的暴風域半徑及最大風速變化等氣象資料，以探討三組颱風期間發生交互作用的情況。
- 二、 比較《雙颱風渦旋交互作用之新詮釋架構》中所使用的方式與用最大風速計算的寶發與桑美颱風交互作用情況。
- 三、 以氣壓及路徑圖更詳細分析鳳凰與風神、米勒與芭瑪、天秤與布拉萬三組的路徑走向及強度變化。
- 四、 綜合暴風域半徑、最大風速、氣壓三因素探討颱風強度關係。

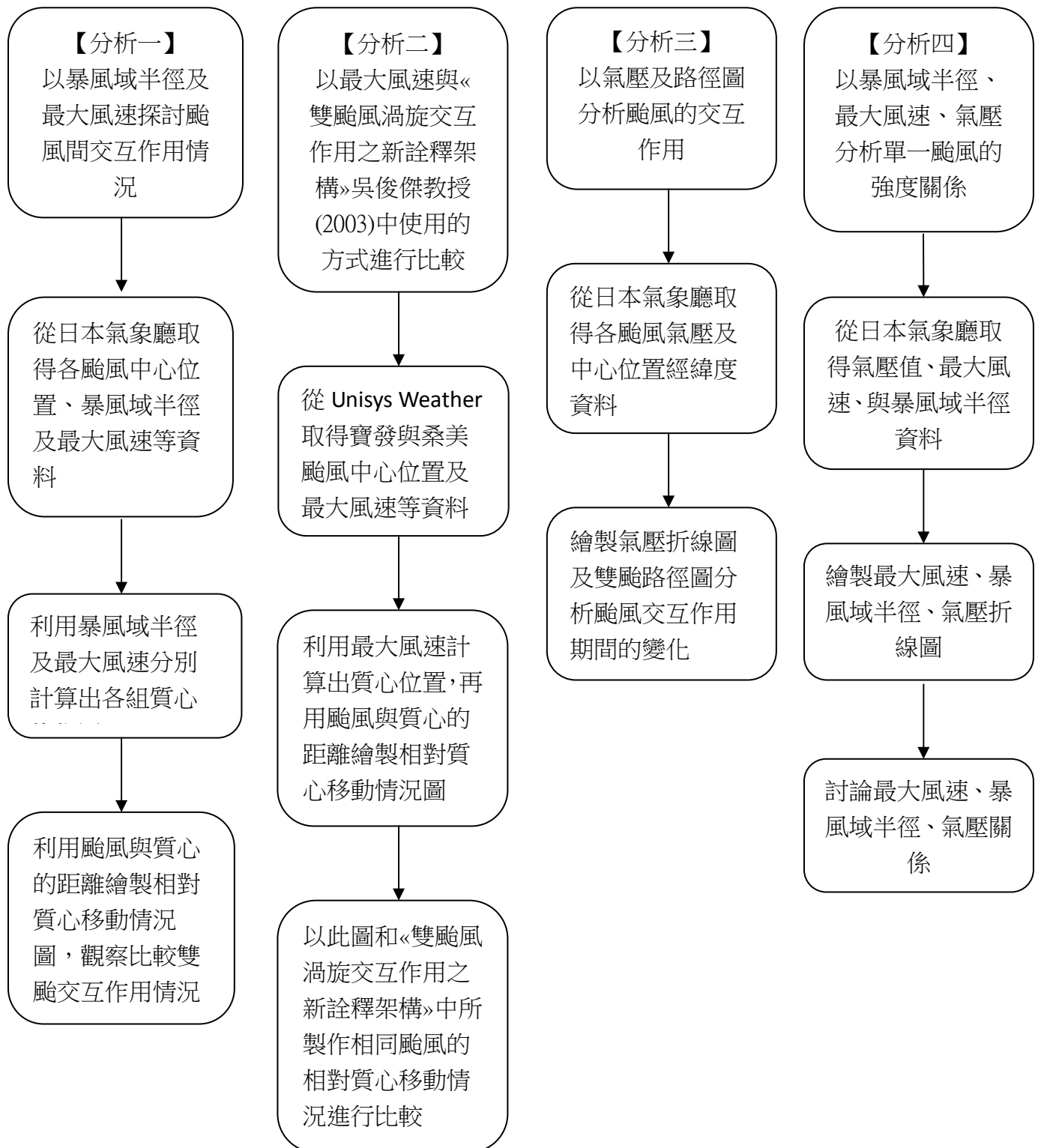
## 參、研究設備及器材

使用 Microsoft Excel 軟體繪製各項資料的折線圖與散佈圖。

電腦網路

## 肆、研究過程

### 一、 流程圖



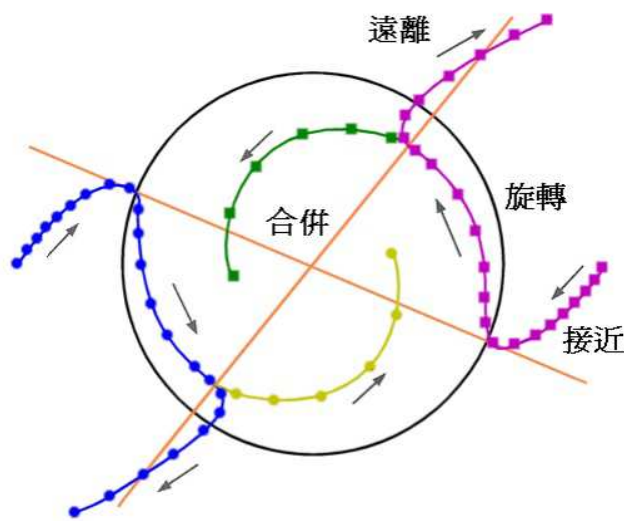
## 二、 研究方式

【分析一】以暴風域半徑及最大風速探討颱風間交互作用情況

### (一) 藤原效應簡介

藤原效應最早由日本氣象學家藤原咲平作的實驗所發現，是指兩氣旋或漩渦在互相靠近時因質量、強度及相對位置不同，所產生的交互作用。兩漩渦會繞著其質量中心旋轉，北半球逆時針；南半球順時針，進而產生合併、分離、拉伸等現象。過程中也有可能隨颱風強度的減弱、消散，改變了兩個颱風的交互作用。在兩者間距離上，各界對可以發生藤原效應的距離有許多不同的數據，如維基百科：兩個颱風要相距約 1000km 內才可能互相影響。

### (二) 參考 Lander 和 Holland(1993)的雙熱帶氣旋相互作用的概念



### (三)選用 3 組颱風：

甲、 2002 年鳳凰與風神颱風

7 月 14 日風神自生成到 28 日消失一路往西北移動，19 日鳳凰生成後往西，23 日鳳凰開始逆時針旋轉，至 25 日才停止旋轉，往北移動至 27 日消散。

乙、 2009 年芭瑪與米勒颱風

芭瑪於 9 月 28 日生成後與隔日生成的米勒一同往西北移動，10 月 5 日芭瑪突然折返往東南移動，8 日再轉往西；米勒於 6 日始漸漸轉往東北，最後與芭瑪分離。

丙、 2012 年天秤與布拉萬颱風

布拉萬自 8 月 19 日生成後至消散一路往西北；天秤於 20 日增強為颱風後往北移，22 日轉向西，25 日開始旋轉至 27 日停止往東北移動，之後日漸消散。

### (四)分別利用暴風域半徑與最大風速計算出質心位置

1. 質心的定義為質量中心，但以一個氣旋來說我們認為氣旋的質量是指其所含水氣的重量，因此無法準確計算一個氣旋的質量。因此我們嘗試以暴風域半徑、最大風速取代公式中質量的位置。

2. 從日本氣象廳取得颱風中心經緯度及暴風域半徑、最大風速的數據。
3. 暴風域半徑為颱風周圍平均風速  $25\text{ms}^{-1}$  以上不受地形影響的區域圓半徑。
4. 最大風速取颱風中心附近最大平均風速。
5. 以暴風域半徑計算之質心位置公式：

質心經緯度：

$$(\text{Lon } c, \text{Lat } c) = \left( \frac{R_a * \text{Lon } a + R_b * \text{Lon } b}{R_a + R_b}, \frac{R_a * \text{Lat } a + R_b * \text{Lat } b}{R_a + R_b} \right)$$

a,b 為兩相異颱風、c 為質心；Lon 為經度；Lat 為緯度；R 為暴風域半徑

6. 以最大風速計算之質心位置公式：

質心經緯度：

$$(\text{Lon } c, \text{Lat } c) = \left( \frac{V_a * \text{Lon } a + V_b * \text{Lon } b}{V_a + V_b}, \frac{V_a * \text{Lat } a + V_b * \text{Lat } b}{V_a + V_b} \right)$$

a,b 為兩相異颱風、c 為質心；Lon 為經度；Lat 為緯度；V 為最大風速

(五)以各颱風經緯度與質心經緯度相減算出颱風與質心的距離

計算方式：

A、B 颱風相對質心移動經緯度:(A、B 颱風經緯度)-(質心經緯度)

此計算方式會使兩強度不同的颱風 A、B (A>B)與質心距離呈現 A 颱風距離為正值；B 為負值，正值為經度或緯度較高的颱風，負值為經度或緯度較低的颱風。

(六)繪製相對質心移動情況圖

相對質心移動情況圖可以觀察兩颱風之間的交互作用：兩颱風接近後有繞質心旋轉現象，再漸漸遠離。颱風越接近基準點者強度越強；越遠離者強度越弱；兩颱風若與基準點距離相當，則代表兩者有相當的暴風域半徑或最大風速。

(七)判斷相對質心移動情況圖中交互作用情形

$$[\text{lat } (a - c)]^2 + [\text{lon } (a - c)]^2 = d(A, C)^2$$

A 為颱風，C 為質心位置，d(A,C)為 A 颱風與質心的距離

我們以此公式計算颱風與質心的距離，為方便表示質心較靠近哪一颱風我們以另一公式如下：

$$\frac{d(A, C)^2}{d(B, C)^2} = \frac{k}{1}$$

k 值越大表示質心越靠近 B 颱風。

(八)比較分析暴風域半徑與最大風速計算之雙颱風間交互作用

【分析二】以最大風速與《雙颱風渦旋交互作用之新詮釋架構》中使用的方式進行比較

- (一) 選用吳俊傑教授(2003)《雙颱風渦旋交互作用之新詮釋架構》中提及的2000年寶發與桑美颱風。
- (二) 從 Unisys Weather 取得寶發與桑美颱風中心位置及最大風速的數據。
- (三) 利用【分析一】方式以最大風速計算出質心位置。
- (四) 繪製相對質心移動情況圖以利觀察。
- (五) 與文獻中的方式結果比較。

【分析三】以氣壓及路徑圖分析交互作用期間颱風強度變化

(一)從日本氣象廳取得【分析一】三組颱風的氣壓資料：

- 甲、 2002年鳳凰與風神颱風
- 乙、 2009年芭瑪與米勒颱風
- 丙、 2012年天秤與布拉萬颱風

(二)利用 Excel 繪製氣壓折線圖及雙颱風路徑圖。

(三)從網路上計算雙颱風間距離，此計算方式有考慮地球形狀非正圓的因素因此較準確。

(四)雙颱風路徑圖較易觀察雙颱風的位置變化，透過實際位置與氣壓值相對變化分析雙颱風交互作用期間颱風的強度變化。

【分析四】以暴風域半徑、最大風速、氣壓分析單一颱風的強度關係

(一) 從日本氣象廳取得【分析一】三組颱風的暴風域半徑、最大風速、氣壓資料

(二) 利用 Excel 繪製三資料折線圖，為方便觀察，氣壓數值以原數值減 900 代表。

(三) 觀察三因素強度趨勢

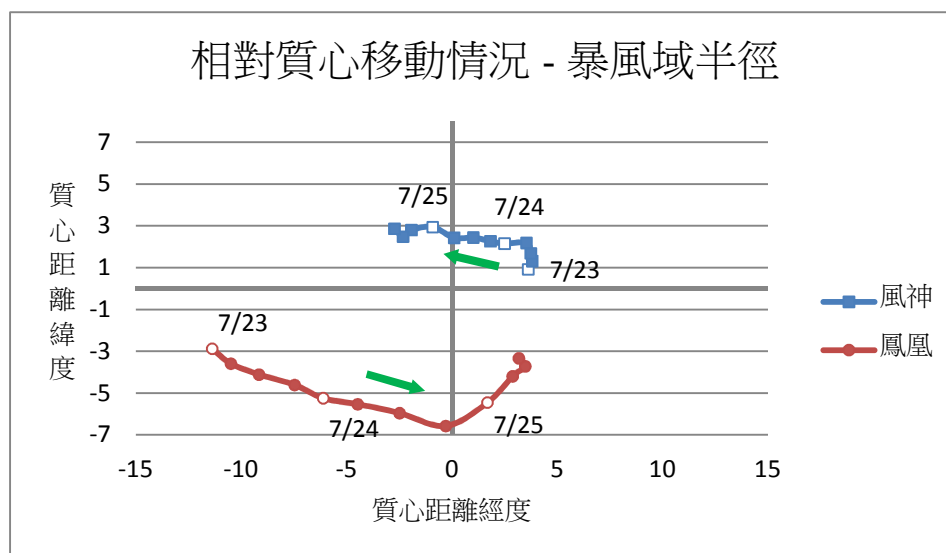
## 伍、研究結果

此份研究中，時間皆採用世界標準時 UTC。

【分析一】以暴風域半徑及最大風速探討颱風間交互作用情況

甲、 2002 年鳳凰與風神颱風

(一) 以暴風域半徑計算

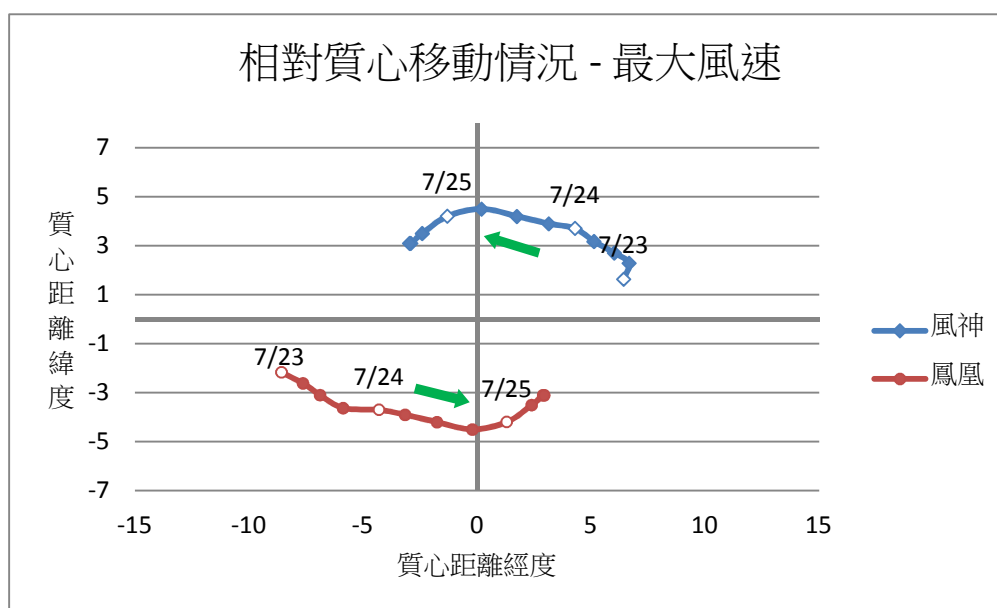


資料來源：日本氣象廳

1. 由質心基準點(0, 0)相對兩颱風位置得知，7月23日6時風神颱風較偏向基準點。
2. 23日至24日的過程中風神颱風向基準點遠離、靠近再遠離，但相較於鳳凰，風神仍較偏向基準點。
3. 24日6時至25日過程中，風神先向基準點靠近後逐漸遠離並不再靠近。
4. 整個過程中風神雖然有時靠近基準點有時遠離，但始終是風神較偏向基準點的。



## (二) 以最大風速計算



資料來源：日本氣象廳

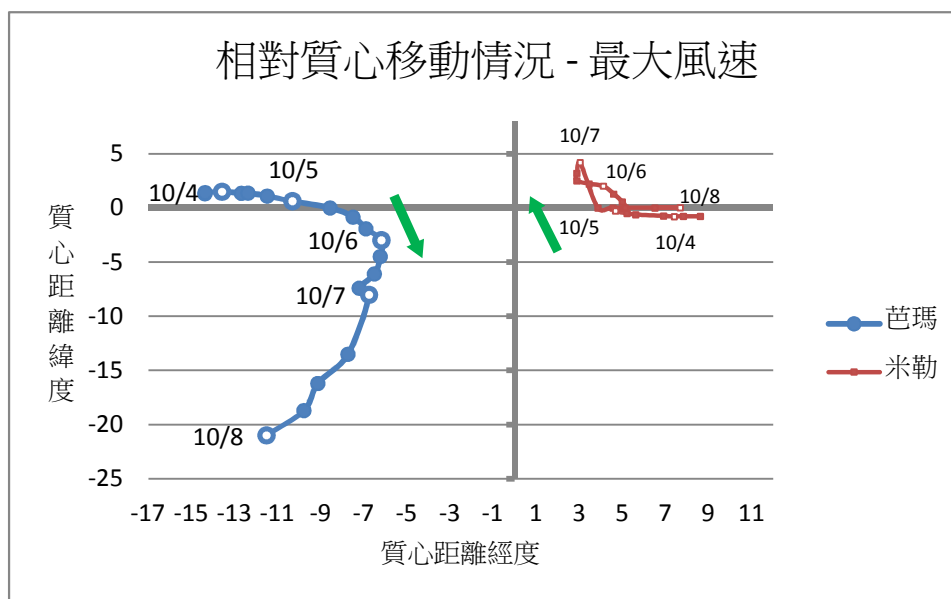
1. 由質心基準點(0, 0)相對兩颱風位置得知，7月23日6時，兩颱風與基準點的距離近乎相等，但風神較偏向基準點。
2. 23日至24日的過程中，兩颱風與基準點的距離漸趨相等，代表此時兩颱風漸漸具有等大小的最大風速。
3. 24日6時至25日過程中，兩颱風與基準點的距離維持相等。

### 乙、 2009年芭瑪與米勒颱風

#### (一) 以暴風域半徑計算

1. 由於芭瑪颱風於10月5日至10月8日無暴風域半徑數據，故沒有以暴風域半徑計算方式探討芭瑪與米勒颱風的交互作用。
2. 暴風域半徑為颱風周圍平均風速  $25\text{ms}^{-1}$  以上不受地形影響的區域圓半徑；強風域半徑為颱風周圍平均風速  $15\text{ms}^{-1}$  以上不受地形影響的區域圓半徑。而我們認為暴風域半徑較能代表颱風強度，強風域半徑因範圍太大而不適以之代表。

(二) 以最大風速計算

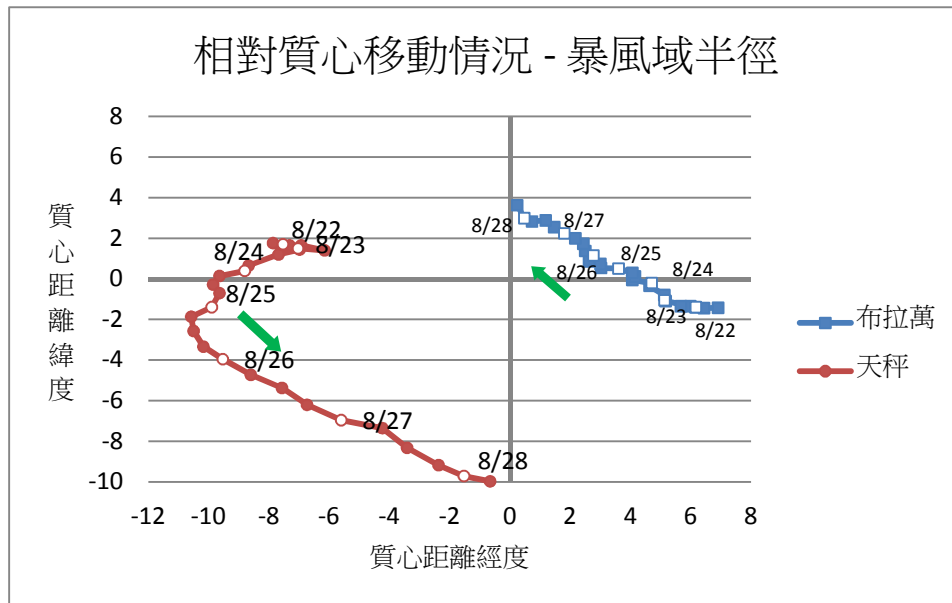


資料來源：日本氣象廳

1. 10月4日6時，米勒較靠近基準點(0, 0)。
2. 4日6時至5日6時，米勒更靠近基準點，5日6時至6日6時，米勒稍稍遠離基準點，但相較於芭瑪，米勒仍較靠近基準點。
3. 6日6時至7日6時，米勒向基準點靠近。
4. 7日6時至8日6時，米勒持續靠近基準點。

丙、 2012 年天秤與布拉萬颱風

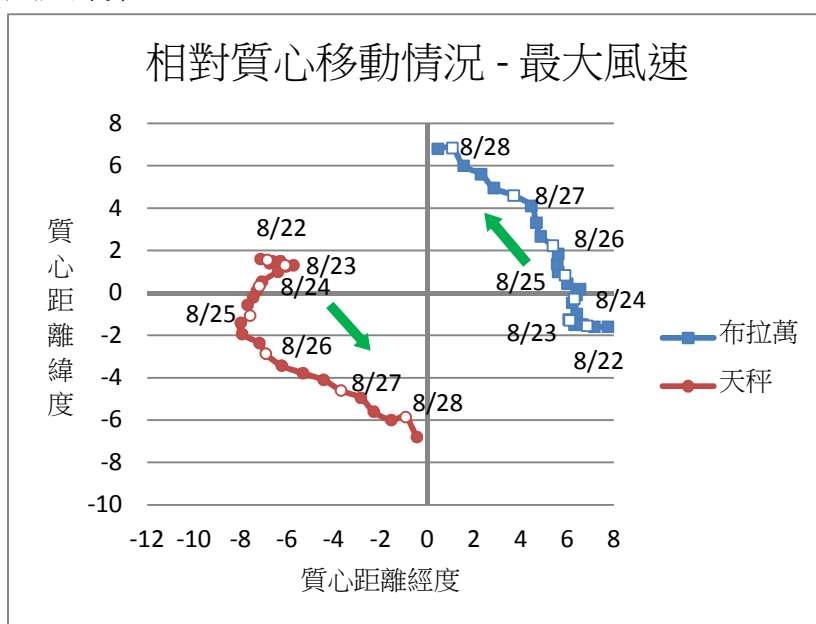
(一) 以暴風域半徑計算



資料來源：日本氣象廳

1. 8月22日6時布拉萬較靠近基準點(0, 0)，22日至23日0時的過程中，兩颱風與基準點的距離漸趨相等。
2. 23日6時，布拉萬較靠近基準點。23日6時至26日0時布拉萬離基準點漸近。
3. 26日6時至27日18時過程中，布拉萬遠離基準點，但布拉萬仍較靠近基準點。
4. 28日0時至28日6時，布拉萬再度向基準點靠近。

(二) 以最大風速計算



資料來源：日本氣象廳

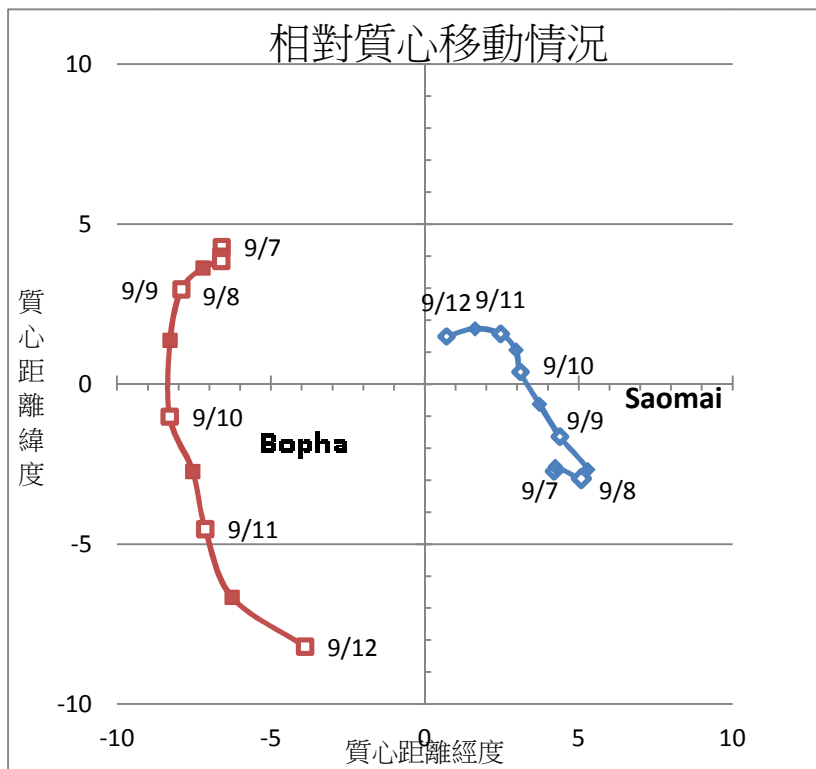
1. 8月22日6時兩颱風與基準點的距離相等，之後天秤一度靠近基準點
2. 8月23日18時兩颱風與基準點的距離再度相等
3. 24日0時至25日18時的過程中，布拉萬漸漸靠近基準點
4. 26日0時至27日0時，兩颱風與基準點的距離再度相等，至28日0時，兩颱風與基準點的距離相等
5. 28日6時，天秤較靠近基準點，28日12時，兩颱風與基準點的距離再度相等。

《三組颱風相對旋轉運動的概要》

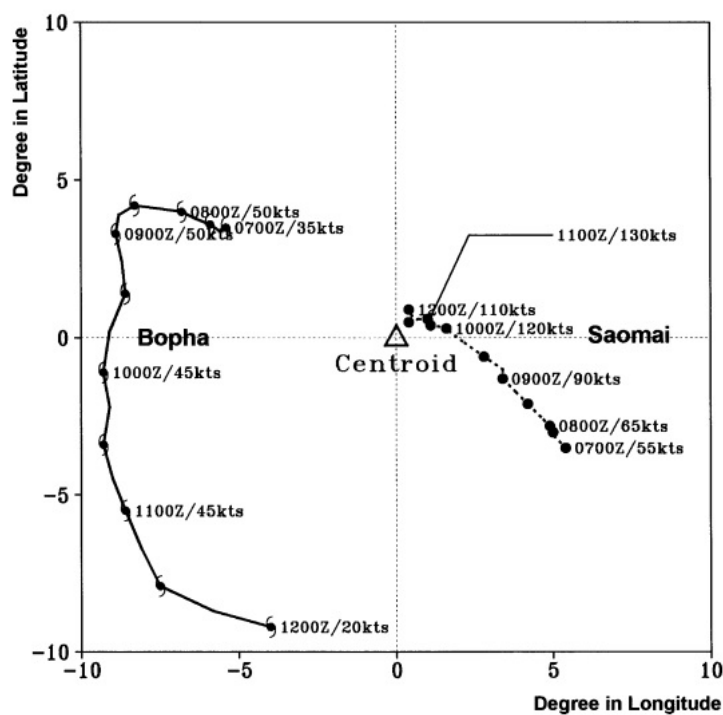
雙熱帶氣旋 相對旋轉運動		鳳凰和風神	芭瑪和米勒	布拉萬和天秤
開始 相對 運動	時間 (協調時間, UTC)	2002年7月23 日6時	2009年10月4 日18時	2012年8月25 日6時
	兩熱帶氣旋距離	1592.67km	1843.32km	1352.70km
	熱帶氣旋強度	鳳凰:熱帶風暴 風神:颱風	芭瑪:熱帶風暴 米勒:颱風	布拉萬:颱風 天秤:颱風
	暴風域半徑 km	鳳凰:70 風神:155		布拉萬:220 天秤:80
	最大風速 m/s	鳳凰:30 風神:40	芭瑪:25 米勒:55	布拉萬:45 天秤:35
結束 相對 運動	時間 (協調時間, UTC)	2002年7月25 日12時	2009年10月7 日12時	2012年8月26 日12時
	兩熱帶氣旋距離	962.952km	1898.30km	1286.99km
	熱帶氣旋強度	鳳凰:熱帶風暴 風神:熱帶風暴	芭瑪:熱帶風暴 米勒:颱風	布拉萬:颱風 天秤:熱帶風暴
	暴風域半徑 km	鳳凰:60 風神:90		布拉萬:310 天秤:90
	最大風速 m/s	鳳凰:30 風神:30	芭瑪:20 米勒:40	布拉萬:45 天秤:35
相對旋轉運動維持時間		66hr	66hr	42hr

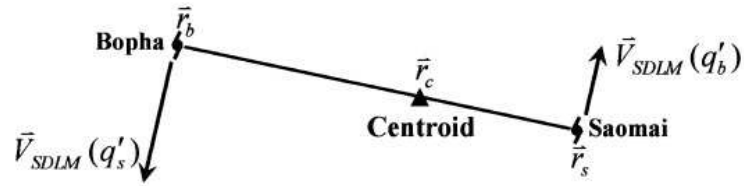
【分析二】以最大風速與《雙颱風渦旋交互作用之新詮釋架構》吳俊傑教授(2003)中使用的進行比較

A. 以最大風速計算之寶發與桑美颱風相對質心移動情況



B. 《雙颱風渦旋交互作用之新詮釋架構》中寶發與桑美相對質心移動情況圖





$$\vec{r}_c = \frac{|\vec{V}_{SDLM}(q'_b)|}{|\vec{V}_{SDLM}(q'_s)| + |\vec{V}_{SDLM}(q'_b)|} \vec{r}_b + \frac{|\vec{V}_{SDLM}(q'_s)|}{|\vec{V}_{SDLM}(q'_s)| + |\vec{V}_{SDLM}(q'_b)|} \vec{r}_s$$

《雙颱風渦旋交互作用之新詮釋架構》吳俊傑教授,2003. 中所使用之質心計算公式

$[\vec{v}_{SDML}(q_b)]$  為寶發對桑美颱風的伴隨駛流  $[\vec{v}_{SDML}(q_s)]$  為桑美對寶發颱風的伴隨駛流

$\vec{r}_b$  和  $\vec{r}_s$  分別是寶發和桑美颱風得相對位置。

(一) 比較兩圖差異(由於無論文中確切點座標數據，故目測大略值)

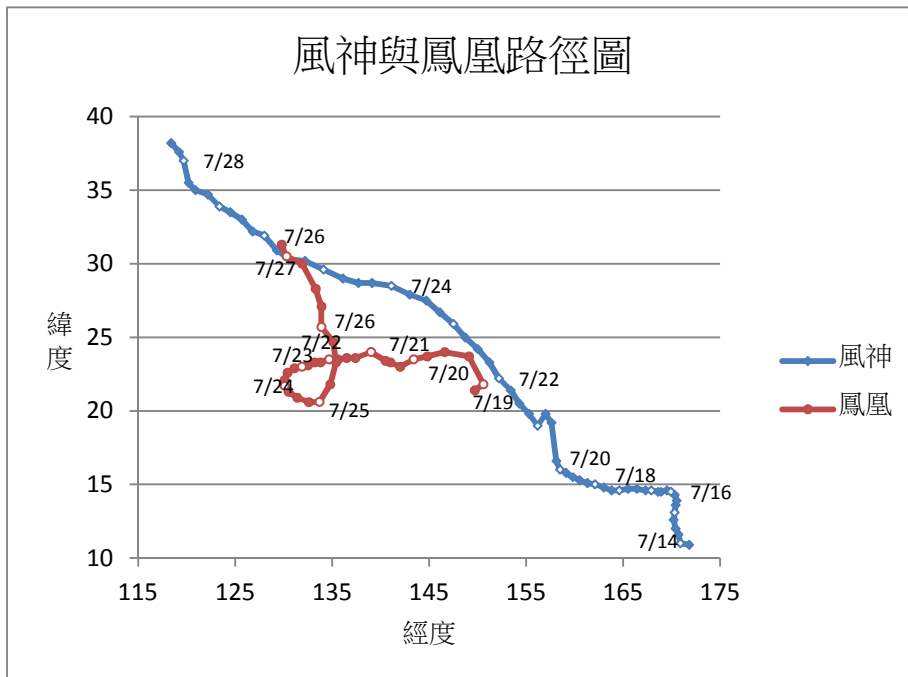
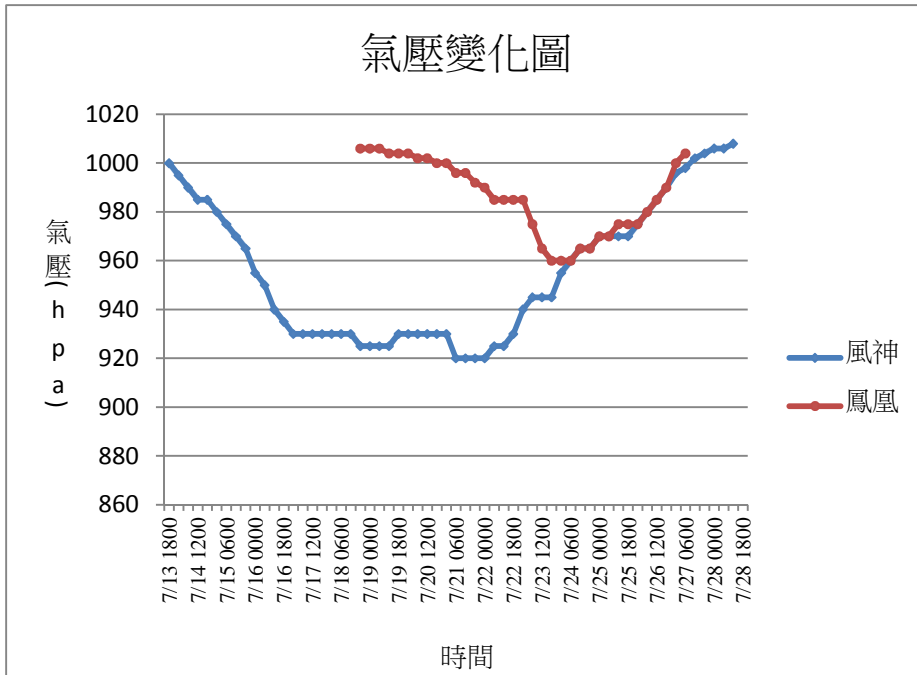
	寶發 Bopha 颱風		桑美 Saomai 颱風	
	我圖座標	論文座標	我圖座標	論文座標
9/7 0000	(-6.6, 4.28)	(-5.35, 3.4)	(4.2, -2.72)	(5.4, -3.5)
9/7 1200	(-6.66, 4.03)	(-5.8, 3.6)	(4.24, -2.57)	(5.05, -2.9)
9/8 0000	(-6.61, 3.84)	(-6.65, 4)	(5.09, -2.96)	(4.95, -2.75)
9/8 1200	(-7.21, 3.63)	(-7.9, 4.2)	(5.29, -2.67)	(4.3, -2.05)
9/9 0000	(-7.91, 2.96)	(-8.65, 3.3)	(4.39, -1.64)	(3.4, -1.15)
9/9 1200	(-8.28, 1.38)	(-8.2, 1.4)	(3.72, -0.62)	(2.85, -0.57)
9/10 0000	(-8.29, -1.02)	(-9, -1.1)	(3.11, 0.38)	(1.65, 0.3)
9/10 1200	(-7.54, -2.735)	(-9.1, -3.4)	(2.96, 1.07)	(1.25, 0.35)
9/11 0000	(-7.13, -4.53)	(-8.4, -5.6)	(2.47, 1.57)	(1, 0.5)
9/11 1200	(-6.27, -6.66)	(-7.4, -7.9)	(1.63, 1.74)	(0.38, 0.4)
9/12 0000	(-3.89, -8.21)	(-3.95, -9.1)	(0.71, 1.49)	(0.5, 0.9)

(二)

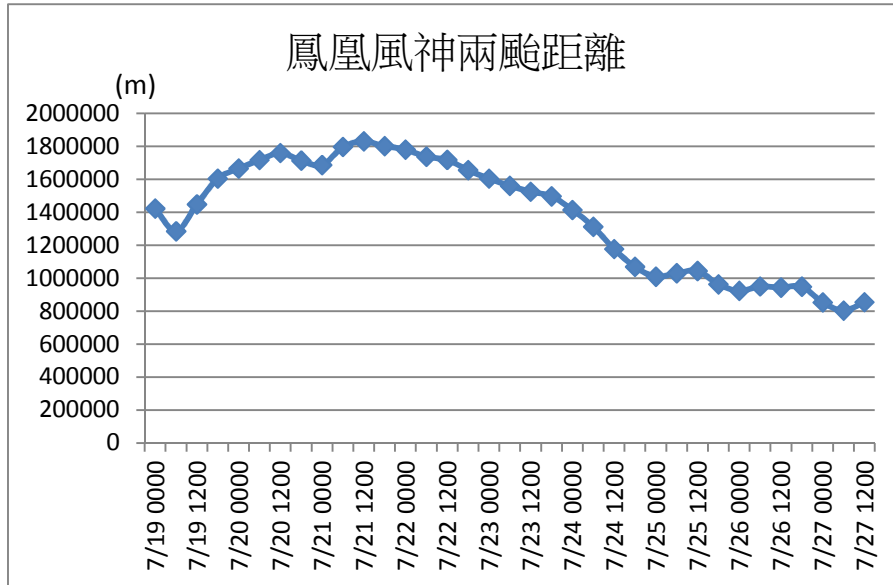
1. 從座標點來看，兩個方法所得到的座標點並無很大的差距。兩圖最大的差異在於 9 月 7 日至 9 日的移動變化，而 10 日至 12 日論文中的圖有較明顯的旋轉現象。
2. 由於此計算方式所使用的資料以現階段的我們來說過於複雜難懂，因此僅拿來比較而無使用。

【分析三】以氣壓變化探討交互作用期間颱風強度變化

甲、 2002 年鳳凰與風神颱風

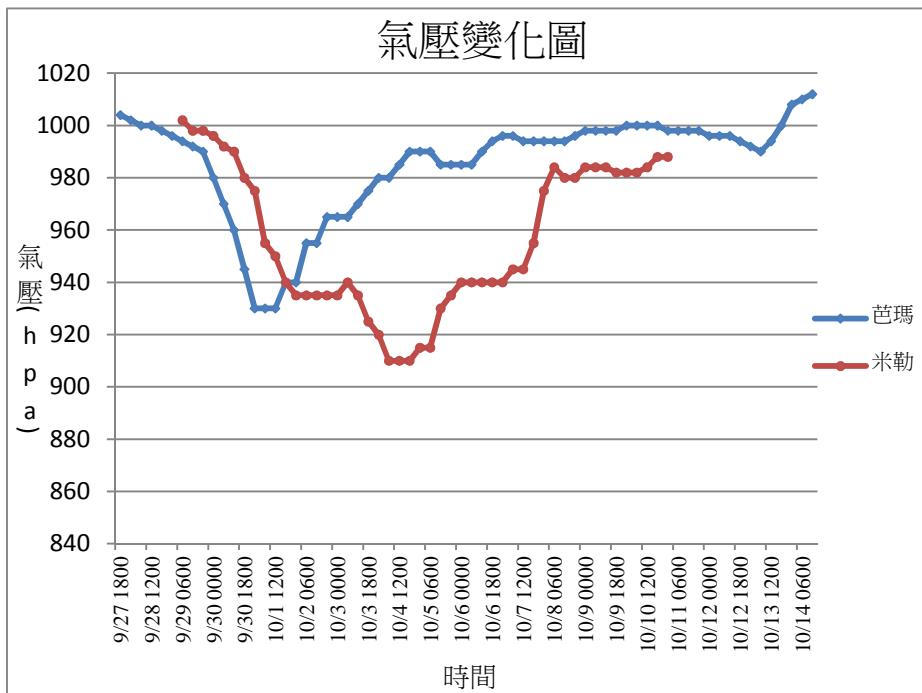


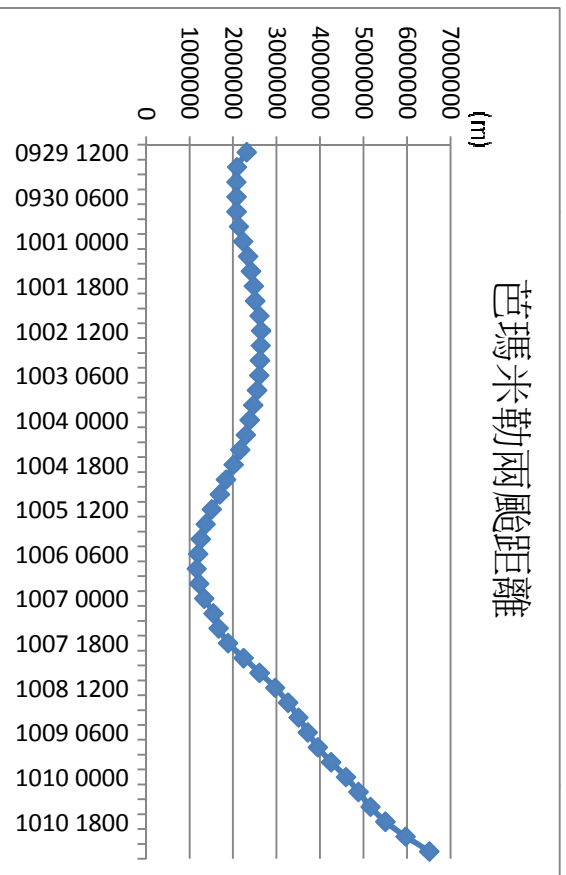
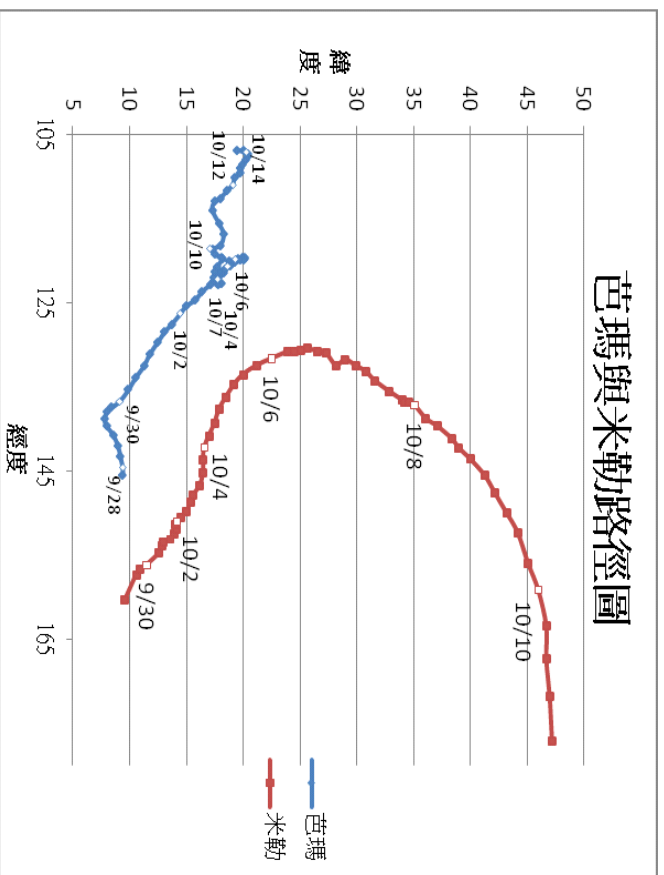




1. 風神於 17 日發展到最強，並持續其強度至 22 日始減弱，但仍有一定強度。
2. 20 日 0 時鳳凰的低氣壓生成後與風神的距離由 1784km 漸漸變小，23 日鳳凰氣壓急速降低至與風神相當，路徑受風神影響由從一路往西轉為開始逆時針旋轉，此時距離減為 1610km。
3. 24 日後雙颶維持相當的強度一同減弱，25 日雙颶氣壓值升高，導致交互作用結束，鳳凰轉向北後就不再旋轉，雙颶間的距離仍持續減小(1001km)。26 日後雙颶持續減弱直至 27 日最終消散時距離 750km。

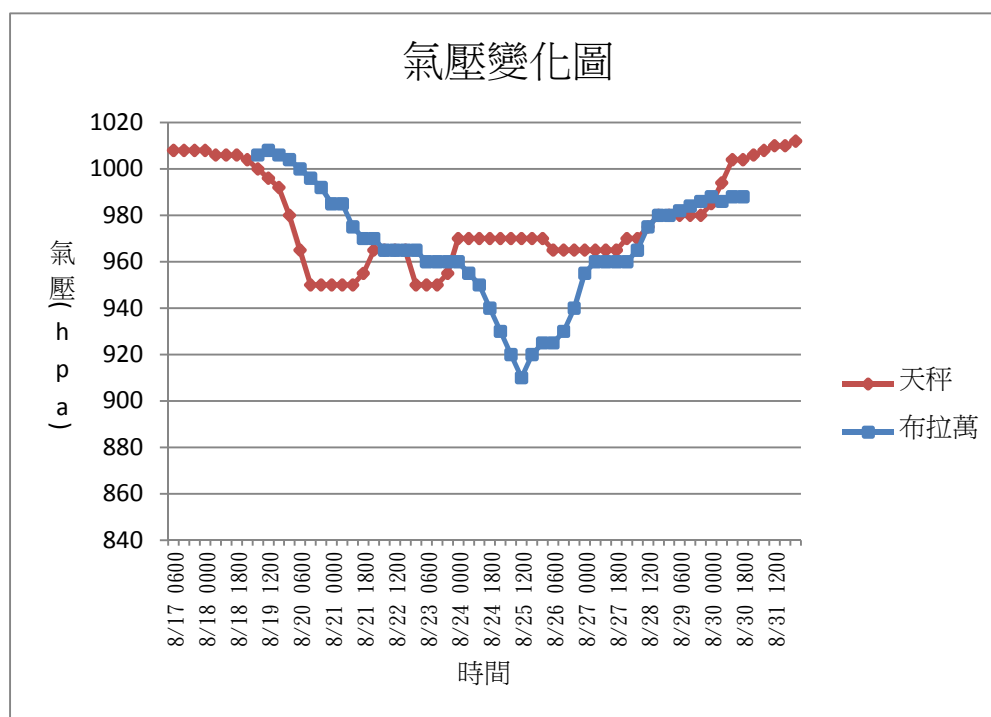
### 乙、2009 年芭瑪與米勒颶風

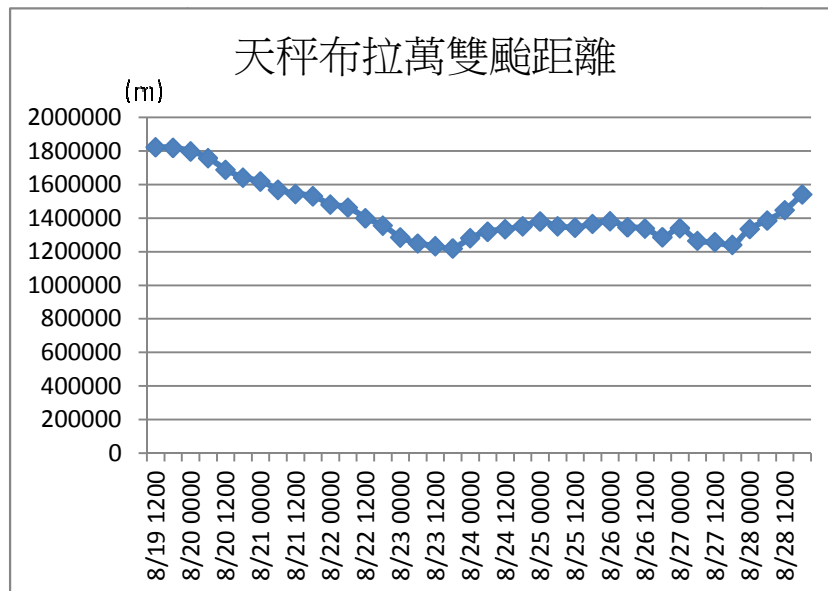
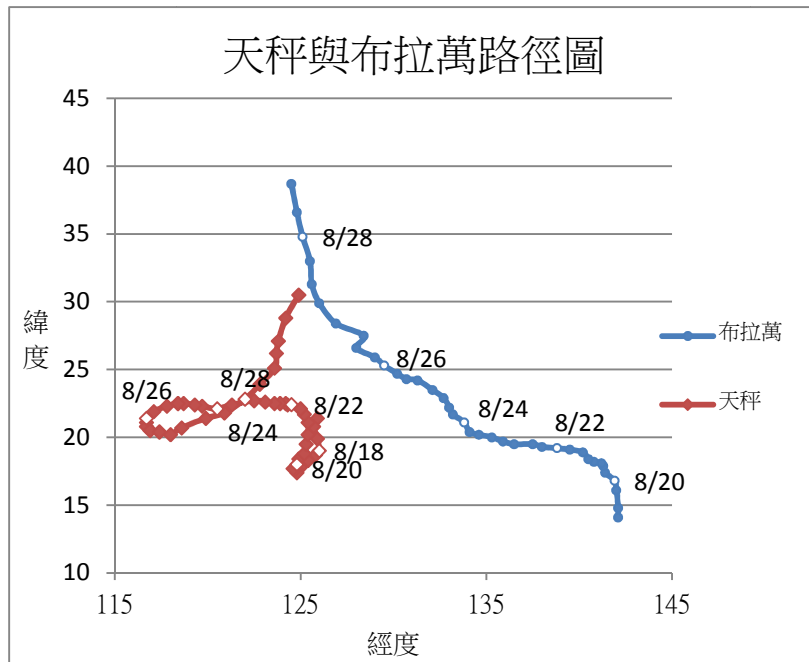




1. 9月30日至10月1日，芭瑪與米勒先後增強為颱風，芭瑪的氣壓降至最低，隨著往北移動接近呂宋島，其強度漸減，但米勒的強度漸增。
2. 4日芭瑪的氣壓值持續升高；米勒的氣壓則降至最低。4日18時芭瑪與米勒的距離1905km，芭瑪進入呂宋海峽，受地形影響強度減弱，氣壓值僅990hpa，與米勒發生交互作用，在其路徑最北往東南折返。
3. 5日至6日雙颱風距離漸近至1242km。米勒始往東北遠離。
4. 7日米勒漸轉向東北，雙颱風距離漸遠，0時距離增至1566km，交互作用消失，12時芭瑪強度再次稍作增強。
5. 8日0時雙颱風距離2626km，米勒氣壓值驟增，登陸日本後強度減弱；芭瑪由原本往東南前進急轉往西，再度登陸呂宋後強度又減弱，氣壓值增高。13日離開海南島後，氣壓值再次降低，14日接近陸地後漸減弱，此後逐漸消散。

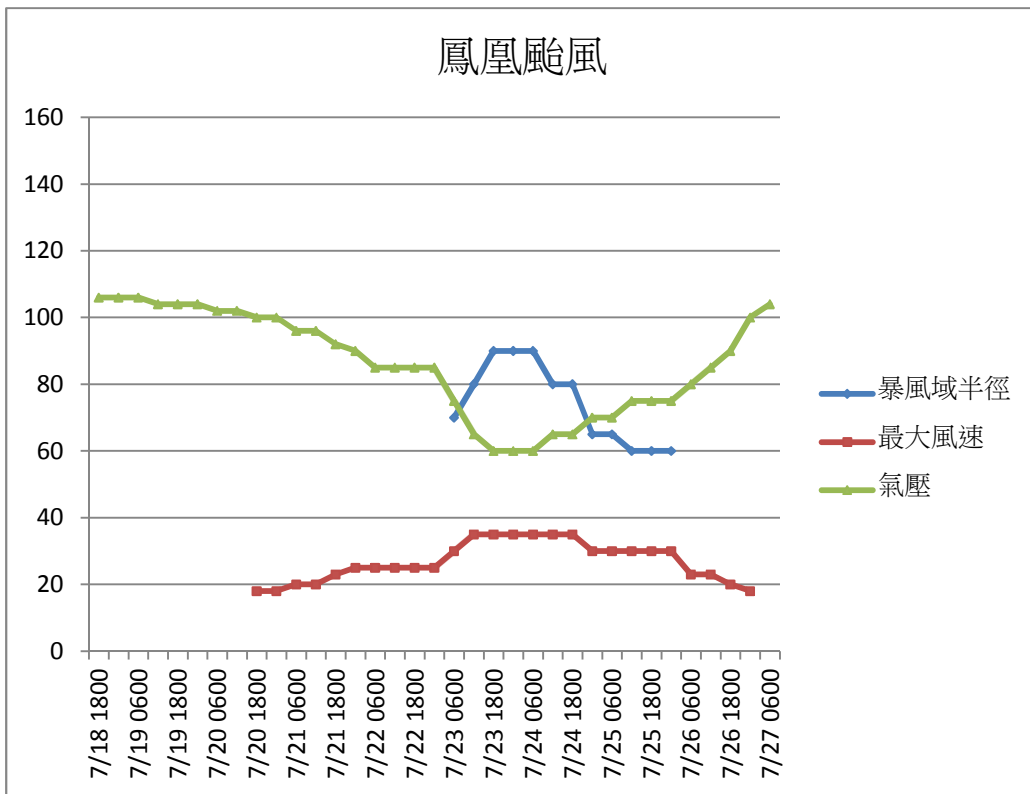
丙、 2012年天秤與布拉萬颱風



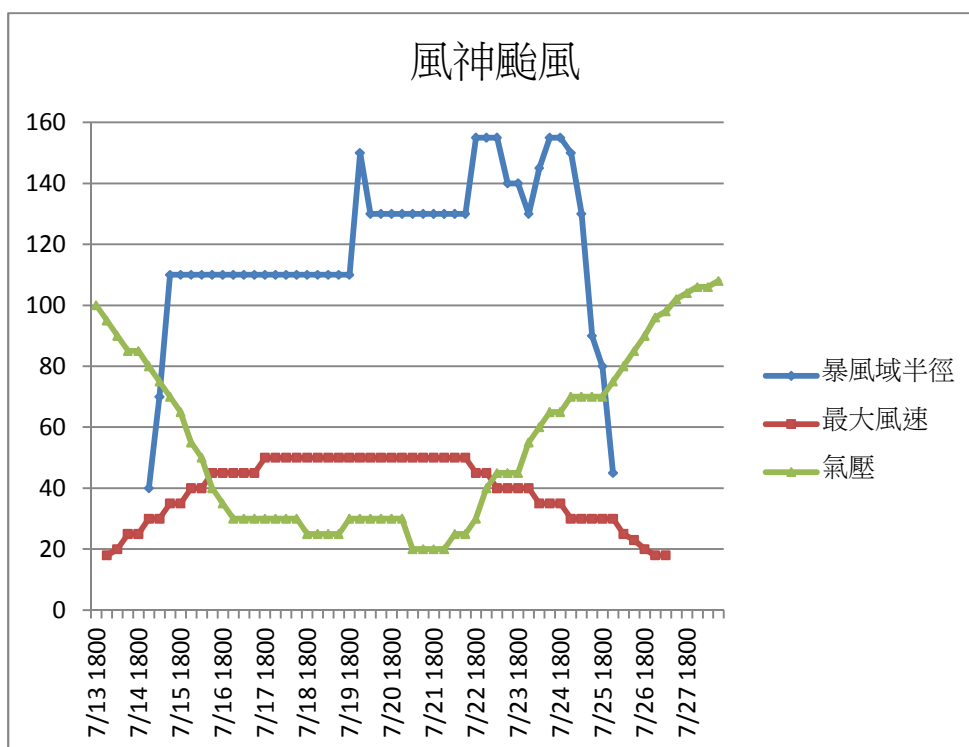


1. 天秤與布拉萬先後於 8 月 20、21 日增強為颱風，20 日 0 時雙颱風相距 1818km。天秤於生成後往北，與布拉萬距離越來越近。
2. 21 日 12 時天秤受北方高壓影響強度減弱，此時布拉萬氣壓增強至與天秤相當。
3. 22 日 18 時雙颱風強度皆增強，雙颱風越來越接近。
4. 24 日布拉萬突然開始快速增強；天秤登陸台灣，氣壓值升高，25 日 12 時布拉萬氣壓值降至 910hpa，天秤維持 970hpa，距離則為 1415km，此時天秤相對布拉萬開始旋轉，由原本一路向西逆時針轉了半圈。
5. 26 日雙颱風接近至 1388km，布拉萬登陸日本，氣壓值增加，但仍有 925hpa，天秤則在出海後稍作增強。
6. 27 日布拉萬的氣壓值升至 960hpa，天秤便不再旋轉，往東北方向移動。28 日後兩個颱風皆漸減弱，持續往北移動，最後皆變成溫帶氣旋而消失。

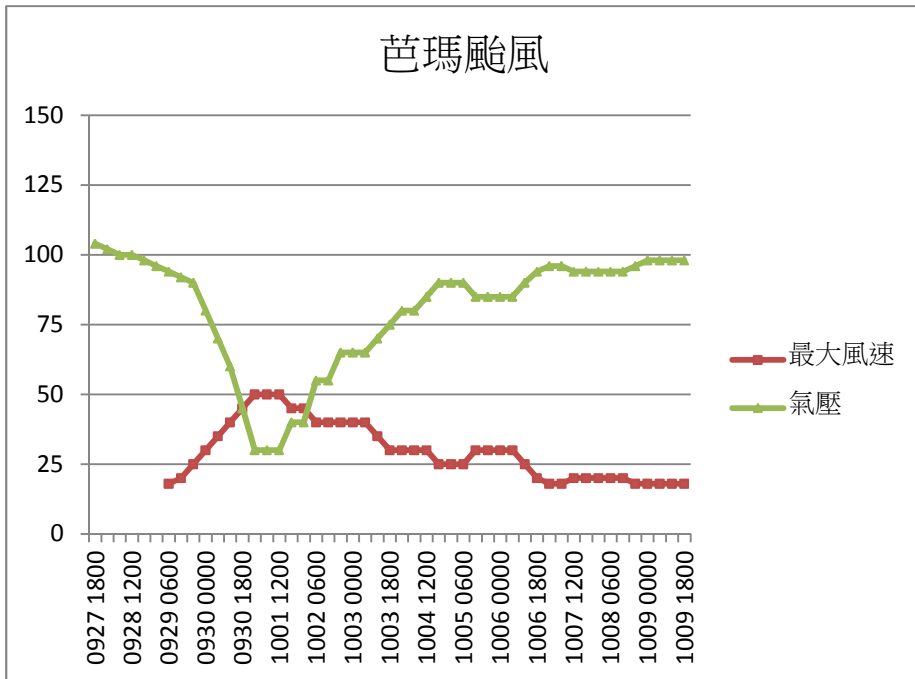
【分析四】綜合暴風域半徑、最大風速、氣壓三因素探討颱風強度關係



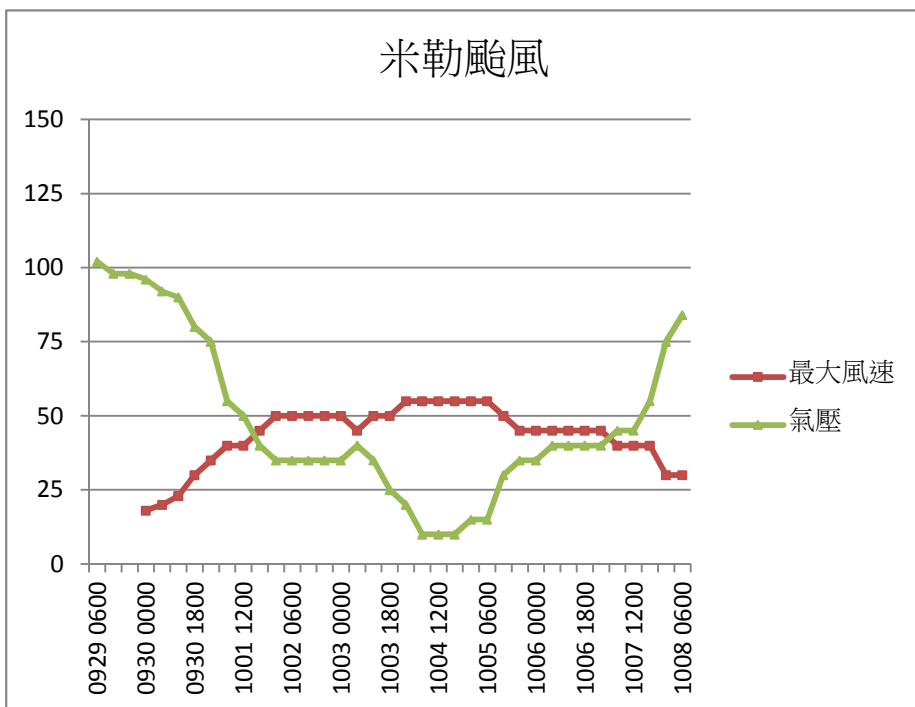
1. 由圖中明顯可看出暴風域半徑起伏值大於最大風速起伏值
2. 圖中暴風域半徑於 7 月 23 日 6 時至 18 時增大，最大風速亦具有相同趨勢
3. 暴風域半徑 7 月 24 日 6 時至 12 時漸小，12 時至 18 時維持等大；而最大風速 7 月 24 日 6 時至 18 時維持等大
4. 比較氣壓值與最大風速趨勢，除了 7 月 24 日 6 時至 7 月 25 日 12 時，其餘皆符合氣壓值與最大風速的反向關係
5. 比較氣壓值與暴風域半徑趨勢，兩者呈現反向關係，即氣壓值愈小暴風域半徑愈大，氣壓值愈大暴風域半徑愈小。



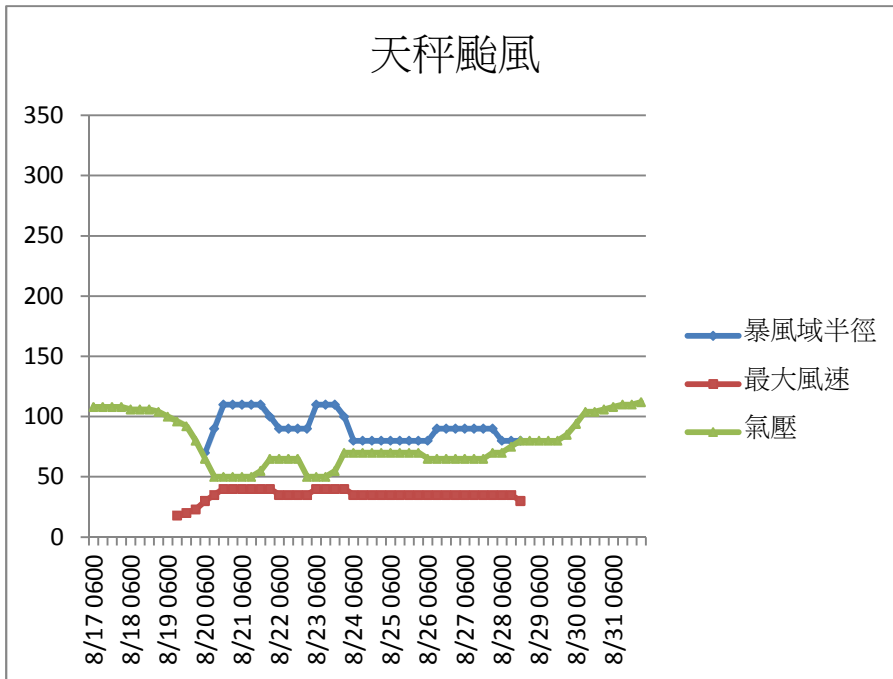
1. 由圖中明顯可看出暴風域半徑起伏值大於最大風速起伏值
2. 圖中暴風域半徑於 7 月 15 日 0 時至 7 月 15 日 12 時持續增大，最大風速趨勢則為階梯狀上升，但 7 月 15 日 12 時至 7 月 16 日 12 時暴風域半徑維持等大，最大風速趨勢階梯狀上升。
3. 7 月 19 日 18 時暴風域半徑突增大至 7 月 20 日 0 時下降至 7 月 20 日 6 時維持等大，直至 7 月 22 日 12 時。然而，過程中皆維持等大最大風速。
4. 7 月 22 日 12 時至 7 月 23 日 6 時，暴風域半徑持續增大，最大風速以階梯狀趨勢下降。
5. 由 2、4 點可知最大風速與暴風域半徑並無絕對正向或反向關係。
6. 7 月 23 日 12 時至 7 月 24 日 6 時，暴風域半徑漸小，最大風速亦階梯式減小。
7. 7 月 24 日 6 時之後，暴風域半徑大幅上升再大幅減小，然而最大風速趨勢依舊階梯狀下降。
8. 比較氣壓值與最大風速趨勢，在 7 月 16 日 6 時至 7 月 23 日 0 時並非所有變化趨勢皆呈反向關係，但綜觀所有數據，當氣壓值減小，最大風速增大。
9. 比較氣壓值與暴風域半徑趨勢，7 月 15 日 12 時至 7 月 22 日 12 時，氣壓值變化時暴風域半徑不一定有變化。



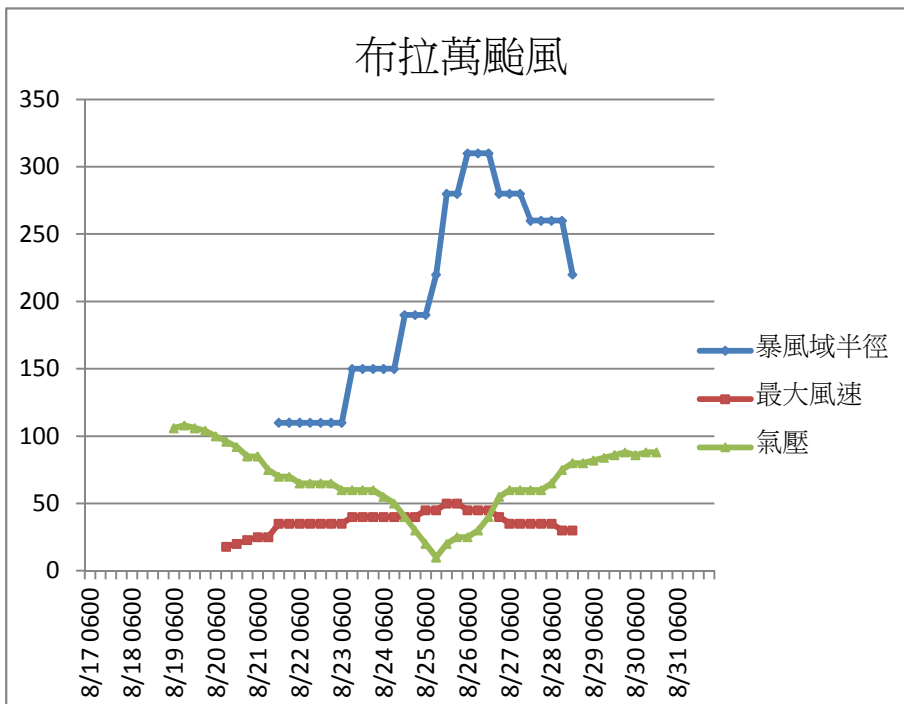
1. 比較氣壓值與最大風速趨勢，當氣壓減弱，最大風速便增強，氣壓值不變時，最大風速亦不變。



1. 比較氣壓值與最大風速趨勢，至 10 月 4 日 6 時符合反向關係，氣壓值減弱最大風速即增強，但 10 月 4 日 18 時至 10 月 5 日 6 時較不符合，此階段最大風速維持相等，而氣壓值漸漸增加。



1. 由圖中明顯可看出暴風域半徑起伏值大於最大風速起伏值
2. 比較氣壓值與最大風速趨勢，明顯可看出符合反向關係。
3. 比較氣壓值與暴風域半徑趨勢，亦可看出符合反向關係。



1. 由圖中明顯可看出暴風域半徑起伏值大於最大風速起伏值
2. 比較氣壓值與最大風速趨勢，氣壓值的趨勢變化幅度大於最大風速。兩者呈反向關係，隨著氣壓值漸小，最大風速漸大。
3. 比較氣壓值與暴風域半徑趨勢，暴風域半徑的最大值並未發生在氣壓值最低之時，可見兩者不一定有直接性的影響。



## 陸、 討論

### 一、 計算質心所選用的探討因素

- (一) 為了繪製相對質心移動情況圖，須找出兩氣旋質心的位置，使用質心公式必須得知其兩者各自的質量，然而我們認為一個氣旋的質量為其水氣量，卻未能找到相符的測量值來表示，於是我們嘗試以暴風域半徑與最大風速代表一個氣旋的強度，並透過分析的結果討論適當性。

### 二、 暴風域半徑與最大風速的分析

- (一) 風神與鳳凰颱風：根據風神鳳凰的相對質心移動情況圖，以暴風域半徑來說，風神的暴風域半徑明顯大於鳳凰，顯示風神對鳳凰的影響較大；但以最大風速來說，風神與鳳凰漸趨於相同風速，於是我們推估其強度相當。但此推論與使用暴風域半徑計算得到不相同結果。
- (二) 天秤與布拉萬颱風：以暴風域半徑來說，布拉萬相對旋轉幅度較小，天秤受布拉萬影響較大旋轉幅度也較大；以最大風速來說，兩者對基準點的距離並沒有如暴風域半徑相異甚大，布拉萬的強度較無明顯強於天秤。
- (三) 根據以上暴風域半徑與最大風速的比較，我們發現使用暴風域半徑來代表質量會較最大風速來的起伏較大，使兩颱風強度差異更明顯；而最大風速的差異則較小。

### 三、 最大風速與《雙颱風渦旋交互作用之新詮釋架構》之比較

- (一) 兩方式在開始及結束交互作用時有最明顯的差異，在定義交互作用的開始與結束時間，目前各界並無定論，因此為未來再探討的議題。
- (二) 由我們的方法和吳教授的方法都可以看出桑美颱風在交互作用的過程中具有較大的最大風速，因為基準點(0, 0)與寶發的距離在過程中皆大於基準點與桑美的距離，我們推估桑美的強度比寶發強。

### 四、 發生交互作用條件分析

#### (一) 鳳凰與風神颱風

1. 自鳳凰生成至消散，雙颱風之間的距離持續縮短由 1784km 至 750km，且開始發生交互作用，即 23 日時的距離為 1610km，顯示雙颱風之間的交互作用並不是一定要在距離 1000km 以內才會發生，而當 25 日距離由 1000km 至 27 日最終 750km 時，由於強度不夠，兩者也沒有發生交互作用。
2. 由鳳凰風神颱風可知，交互作用的發生不代表其中一方減弱而另一方增強，這組交互作用颱風中，兩者先一同增強再一同減弱。

#### (二) 米勒與芭瑪颱風

1. 芭瑪與米勒原往相同方向移動，在芭瑪急轉後，雙颱風往相反方向分離。兩者最接近時為 6 日距離約 1200km，而與米勒發生交互作用使路徑急轉時距離為 1905km，顯示距離限制並非發生交互作用最主要原因；而芭瑪與米勒發生交互作用的原因可能為強度差異，芭瑪急轉時，氣壓

為 990hpa，米勒則為 910hpa，為雙颱風強度差異最懸殊之時，因此隨著米勒的北移，芭瑪相對其旋轉，導致移動方向與原方向相反。

2. 根據芭瑪的移動路徑及氣壓值起伏可以發現，地形為其強度改變最主要原因，而由地形影響颱風強度，強度懸殊導致即使距離不夠近仍能發生交互作用。

### (三) 天秤與布拉萬颱風

1. 根據天秤與布拉萬的氣壓變化，在布拉萬氣壓值最低之時，天秤開始有旋轉的趨勢，但隨著布拉萬氣壓上升及天秤增強，交互作用便漸漸消失。天秤在轉彎時與布拉萬相距 1415km，顯示發生交互作用不一定有絕對的距離限制，距離超過 1000km 時仍有可能因為颱風強度夠大而發生藤原效應。
2. 由【分析一】及【分析三】的結果天秤與布拉萬颱風的交互作用時間不同，可知由不同的方法探討發生交互作用的情況，結果會有誤差。

## 五、暴風域半徑與最大風速優缺比較

(一) 暴風域半徑定義為平均風速 25m/s 以上的區域所形成的區域圓，因此風速低於 25m/s 的氣旋就無數據，顯示了暴風域半徑的缺點：風速在 25m/s 以下的氣旋還是能與其他氣旋發生交互作用，但沒有暴風域半徑的數據便無法分析資料。

(二) 最大風速自氣旋生成至消散皆會有數據，但可能有的颱風風速很大但颱風的半徑不大；有的可能風速不大但是範圍很廣。

## 六、由分析四討論單一颱風氣壓值、最大風速、暴風域半徑三因素間關聯性

(一) 由風神與鳳凰颱風可知，氣壓值減弱時，最大風速與暴風域半徑會增強，但有部分數據不完全符合，我們猜測那可能是受到交互作用的影響以至於無法完全符合，而其他兩組，2009 年的芭瑪颱風符合、米勒颱風不符合，2012 年天秤颱風、布拉萬颱風中，天秤的例子完全符合此關係，布拉萬有部分數據不符合。

(二) 探討最大風速與暴風域半徑兩趨勢關係，由風神颱風可知，兩者無絕對反向與絕對正向關係，意即最大風速增大時，暴風域半徑可能變小可能變大也可能不變。

## 柒、結論

(一) 分析二中我們原本預估我們的方法與《雙颱風渦旋交互作用之新詮釋架構》吳俊傑教授(2003)的結果會有很大差異，但由分析二得知以最大風速計算出的相對質心移動情況圖與論文中的相對質心互繞圖，並無非常顯著差異性。因此，我們或許可簡單以最大風速代表之。

(二) 三組颱風發生交互作用時的距離分別為：鳳凰與風神：1610 公里、芭瑪與米勒：1905 公里、天秤與布拉萬：1415 公里，皆超過普遍定義的 1000 或者 1200 公里的條件，分析三實例與兩颱風距離變化圖顯示距離的限制

和發生交互作用並非絕對關係，交互作用的發生不應該單一由距離來定義。

(三)由分析三中可知一個颱風的路徑和強度除了受另一颱風交互作用影響外，還會受地形、太平洋水氣、季風等因素影響，由此可知交互作用的實際過程為一個複雜的作用機制。

(四)由分析四得知暴風域半徑與最大風速不具有絕對關係，暴風域增大不代表最大風速必增大。而大部分數據氣壓與暴風域半徑和最大風速有反向關係，當氣壓值降低時，最大風速與暴風域半徑皆增大，而部分數據會不滿足此關係，我們猜測有可能是因為交互作用的因素。

## 捌、參考資料

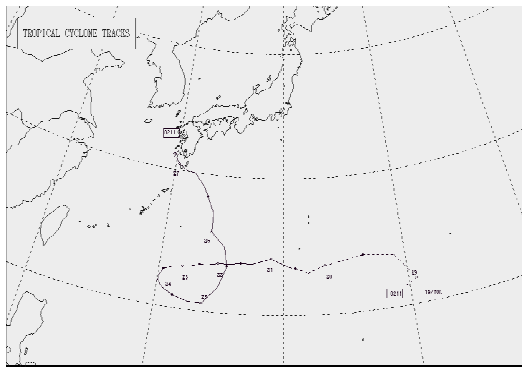
1. 日本氣象廳 <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
2. 台大大氣系吳俊傑教授《雙颱風渦旋交互作用之新詮釋架構》(2003)
3. 香港天文台《2000年在西北太平洋上雙熱帶氣旋相互作用實例的探討》
4. 維基百科 藤原效應  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%97%A4%E5%8E%9F%E6%95%88%E6%87%895>.
5. Unisys Weather [http://weather.unisys.com/hurricane/w\\_pacific/index.php](http://weather.unisys.com/hurricane/w_pacific/index.php)
6. 海外導航網-經緯度距離計算  
<http://big5.hhlink.com/%E7%BB%8F%E7%BA%AC%E5%BA%A6>
7. 中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>
8. 51 屆科展作品《曖昧不明的三角關係—由三颱風探討藤原效應》
9. 53 屆科展作品《從天秤-布拉萬看藤原效應與怪颱風關係》
10. Australia government Geodetic Calculations - Vincenty's Formulae, Inverse Method  
[http://www.ga.gov.au/geodesy/datums/vincenty\\_inverse.jsp](http://www.ga.gov.au/geodesy/datums/vincenty_inverse.jsp)
11. Lander, M.A., and G.J. Holland. 1993, 'On the interaction of tropical-cyclone-scale vortices. I Observations', *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 119, 1347-1361

## 附錄

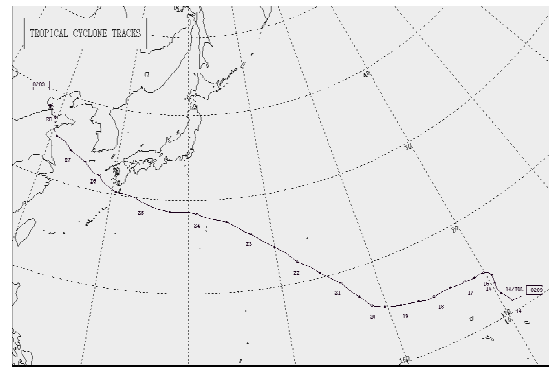
### 三組颱風資料

#### a. 2002 年 鳳凰與風神颱風

	鳳凰	風神
形成日期	7 月 19 日	7 月 14 日
消散日期	7 月 27 日	7 月 28 日
實際路徑圖	如下圖	如下圖
移動範圍	緯度: 21.4 ~ 31.3 N 經度: 129.8 ~ 150.6 E	緯度: 10.9 ~ 38.2 N 經度: 118.4 ~ 171.8 E
最大風速(m/s)	35	50



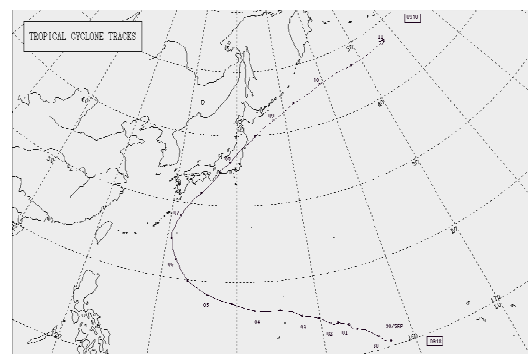
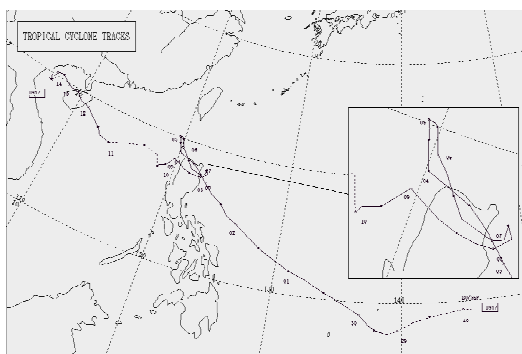
圖(a)鳳凰颱風路徑圖



圖(b)風神颱風路徑圖

#### b. 2009 年 芭瑪與米勒颱風

	芭瑪	米勒
形成日期	9 月 28 日	9 月 29 日
消散日期	10 月 14 日	10 月 11 日
實際路徑圖	如下圖	如下圖
移動範圍	緯度: 9.4 ~ 19.5 N 經度: 106.9 ~ 145.5 E	緯度: 9.6 ~ 46.7 N 經度: 130.5 ~ 177.1 E
最大風速 m/s	50	55

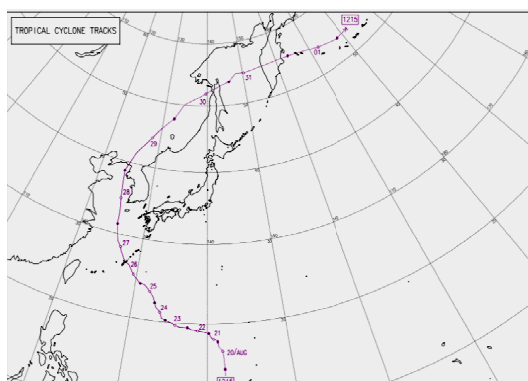


圖(c)芭瑪颱風路徑圖

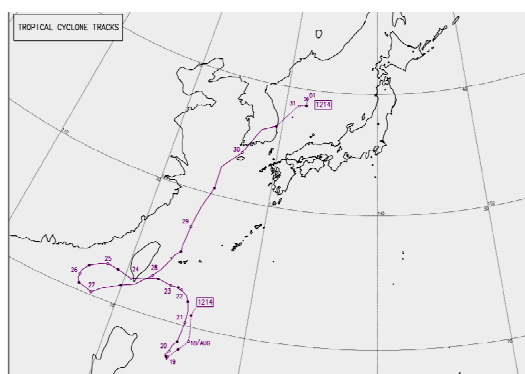
圖(d)米勒颱風路徑圖

c. 2012 年 天秤與布拉萬颱風

	布拉萬	天秤
形成日期	8 月 19 日	8 月 17 日
消散日期	8 月 31 日	8 月 31 日
實際路徑圖	如下圖	如下圖
移動範圍	緯度: 14.1 ~ 53.7 N 經度: 124.5 ~ 178.1 E	緯度: 17.4 ~ 39.2 N 經度: 116.7 ~ 132.2 E
最大風速 m/s	50	40



圖(e)布拉萬颱風路徑圖



圖(f)天秤颱風路徑圖