

國立臺灣師範大學  
海洋環境科技研究所  
碩士學位論文

颱風通過臺灣於其東南角離岸生成  
冷舌之數值研究

**A numerical study on the generations of cool  
jets off southeastern Taiwan in response to  
typhoons directly striking Taiwan**

研究生： 陳斯維

指導教授： 鄭志文 博士

中華民國 103 年 7 月

## 致謝

首先要誠摯的感謝指導教授鄭志文老師，在這兩年期間耐心的指導，除了教導許多研究知識及觀念外，對於生活及態度上也給予我們莫大的關心及幫助。也由衷的感謝何宗儒老師與郭南榮老師在百忙之中撥冗審核我的論文，給予我許多指正與建議。

研究所這兩年的研究期間，感謝助理彥豪、佑霖學長、永富學長及肖征同學在論文及模式方面的解惑與建議，並謝謝博碩學長平常的照顧及口試期間的共同奮鬥，除此之外，感謝海洋大學及臺灣大學的同學，蘇政緯、鄭益廷、張耿豪熱心幫助及陪伴，感激海環所中給予我許多協助的學長姐及同學。

最後感謝家人的支持與包容，讓我無慮的完成碩士學位，未來會繼續努力。

## 摘要

2009 年莫拉克颱風通過臺灣，在臺灣東南角海域生成獨特的冷舌現象，為了釐清冷舌生成的主導因素，本研究使用區域海洋模式系統 (ROMS)，模擬 2005 年至 2013 年之 17 個颱風案例；與有限的現場觀測資料，進行系統性的分析，並對這 17 個通過台灣軌跡的颱風路徑進行研究探討。結果顯示，颱風的行進軌跡分布與冷舌生成之間有密切關聯。而後，在此研究，為了更加瞭解冷舌與軌跡之間的關係，我們進行三個理想化實驗，評估其他因素是否影響冷舌之生成，結果顯示，颱風強度與颱風移度速度皆會影響冷舌的溫降幅度：一般情況下，移動速度越慢，強度越強的颱風，冷舌造成的溫降幅度就越強。我們根據這些系統性的分析結果，能夠預估冷舌的生成，並且預防夏季時，冷舌受黑潮傳輸對沿途周遭之生態環境所造成的影響。

**關鍵字：**颱風、黑潮、冷舌、區域海洋模式系統。

## **Abstract**

With the passage of a westward impinging typhoon Morakot (2009) directly through Kuroshio and mid Taiwan, a distinct cool jet generated at the southeast corner off Taiwan and extended toward Kuroshio downstream region. In order to clarify the dominant factor influencing cool jet, in this study, systematic analyses based on Regional Oceanic Modeling System (ROMS), and limited in-situ measurements with a focus on all tropical cyclones with similar tracks as Morakot from 2003 to 2013 were conducted to elucidate the generations of those cool jets. The results show that the generations of those cool jets are highly sensitive to moving tracks of individual typhoons. Subsequently, three suites of idealized experiments were conducted to provide a more comprehensive view on the contributions from other factors. It shows that including tropical cyclone intensities, translation speed also influence the magnitude of cool jet. Generally, the moving and intensity of typhoon is slower and stronger, the cool jet is stronger. Finally, outline of the impact region was sketched based on the systematic results. With those results, it becomes possible to prevent from cold shock generating in summer time triggered by those cool jets in response to typhoons westward impinging through Taiwan.

Keywords: Typhoon, Kuroshio, cool jet, ROMS.

# 目錄

摘要.....	I
Abstract.....	II
目錄.....	III
表目錄.....	VI
圖目錄.....	VI
第一章 緒論.....	1
1.1 區域介紹.....	1
1.2 文獻回顧.....	1
1.3 研究動機與目的.....	4
第二章 資料來源與研究方法.....	6
2.1 資料簡介.....	6
2.2 研究方法.....	8
第三章 結果與討論.....	12
3.1. 氣象局第二類軌跡路線.....	12
3.1.1 2007 年柯羅莎颱風.....	13
3.1.2 2008 年辛樂克颱風.....	14

3.1.3	2008 年蓄密颱風 .....	15
3.1.4	2008 年卡玫基颱風 .....	16
3.1.5	2012 年蘇拉颱風 .....	16
3.1.6	2013 年蘇力颱風 .....	17
3.2.	氣象局第三類軌跡路線 .....	18
3.2.1	2005 年海棠颱風 .....	18
3.2.2	2005 年泰利颱風 .....	19
3.2.3	2005 年龍王颱風 .....	20
3.2.4	2006 年凱米颱風 .....	21
3.2.5	2007 年梧提颱風 .....	22
3.2.6	2007 年聖帕颱風 .....	23
3.2.7	2008 年鳳凰颱風 .....	24
3.2.8	2009 年莫拉克颱風 .....	25
3.3.	氣象局第四類軌跡路線 .....	26
3.3.1	2006 年寶發颱風 .....	27
3.3.2	2007 年帕布颱風 .....	27
3.4.	成功氣象站的水溫資料 .....	28

3.5. 理想颱風實驗.....	28
第四章 結論與展望 .....	30
4.1 綜合討論.....	30
4.2 未來展望.....	31
參考文獻.....	33

## 表目錄

表 1	2005 年至 2013 年 17 個西向颱風之背景資料與冷舌資訊.....	36
-----	--	----

## 圖目錄

圖 1.1	研究區域 .....	37
圖 1.2	離岸風示意圖 .....	37
圖 2.1	交通部中央氣象局之軌跡分類圖 .....	38
圖 2.2	2005 年至 2013 年生成於西北太平洋之 17 個颱風.....	38
圖 2.3	CJR 於模擬期間風向變化之時間序列 .....	39
圖 2.4	CJR 於模擬期間風向變化之時間序列 .....	40
圖 2.5	CJR 於模擬期間風向變化之時間序列 .....	41
圖 2.6	風速每秒 25 公尺的理想颱風示意圖 .....	42
圖 2.7	25m/s 理想颱風沿著颱風中心至外圍風暴之垂直剖面結構 .....	42
圖 2.8	理想與 17 個颱風沿著颱風中心至外圍風暴之垂直剖面結構 .....	43
圖 2.9	理想颱風與 17 個颱風之軌跡圖 .....	44
圖 2.10	理想颱風第二類軌跡之溫降程度 .....	45
圖 2.11	理想颱風第三類軌跡之溫降程度 .....	45
圖 2.12	理想颱風第四類軌跡之溫降程度 .....	46

圖 3.1	2005 年海棠颱風之模擬結果 .....	47
圖 3.2	2005 年泰利颱風之模擬結果 .....	48
圖 3.3	2005 年龍王颱風之模擬結果 .....	49
圖 3.4	2006 年碧利斯颱風之模擬結果 .....	50
圖 3.5	2006 年凱米颱風之模擬結果 .....	51
圖 3.6	2006 年寶發颱風之模擬結果 .....	52
圖 3.7	2007 年帕布颱風之模擬結果 .....	53
圖 3.8	2007 年梧提颱風之模擬結果 .....	54
圖 3.9	2007 年聖帕颱風之模擬結果 .....	55
圖 3.10	2007 年柯羅莎颱風之模擬結果 .....	56
圖 3.11	2008 年辛樂克颱風之模擬結果 .....	57
圖 3.12	2008 年薔密颱風之模擬結果 .....	58
圖 3.13	2008 年卡玫基颱風之模擬結果 .....	59
圖 3.14	2008 年鳳凰颱風之模擬結果 .....	60
圖 3.15	2009 年莫拉克颱風之模擬結果 .....	61
圖 3.16	2012 年蘇拉颱風之模擬結果 .....	62
圖 3.17	2013 年蘇力颱風之模擬結果 .....	63
圖 4.1	成功氣象站位置圖 .....	64
圖 4.2	2008 年辛樂克颱風期間成功氣象站之海表溫時間序列 .....	64

圖 4.3	2008 年薈密颱風期間成功氣象站之海表溫時間序列 .....	65
圖 4.4	2009 年卡玫基颱風期間成功氣象站之海表溫時間序列 .....	65
圖 4.5	2012 年鳳凰颱風期間成功氣象站之海表溫時間序列 .....	66
圖 4.6	2013 年莫拉克颱風期間成功氣象站之海表溫時間序列 .....	66
圖 4.7	2013 年蘇拉颱風期間成功氣象站之海表溫時間序列 .....	67
圖 4.8	2013 年蘇力颱風期間成功氣象站之海表溫時間序列 .....	67
圖 5.1	第二類颱風軌跡之溫降 .....	68
圖 5.2	第二類未滯留於臺灣的颱風軌跡之溫降 .....	68
圖 5.3	第三類颱風軌跡之溫降 .....	69
圖 5.4	第四類颱風軌跡之溫降 .....	69
圖 5.5	聖帕颱風期間冷舌受黑潮輸送之模擬結果 .....	70

# 第一章 緒論

## 1.1 區域介紹

本研究的區域範圍經度為 $117^{\circ}\text{E}$ 至 $132^{\circ}\text{E}$ ，緯度為 $16^{\circ}\text{N}$ 至 $27^{\circ}\text{N}$ ，研究區域背景如圖1.1，包含東海陸棚南部、沖繩海槽南部、菲律賓北部、台灣以及周圍海域，在台灣北部緊鄰東海(East China Sea)，西側有台灣海峽(Taiwan Strait)，東側有黑潮(Kuroshio)通過。而黑潮是北太平洋中最重要的西方邊界流，黑潮由北赤道洋流(North Equatorial Current, NEC)分支而來，當北赤道流由東向西流受菲律賓民答那峨島阻擋，分支成南北兩股海流，向北支流為黑潮，向南支流則為民答那峨海流(Mindanao Current)，黑潮流經菲律賓東岸、呂宋海峽與台灣東部海岸(Nitani, 1972)，當黑潮流經台灣東北時，因受到東西走向的東海陸棚阻擋，使其原本向北流的黑潮轉而向東，約沿著東海陸棚邊緣200公尺等深線流往日本東部外海(Hsin et al., 2011)。

## 1.2 文獻回顧

Zheng et al. (2014) 研究莫拉克颱風通過黑潮及台灣的過程，發現一個明顯的冷舌現象(cool jet)，形成於台灣東南角，並隨著黑潮往北輸送。主要是因為當熱帶氣旋通過黑潮與台灣後，造成離岸風，

海水受艾克曼傳輸往東南方向輸送（遠離陸地），導致在台灣東南角沿岸造成湧升現象，因為離岸風容易導致海水遠離海岸，使所經水域的海水流出，深層水向上補給，如圖1.2，而且此區域地形及風向的關係，使其冷舌造成的溫降受黑潮傳輸，遷移帶往至北方。

由過去的研究讓我們瞭解，海洋的垂直混合與湧升流，會從表層下向上輸送低溫、營養豐富的海水至海表面，取代原本溫度較高，缺乏營養的表層海水。例如 Luis and Kawamura (2001) 利用衛星遙測資料，探討馬納爾灣大氣、海洋與地形之間相互作用的影響，發現強風會將海洋表面的熱量帶走，而使得海表面溫度下降，在艾克曼泵吸 (Ekman pumping) 作用下，會由深層的水往上補充，而使海表面溫度下降現象得以持續一段時間。此現象通常發生在開放的海洋和沿海岸線。當海水湧升至表面造成的海水通常是寒冷，含有豐富的營養成分，這意味著這些海水往往具有較高的生物生產力，所以，良好的漁場通常被發現在常見的湧升流區域。我們也從 Grantham et al. (2004) 瞭解，湧升流系統對於世界漁業的幫助佔有很大比例，因此，瞭解海洋氣候之間的變化聯繫，湧升流的驅動及缺氧和生態之間的擾動是至關重要。除此之外，Barrick et al. (1974) 指出，在以往的研究，水的反常溫度差異傳輸，被認為是造成天氣狀況異常影響大陸的原因。

根據 Chatterjee (2004) 研究指出，溫度是影響生長、存活、生理

及生態的主要因子之一，而水溫對環境影響是重要因子，對於水溫過高或過低，許多魚類仔魚之成長都有很大的影響。環境溫度的快速改變，會對變溫動物之細胞代謝及生理機制造成影響，對生物體而言，是一種物理性緊迫因子，對生物體可能造成傷害，而引起包括行為、生理與細胞的多種反應機制 (Iwama et al., 1998)。Behrends (1990) 也指出魚類因魚種的不同對溫度變化的抵抗力也會有所不同。溫度急劇下降對於水產養殖發生冷休克反應的影響，也已經被充分地記錄在文獻回顧裡 (Donaldson et al., 2008)，除此之外，浮游物游泳能力非常微弱，移動方式經常是隨著海流飄流 (Hardy and Bainbridge, 1954; Hannan, 1984)。所以，大多數浮游動物族群對環境因子的變化甚為敏感，當海洋環境有所改變時，浮游動物群聚組成及數量亦會產生明顯的變動，這對於浮游動物中佔多數的橈足類而言更是如此 (Boucher, 1984; Margalef and Estrada, 1987; Boucher et al., 1987)。

因此，此研究中，我們希望能釐清並歸納出冷舌的生成，藉此預估冷舌的產生，因為除了冬季之外，在夏天，鑑於冷舌造成的溫度急劇下降，可能會沿著黑潮移動，因為黑潮在北太平洋西部扮演一個強大輸送帶的作用 (Nitani, 1972; Liang et al., 2003; Hsin et al., 2008)，而對其周遭生態系統，海洋環境和氣候造成威脅、影響，嚴重點可能會使生物死亡，因為每種生物都有適應於特定水溫的範圍。

### 1.3 研究動機與目的

由過去的研究發現颱風的天氣現象對於我們環境周遭的確有很大的衝擊，不僅是颱風本身，也包含與其海洋及地形相互作用所造成的影響-冷舌。水溫過高或過低時，對許多魚類之仔魚成長都有很大的影響，當其超過忍受之界限時，就會對其本身造成傷害(Chatterjee, 2004)。這表示除了冬季可能會有寒害之外，夏天也可能受冷舌造成的溫降，沿著黑潮移動影響其周遭環境，因為黑潮在北太平洋西部扮演一個強大輸送帶的獨特作用 (Nitani, 1972; Liang et al., 2003; Hsin et al., 2008)。而且，湧升流系統對於世界漁業的幫助佔有很大比例，因此，瞭解海洋與氣候之間的變化聯繫，湧升流的驅動及缺氧和生態之間的擾動是至關重要 (Brian et al., 2004)。

目前我們透過現場實測、遙感探測、實驗技術來觀測地球環境，但三者有其各自的優缺點，現場實測雖然具有良好的即時監測，但是資料較少且受限於空間尺度，遙感探測雖然提供廣泛的覆蓋範圍和樣本，但是對於沿岸情況及某些天氣情況則不適用，例如較大降雨，而實驗技術則是樣本可能受其污染且缺乏即時的監測。

因此本研究希望應用 ROMS (Regional Ocean Modeling System) 模式模擬颱風通過黑潮與臺灣的冷舌情況進行探討，希望探討海水溫度冷卻的冷舌現象之下列議題：

1. 所有通過臺灣之颱風是否皆會生成冷舌現象。
2. 不同颱風造成的冷舌現象是否類似於莫拉克颱風引發之冷舌。
3. 主導冷舌生成的因素。
4. 冷舌受黑潮傳輸影響的範圍區域。
5. 預測冷舌是否生成。

## 第二章 資料來源與研究方法

### 2.1 資料簡介

本研究時間範圍是從西元2005年至2013年生成於西北太平洋共17個颱風（表1），颱風軌跡皆為橫跨黑潮後通過臺灣的颱風，依據交通部中央氣象局（以下簡稱為氣象局）的軌跡分類（圖2.1），如圖2.2顯示，第二類軌跡有七個，第三類軌跡有八個，第四類軌跡有二個，屬於強烈颱風有八個，中度颱風有五個，輕度颱風有四個。

本研究所使用的資料有氣象局的颱風資料，美國Unisys的颱風軌跡，氣象局成功氣象站的水溫資料，以及法國CERSAT的Blended wind 資料、NOAA 的全球預報系統（Global Forecast System）資料與HYCOM資料做為ROMS 模式的輸入資料。

#### (1) 氣象局的颱風資料：

颱風資料庫蒐集歷年來北太平洋西部發生之颱風的名稱與編號，並將中央氣象局發布颱風警報期間之多種氣象圖表資料予以收錄，代表歷年來有發布颱風警報的所有颱風，都可透過網路申請並下載資料（<http://rdc28.cwb.gov.tw>），包括：綜觀天氣圖、衛星雲圖、雷達圖、颱風路徑圖、累積雨量圖及颱風警報單等，但是若沒有發布颱風警報的颱風就無法提供資料。本研究使用的資料，從颱風開始形成到結束

每六小時一筆的資料，包含颱風名稱、時間、位置（經緯度）、七級暴風半徑等部分。

(2) 美國Unisys的颱風軌跡：

(<http://weather.unisys.com/hurricane>) 該網頁上提供了1995年至2014年的颱風信息，包括風暴的軌跡圖，及各個軌跡信息為基礎的文本。該文本包括颱風中心的經緯度位置，最大持續風速 (knots)，中心氣壓 (millibars)，為颱風開始形成至結束每六小時一筆的資料。

(3) 氣象局成功氣象站的水溫資料

成功氣象站觀測項目主要分為四類，地面氣象觀測，海象觀測，大氣物理化學觀測，地震觀測。其中海象觀測的觀測站位於東海岸岸邊，於成功鎮沿岸設置數種海象觀測儀，其位置適合本研究探討比對模式模擬結果。

(4) ROMS 模式 (Regional Ocean Modeling System)

颱風模擬基於Shchepetkin and McWilliams (2005) 驗證之區域海洋模式系統 (ROMS)，從ETOPO2海底地形衍生出真實的海底地勢 (Smith and Sandwell, 1997)，模式模擬結果的水平解析度為0.125度。模式模擬需要初始條件 (Initial condition) 及邊界條件 (Boundary condition)，藉由HYCOM及海軍耦合海洋資料同化 (The Navy Coupled Ocean Data Assimilation) 系統，同化所有可用的資料，包括衛星高度

計觀測、衛星和實地的海表溫觀測，以及現場的垂直溫度和鹽度剖面，提供給我們的模式模擬更真實的初始條件 (Cumming, 2005)，因此，我們利用 HYCOM/NCODA 資料經處理後做為模式的初始及邊界條件，此外，利用 ECMWF/QSCAT 每六小時輸出，解析度為 0.25 度的 Blended wind 資料 (<ftp://ftp.ifremer.fr>)，與 NOAA 網站的全球預報系統 (Global Forecast System) 資料 (<http://nomads.ncdc.noaa.gov>)，包含風場資料、海氣熱通量及動量通量等等，經處理後作為模式的邊界條件。

模式輸入的風場資料主要使用 ECMWF/QSCAT，但是因資料限制的關係，Blended wind 資料時間長度只到 2009 年，因此 2009 年至 2013 年的颱風模擬，則以 NOAA 的每六小時輸出，解析度為 0.5 度的全球預報系統 (Global Forecast System) 風場資料代替，除此之外，若模擬颱風案例期間有缺少其對應時間的資料，則以解析度為 1 度的全球預報系統 (Global Forecast System) 資料代替。

## 2.2 研究方法

本研究主要目的在探討颱風通過黑潮及臺灣在什麼情況下會生成冷舌現象，由於冷舌現象是沿岸邊生成，因此無法透過衛星遙測資料進行分析，探討此溫降現象。於是我們利用 ROMS 模式模擬 17 個颱風，當其通過黑潮及臺灣，探討有無冷舌生成的情況，而模擬研究

選取的時間範圍，為 17 個颱風各別生成的時間至消散後五天，例如某颱風從 10 月 1 日生成至 10 月 7 日消散，則我們進行的 ROMS 模式模擬時間就為 10 月 1 日至 12 日，共 12 天的模擬實驗，時間的延長主要是為了觀測颱風作用後海表溫的變化情況，避免颱風案例過快消散的情況，空間範圍為緯度  $16^{\circ}\text{N}$  至  $27^{\circ}\text{N}$ ，經度  $117^{\circ}\text{E}$  至  $132^{\circ}\text{E}$ （如圖 2.2），圖 2.2 中的黑框範圍（ $21.8^{\circ}\text{N}\sim 23^{\circ}\text{N}$ ， $120.8^{\circ}\text{E}\sim 121.5^{\circ}\text{E}$ ）代表冷舌所生成的區域，這邊定義黑框範圍為 CJR，用於探討後續的分析。

我們藉由分析 ROMS 模式模擬出的 17 個颱風案例的結果，探討冷舌生成的有無，並與氣象局提供的颱風資訊進行比對，研究其之間的差異，藉此，我們歸類出可能影響其冷舌生成的因素，包括風向、颱風軌跡、颱風強度及移動速度等等。隨著模擬時間對 CJR 內的風向進行空間平均，如圖 2.3 至 2.5，這顯示冷舌生成區域，隨著颱風期間主要風向改變之時間序列圖。

颱風軌跡分類是根據氣象局的颱風資訊，颱風強度是根據美國 Unisys 的颱風強度，如表 1，而為了探討冷舌的生成的因素，表 1 中的颱風強度與颱風移動速度不是代表颱風期間的最大強度，而是代表從颱風中心登陸黑潮（颱風中心接近  $123^{\circ}\text{E}$ ）至離開臺灣本島期間的狀態，顯示冷舌生成區域受颱風影響時的颱風強度變化及移動速度情

況。為了探討颱風導致的離岸風所造成冷舌之生成，因此在計算颱風移動速度上，我們利用美國 Unisys 的每六小時的颱風軌跡資料，從颱風中心接近 123°E 至颱風中心離開台灣本島的時間與距離，換算成颱風的移動速度，這表示颱風在登陸黑潮至離開台灣期間，颱風實際作用於冷舌生成的範圍，假設某颱風中心從 123°E 至離開臺灣本島，軌跡在此期間移動距離為 300 公里，歷經時間從 7 月 12 日至 13 日共 24 小時，颱風移動速度則為 12.5km/hr，大約每秒移動 3.47 公尺。

為了驗證模式模擬結果的正確性，我們利用現場觀測資料進行分析，探討模式模擬出的冷舌溫降現象是否與現場觀測資料一致，但由於現場觀測 AGRO 浮標資料的時間及其位置，幾乎都沒有符合我們研究的 17 個颱風案例，只有 2009 年的莫拉克颱風符合，而在美國太空總署 Terra 及 Aqua 衛星上搭載的 MODIS 探測器所取得的衛星資料，也不適合觀測我們的研究，因為 17 個颱風案例，在颱風前後期間不是受雲干擾就是缺少資料，因此實測資料方面，我們使用氣象局成功氣象站的水溫資料。

我們藉由模擬實際的颱風案例，確實發現在不同颱風的條件情況下，有無冷舌生成之差異，但對於其影響生成條件因素的權重還有待商榷，因為我們發現在實際的颱風案例中，從軌跡分類第四類的颱風方面來看，具有樣本數不足的現象，颱風數量只有兩個，且此兩者的

移動速度與颱風強度也大致相同，因此我們藉由模擬理想颱風控制實驗，補充實際颱風案例的不足。

理想颱風控制實驗，首先我們參考 Holland (1980) 的公式，產生理想颱風 (如圖 2.6、2.7)，並將理想颱風沿著颱風中心至外圍風暴的垂直剖面結構，與 17 個實際颱風案例進行比對 (圖 2.8)，確定理想颱風結構後，在三種颱風軌跡 (圖 2.9)、三種颱風強度 (20、25、30 m/s)、三種移動速度 (2.36、4.72、7.08 m/s) 的不同配置上，進行理想颱風的數值實驗 (共 27 個實驗)，而後，將此 27 個模擬實驗之冷舌生成區域 ( $21.8^{\circ}\text{N}\sim 23^{\circ}\text{N}$ ， $120.8^{\circ}\text{E}\sim 121.5^{\circ}\text{E}$ ) 內的溫降程度，繪製到三種不同颱風軌跡之九宮格圖 (圖 2.10 至 2.12)，每格代表每個理想颱風實驗的溫降。我們以颱風中心靠近  $123^{\circ}\text{E}$  時間的前兩天，將其黑框範圍 CJR 內的海表溫進行平均，作為冷舌生成前的海表溫，並將其海表溫扣除颱風作用期間的最低的海表溫，代表此模擬颱風案例的冷舌所引發之溫降。

## 第三章 結果與討論

我們藉由 ROMS 模式進行模擬，從 2005 年至 2013 年，17 個由西太平洋生成且由西向東通過臺灣之颱風，為了探討瞭解冷舌產生之關鍵因素。研究討論的 17 個颱風，分別為 2005 年的海棠、泰利、龍王，2006 年的碧利斯、凱米、寶發，2007 年的帕布、梧提、聖帕、柯羅莎、辛樂克，2008 年的薔密、卡玫基、鳳凰，2009 年的莫拉克，2012 年的蘇拉，以及 2013 年的蘇力(圖 3.1 至 3.17)。如同表 1，列出此 17 個模擬颱風各別的背景資料（包括颱風移動軌跡，颱風強度，最大暴風半徑，颱風移動速度等等），連同在台灣東南角冷舌出現與否的信息。（在這裡，冷舌被定義為沿著台灣東南海岸之生成，且受黑潮傳輸至北方。）

我們研究發現颱風軌跡對於冷舌的生成，有一定程度上的影響，在此將 17 個颱風依照氣象局軌跡分類，分別予以探討。

### 3.1. 氣象局第二類軌跡路線

依據氣象局軌跡分類，屬於第二類軌跡的颱風分別為，2006 年的碧利斯、2007 年的柯羅莎、2008 年的辛樂克、薔密、卡玫基、2012 年的蘇拉，以及 2013 年的蘇力颱風，共 7 個。而且依據表 1 與氣象局颱風資訊，我們發現第二類軌跡的颱風，盤旋滯留於台灣的與否對

於冷舌的生成有影響，而此颱風在臺灣的盤旋滯留對於臺灣東南角的風向改變是可預期的，如圖 2.3 至 2.5，藉此我們發現，當颱風屬於第二類颱風軌跡時，盤旋滯留於臺灣，冷舌生成的現象就不會出現，如 2007 年的柯羅莎（圖 3.10）、2008 年的辛樂克（圖 3.11）、薔密（圖 3.12），及 2012 年的蘇拉颱風（圖 3.16）。

### 3.1.1 2007 年柯羅莎颱風

柯羅莎颱風生成地點在呂宋島東方海面，根據氣象局資料，生成後向西北方向移動，颱風最大強度屬於強烈颱風，近中心最大風速為每秒 51 公尺，而颱風軌跡於世界標準時間 10 月 6 日上午，靠近宜蘭近岸的沿海岸時，移動路徑向南移，在花蓮縣北部近海，颱風呈打轉現象，於當日 14 時 30 分左右在頭城及三貂角間進入北部陸地，之後向北北西移動且快速通過臺灣北端陸地。

柯羅莎颱風於世界標準時間 10 月 1 日形成至 10 月 8 日消散，因此，我們從 10 月 1 日至 13 日，藉由 ROMS 模式進行柯羅莎颱風 13 天的模擬實驗，其結果從圖 3.10，我們可以看到模擬柯羅莎颱風模擬風場與海表溫隨時間的變化，在臺灣東南角沒有明顯的冷舌現象生成，在颱風中心靠近臺灣前，黑框區域的海表溫大約為 28.03 度左右，颱

風通過後，海表溫大約為 27.30 度。由於颱風盤旋於花蓮北部，使其風向改變，沒有冷舌生成現象是可預期的。

### 3.1.2 2008 年辛樂克颱風

辛樂克颱風生成地點在菲律賓東方海面，根據氣象局資料，颱風最大強度屬於強烈颱風，近中心最大風速為每秒 51 公尺，辛樂克颱風在生成後向北北西方向移動，於世界標準時間 9 月 14 日進入臺灣東部近海，此時呈現滯留現象，登陸地段在宜蘭縣蘭陽溪附近，登陸時間為 9 月 13 日 17 時 50 分左右，之後強度減弱並向南偏移至蘇澳附近呈打轉現象，於 9 月 14 日 2 時左右通過臺灣東北角進入北部海面，並持續在北部海面緩慢移動及打轉，9 月 15 日 0 時左右，轉向東北前進遠離臺灣。

辛樂克颱風於世界標準時間 9 月 8 日形成至 9 月 20 日消散，因此，我們藉由 ROMS 模式進行辛樂克颱風的數值模擬，應該要從 9 月 8 日至 25 日，但由於 9 月 21 日至 9 月 25 日期間有缺少模擬所需之資料，且辛樂克颱風並無消散過快之情況，所以模擬時間沿用 9 月 8 日至 20 日，共 13 天的模擬實驗其結果從圖 3.11，我們可以看到模擬辛樂克颱風模擬風場與海表溫隨時間的變化，在臺灣東南角沒有明顯的冷舌現象生成，在颱風中心靠近臺灣前，黑框區域的海表溫大約

為 29.15 度左右，颱風通過後，海表溫大約為 28.44 度，沒有冷舌生成現象的結果，與上述相同。

### 3.1.3 2008 年薈密颱風

薈密颱風生成地點在菲律賓東方海面，根據氣象局資料，颱風最大強度屬於強烈颱風，近中心最大風速為每秒 53 公尺，薈密颱風在生成後向西北方向移動，在世界標準時間 9 月 28 日 7 時 40 分左右於宜蘭縣南澳附近登陸，9 時左右薈密減弱為中度颱風，並向南偏移呈現打轉現象，之後 23 時左右朝北北西移動，於 9 月 28 日 20 時 20 分左右出海於桃園附近，8 時左右減弱為輕度颱風並轉向北北東移動遠離臺灣。

薈密颱風於世界標準時間 9 月 23 日形成至 10 月 1 日消散，但缺少 10 月 1 日模擬所需之資料，因此，我們在藉由 ROMS 模式進行薈密颱風的數值模擬，時間範圍改為從 9 月 23 日至 30 日，共 8 天的模擬實驗，其結果為圖 3.12，薈密颱風模擬風場與海表溫隨時間的變化，颱風中心靠近臺灣前，黑框區域的海表溫大約為 28.41 度左右，颱風通過後，海表溫大約為 27.95 度，在臺灣東南角並沒有明顯的冷舌現象生成，這種情況如同其他盤旋的第二類颱風軌跡。

### 3.1.4 2008 年卡玫基颱風

卡玫基颱風生成地點在菲律賓東北方近海，根據氣象局資料，颱風最大強度屬於中度颱風，近中心最大風速為每秒 33 公尺，颱風在生成後移動緩慢近似滯留，於世界標準時間 7 月 16 日轉向東北方向移動，之後方向轉向為北北西，朝臺灣東部沿海靠近，於 7 月 17 日 13 時 40 分在宜蘭縣南部登陸，最後在 7 月 17 日 23 時 20 分左右於桃園附近出海，並持續向西北方向移動。

卡玫基颱風於世界標準時間 7 月 13 日形成至 7 月 20 日消散，因此，我們藉由 ROMS 模式進行卡玫基颱風的模擬實驗，從 7 月 13 日至 25 日，共 13 天數值模擬，其結果從圖 3.13，卡玫基颱風模擬風場與海表溫隨時間的變化，颱風中心靠近臺灣前，黑框區域的海表溫大約為 29.25 度左右，颱風通過後，海表溫大約為 27.97 度，在臺灣東南角冷舌現象的溫降程度沒有這麼顯著，但在臺灣中部冷舌生成現象十分顯著，顯示颱風軌跡不同導致冷舌的生成區域也有所差異。

### 3.1.5 2012 年蘇拉颱風

蘇拉颱風生成地點在菲律賓東方海面，根據氣象局資料，颱風最大強度屬於中度颱風，近中心最大風速為每秒 38 公尺，颱風在生成後路徑以北北西方向移動，於世界標準時間 8 月 1 日 19 時 20 分登陸

於花蓮秀林鄉附近，之後颱風呈打轉現象，於 8 月 2 日 6 時左右掠過臺灣東北角進入北部海面。

蘇拉颱風於世界標準時間 7 月 26 日形成至 8 月 4 日消散，但因為缺少 ROMS 模擬所需之 7 月 29 日及 8 月 6 日資料，ROMS 模式進行的蘇拉颱風的模擬實驗，時間範圍則從 7 月 30 日至 8 月 5 日，共 7 天數值模擬，其結果從圖 3.16，蘇拉颱風模擬風場與海表溫隨時間的變化，颱風中心靠近臺灣前，黑框區域的海表溫大約為 28.54 度左右，颱風通過後，海表溫大約為 28.20 度，雖然此模擬時間較短，但在颱風通過臺灣後，8 月 5 日的海表溫明顯恢復，因此，蘇拉如同其他盤旋的第二類颱風軌跡，在臺灣東南角沒有明顯的冷舌現象生成。

### **3.1.6 2013 年蘇力颱風**

蘇力颱風生成地點在關島北方海面，根據氣象局資料，颱風最大強度屬於強烈颱風，近中心最大風速為每秒 51 公尺，颱風生成後向西北西方向移動，於世界標準時間 7 月 11 日 12 時由強烈颱風減弱為中度颱風，接近臺灣東北部海面時，移動路徑略為向西北移動，7 月 12 日 19 時登陸於新北市與宜蘭縣交界處，7 月 13 日左右於新竹附近出海。

蘇力颱風於世界標準時間 7 月 7 日形成至 7 月 14 日消散，但因為缺少 ROMS 模擬所需之 7 月 10 日的資料，因此，我們藉由 ROMS 模式進行蘇力颱風的模擬實驗，從 7 月 11 日至 19 日，共 9 天數值模擬，其結果從圖 3.17，蘇力颱風模擬風場與海表溫隨時間的變化，颱風中心靠近臺灣前，黑框區域的海表溫大約為 29.44 度左右，颱風通過後，海表溫大約為 28.31 度，在臺灣東南角冷舌現象的溫降程度沒有這麼顯著，冷舌現象的溫降明顯主要是在臺灣中部，這結果可能與暴風半徑、移動軌跡偏北導致風向的差異有所關聯。

### **3.2. 氣象局第三類軌跡路線**

依據氣象局軌跡分類，本研究屬於第三類軌跡的颱風分別為，2005 年的海棠、泰利、龍王、2006 年的凱米、2007 年的梧提、聖帕、2008 年的鳳凰，以及 2009 年的莫拉克颱風，共 8 個。而且依據表 1 與氣象局颱風資訊，我們發現第三類軌跡的颱風，盤旋滯留於台灣的與否對於冷舌生成的影響似乎不顯著，

#### **3.2.1 2005 年海棠颱風**

海棠颱風生成地點在關島北北東方海面，根據氣象局資料與模擬結果（圖 3.1），颱風最大強度屬於強烈颱風，近中心最大風速為每

秒 55 公尺，颱風生成後軌跡移動方向先為西南西，之後轉為西北西方向移動，接近臺灣時在花蓮外海呈逆時鐘打轉一圈，於世界標準時間 7 月 18 日 6 時 50 分左右登陸在宜蘭東澳附近，當日 14 時左右於苗栗後龍附近進入臺灣海峽，繼續向西北移動。

海棠颱風於世界標準時間 7 月 11 日形成至 7 月 19 日消散，藉由 ROMS 模式進行海棠颱風的模擬實驗，時間範圍從 7 月 11 日至 24 日，共 14 天數值模擬，其結果從圖 3.1，顯示海棠颱風模擬風場與海表溫隨時間的變化，我們從 7 月 17 日起可以看到臺灣東南角開始有較低溫的海水出現，隨著颱風通過黑潮及臺灣後生成冷舌現象，此區的低溫越來越顯著，並且隨黑潮帶往北部。海棠颱風中心在靠近臺灣前，黑框區域的海表溫大約為 29.24 度左右，颱風通過後，海表溫大約為 25.76 度，平均溫降幅度大約 3.48 度。

### 3.2.2 2005 年泰利颱風

泰利颱風生成地點在關島西方海面，根據氣象局資料與模擬結果（圖 3.2），颱風最大強度屬於強烈颱風，近中心最大風速為每秒 53 公尺，颱風生成後先由向西北移動，之後轉為西北西方向朝臺灣移動，在花蓮與宜蘭之間登陸，颱風在到達花蓮近海時，颱風低層環流中心

滯留打轉並減弱消失，而後由臺中西方近海形成之副低壓中心取代，並持續向西北西移動，最後從福建進入大陸。

泰利颱風於世界標準時間 8 月 26 日形成至 9 月 2 日消散，藉由 ROMS 模式進行泰利颱風的模擬實驗，時間範圍從 7 月 11 日至 24 日，共 14 天數值模擬，其結果從圖 3.2，顯示泰利颱風模擬風場與海表溫隨時間的變化，我們從 8 月 31 日起可以看到臺灣東南角開始有較低溫的海水出現，隨著颱風通過黑潮及臺灣後生成冷舌現象，此區的低溫越來越顯著，並且隨黑潮帶往北部。泰利颱風中心在靠近臺灣前，黑框區域的海表溫大約為 29.44 度左右，颱風通過後，9 月 1 日 6 時海表溫大約為 27.30 度，溫降幅度大約 2.14 度，而此溫降幅度沒有這麼劇烈，我們認為與泰利颱風移動速度有關，在接近臺灣時移動速度為每秒 5.23 公尺，這與我們的模擬理想實驗結果類似。

### 3.2.3 2005 年龍王颱風

龍王颱風生成地點在關島北方海面，根據氣象局資料與模擬結果（圖 3.3），颱風最大強度屬於強烈颱風，近中心最大風速為每秒 51 公尺，颱風生成後以西北方向移動，之後轉變為往西方向朝臺灣移動，於世界標準時間 10 月 1 日 21 時 10 分在花蓮豐濱附近登陸，10 月 2 日 2 時於濁水溪口附近進入臺灣海峽。

龍王颱風於世界標準時間 9 月 25 日形成至 10 月 2 日消散，藉由 ROMS 模式進行龍王颱風的模擬實驗，時間範圍從 9 月 25 日至 10 月 7 日，共 13 天數值模擬，其結果從圖 3.3，顯示龍王颱風模擬風場與海表溫隨時間的變化，我們從 10 月 1 日 18 時可以看到臺灣東南角沿岸有較低溫的海水出現，隨著颱風通過黑潮及臺灣後，此區的低溫有顯著的趨勢，生成冷舌現象，並且隨黑潮帶往北部。龍王颱風中心在靠近臺灣前，黑框區域的海表溫大約為 28.15 度左右，颱風通過後，10 月 2 日 18 時海表溫大約為 27.48 度，溫降幅度大約 0.67 度，龍王颱風我們從表 1 可以得知颱風移動速度為每秒 6.40 公尺，與我們理想颱風實驗結果一致。

### 3.2.4 2006 年凱米颱風

凱米颱風生成地點在關島西南方海面，根據氣象局資料與模擬結果（圖 3.3），颱風最大強度屬於中度颱風，近中心最大風速為每秒 38 公尺，颱風生成後以西北西方向移動，於世界標準時間 7 月 24 日 15 時 45 分左右在臺東成功附近登陸，20 時 5 分左右由嘉義東石附近進入臺灣海峽。

凱米颱風於世界標準時間 7 月 19 日形成至 7 月 26 日消散，藉由 ROMS 模式進行凱米颱風的模擬實驗，因為缺少 7 月 31 日資料，所

以時間範圍從 7 月 19 日至 7 月 30 日，共 11 天數值模擬，其結果從圖 3.3，顯示凱米颱風模擬風場與海表溫隨時間的變化，我們從 7 月 24 日起可以看到，當颱風中心越靠近臺灣時，在其東南角沿岸較低溫的海水就越顯著出現，生成冷舌現象，並且隨黑潮帶往北部。凱米颱風中心在靠近臺灣前，黑框區域的海表溫大約為 30.11 度左右，颱風通過後，7 月 27 日 18 時海表溫大約為 27.99 度，溫降幅度大約 2.11 度，凱米颱風我們從表 1 可以得知颱風移動速度為每秒 5.76 公尺，與我們理想颱風實驗結果一致。

### 3.2.5 2007 年梧提颱風

梧提颱風生成地點在呂宋島東方海面，根據氣象局資料與模擬結果（圖 3.8），颱風最大強度屬於輕度颱風，近中心最大風速為每秒 18 公尺，颱風生成後先由北北西移動，隨後朝西北方向向臺灣移動，於世界標準時間 8 月 9 日 1 時左右登陸於花蓮及臺東交界附近，進入陸地後並繼續向西北移動，但梧提颱風在登陸後結構受地形破壞於當日 3 時減弱為熱帶性低氣壓。

梧提颱風於世界標準時間 8 月 7 日形成至 8 月 9 日消散，藉由 ROMS 模式進行梧提颱風的模擬實驗，時間範圍從 8 月 7 日至 8 月 14 日，共 8 天數值模擬，其結果從圖 3.8，顯示梧提颱風模擬風場與

海表溫隨時間的變化，我們從 8 月 9 日颱風消散後可以看到，在東南角沿岸較低溫的海水就越顯著出現，而後生成冷舌的形式。梧提颱風中心在靠近臺灣前，黑框區域的海表溫大約為 29.59 度左右，颱風通過臺灣後，於 8 月 13 日 21 時海表溫大約為 27.58 度，溫降幅度大約 2.01 度，梧提颱風我們從表 1 可以得知颱風移動速度為每秒 3.92 公尺，與我們理想颱風實驗結果一致，而此結果也發現颱風強度可能不是影響冷舌的主因，但是由於這段時間除了受梧提颱風影響外，也受到寶發颱風作用，所以這部分還需要研究探討，除此之外，此冷舌之型態，我們從聖帕颱風的模擬結果（圖 3.9）也可以發現，在一開始模擬聖帕颱風時，臺灣東南角就有冷舌的形式出現，顯示聖帕颱風前一個颱風梧提所造成的結果。

### 3.2.6 2007 年聖帕颱風

聖帕颱風生成地點在呂宋島東方海面，根據氣象局資料與模擬結果（圖 3.9），颱風最大強度屬於強烈颱風，近中心最大風速為每秒 53 公尺，颱風生成後先是向西南西方向移動，於世界標準時間 8 月 15 日左右轉為向西北方向朝臺灣移動，在 8 月 17 日 21 時 40 分左右於花蓮秀姑巒溪口附近登陸，8 月 18 日 3 時左右在濁水溪口附近出海進入臺灣海峽。

聖帕颱風於世界標準時間 8 月 12 日形成至 8 月 19 日消散，藉由 ROMS 模式進行聖帕颱風的模擬實驗，時間範圍從 8 月 12 日至 8 月 24 日，共 13 天數值模擬，其結果從圖 3.9，顯示聖帕颱風模擬風場與海表溫隨時間的變化，我們從 8 月 17 日至 8 月 22 日可以看到，在臺灣東南角沿岸有較低溫的海水出現，且生成冷舌的形式，在 8 月 22 日可以很明顯看到冷水團被黑潮往北輸送。聖帕颱風中心在靠近臺灣前，黑框區域的海表溫大約為 28.65 度左右，颱風通過臺灣後，於 8 月 19 日 3 時海表溫大約為 27.28 度，溫降幅度大約 1.37 度，聖帕颱風我們從表 1 可以得知颱風移動速度為每秒 3.92 公尺，與我們理想颱風實驗結果一致。

### 3.2.7 2008 年鳳凰颱風

鳳凰颱風生成地點在琉球那霸東南方海面，根據氣象局資料與模擬結果（圖 3.14），颱風最大強度屬於中度颱風，近中心最大風速為每秒 43 公尺，颱風生成後緩慢向西移動，世界標準時間 7 月 27 日轉向西北西方向朝臺灣移動，7 月 27 日 22 時 50 分登陸於花蓮靜浦與台東長濱之間，並持續向西北移動，於 7 月 28 日 6 時 30 分在彰化縣出海。

鳳凰颱風於世界標準時間 7 月 22 日形成至 7 月 29 日消散，藉由 ROMS 模式進行鳳凰颱風的模擬實驗，時間範圍從 7 月 22 日至 8 月 3 日，共 13 天數值模擬，其結果從圖 3.14，顯示鳳凰颱風模擬風場與海表溫隨時間的變化，我們從 7 月 27 日開始可以看到，當颱風中心越靠近黑潮及臺灣，在臺灣東南角沿岸有較低溫的海水出現，且生成冷舌的形式，受黑潮往北輸送。鳳凰颱風中心在靠近臺灣前，黑框區域的海表溫大約為 29.50 度左右，颱風通過臺灣後，於 7 月 30 日海表溫大約為 25.72 度，溫降幅度大約 3.78 度，鳳凰颱風我們從表 1 可以得知颱風移動速度為每秒 5.05 公尺。

### 3.2.8 2009 年莫拉克颱風

莫拉克颱風生成地點在菲律賓東北方海面，根據氣象局資料與模擬結果（圖 3.15），颱風最大強度屬於中度颱風，近中心最大風速為每秒 40 公尺，莫拉克於世界標準時間 8 月 5 日 12 時增強為中度颱風並向西朝臺灣移動，進入臺灣東部近海時受地形影響，速度略為減慢並轉為西北方向移動，8 月 7 日 15 時 50 分左右登陸在花蓮市附近，8 月 8 日 6 時左右在桃園附近出海。

莫拉克颱風於世界標準時間 8 月 3 日形成至 8 月 11 日消散，藉由 ROMS 模式進行莫拉克颱風的模擬實驗，時間範圍從 8 月 3 日至 8

月 16 日，共 14 天數值模擬，其結果從圖 3.15，顯示莫拉克颱風模擬風場與海表溫隨時間的變化，我們從 8 月 7 日開始可以明顯的看到，當颱風中心越靠近黑潮及臺灣，在臺灣東南角沿岸有較低溫的海水出現，且隨時間生成冷舌的現象越來越顯著，之後受黑潮作用往北輸送。莫拉克颱風中心在靠近臺灣前，黑框區域的海表溫大約為 29.41 度左右，颱風通過臺灣後，於 8 月 9 日海表溫大約為 24.70 度，溫降幅度大約 4.71 度，莫拉克颱風我們從表 1 可以得知颱風移動速度為每秒 2.82 公尺，與我們理想颱風實驗結果一致。

### 3.3. 氣象局第四類軌跡路線

依據氣象局軌跡分類，本研究屬於第四類軌跡的颱風分別為，2006 年的寶發及 2007 年的帕布颱風，共 2 個。依據表 1 與氣象局颱風資訊，我們發現第四類軌跡的颱風，兩者的背景資料差異不大，包括颱風強度，最大暴風半徑，颱風移動速度等等，在此，我們發現了第四類颱風軌跡有樣本數不足的問題，而且再加上帕布颱風與梧提颱風，兩者颱風侵台的時間點過於接近，兩者實際上不適合於此討論，但由於在聖帕颱風侵台前確實有很明顯的冷舌現象，因此，我們還是有進行模擬探討。除此之外，因為關於這些的因素需要進一步釐清，我們後續做了理想颱風實驗希望藉此予以補充。

### 3.3.1 2006 年寶發颱風

寶發颱風生成地點在台灣東方海面，根據氣象局資料與模擬結果（圖 3.6），颱風生成後以偏西方向朝臺灣前進，於世界標準時間 8 月 8 日 19 時 20 分左右登陸在臺東成功附近，同日 23 時 20 分左右由臺南附近出海，並向西南西移動，8 月 9 日 6 時減弱為熱帶性低氣壓。

寶發颱風於世界標準時間 8 月 6 日形成至 8 月 9 日消散，藉由 ROMS 模式進行寶發颱風的模擬實驗，時間範圍從 8 月 6 日至 8 月 15 日，共 10 天數值模擬，其結果從圖 3.6，顯示寶發颱風模擬風場與海表溫隨時間的變化，我們可以發現，當寶發颱風中心在靠近臺灣前，黑框區域的海表溫大約為 29.04 度左右，颱風通過臺灣後，於 8 月 9 日海表溫大約為 28.65 度，溫降幅度大約 0.39 度，沒有冷舌生成，寶發颱風我們從表 1 可以得知颱風移動速度為每秒 6.32 公尺，與我們理想颱風實驗結果一致。

### 3.3.2 2007 年帕布颱風

帕布颱風生成地點在關島西北方海面，根據氣象局資料與模擬結果（圖 3.7），颱風生成後向西北西方向移動，於世界標準時間 8 月 7 日左右轉為向西朝臺灣移動，8 月 7 日 18 時左右中心通過恆春半島並持續向西行進。

帕布颱風於世界標準時間 8 月 6 日形成至 8 月 9 日消散，因此，

我們藉由 ROMS 模式進行帕布颱風的數值模擬，應該要從 8 月 5 日至 14 日，共 10 天的模擬實驗，其結果如圖 3.7 顯示，與梧提颱風模擬結果一致。

### 3.4. 成功氣象站的水溫資料

成功氣象站位置於  $23^{\circ}05'50''N$ ， $121^{\circ}22'49''E$ ，如圖 4.1 所示，位於臺東成功漁港，水溫資料深度為 0 至 5 公尺，時間範圍從 2008 年開始至現今，我們從圖 4.2 至圖 4.8 成功海溫逐時觀測資料，可以發現如同 ROMS 模擬的結果，2008 年辛樂克颱風、薈密颱風、卡玫基颱風、鳳凰颱風，2009 年莫拉克颱風，以及 2013 年蘇力颱風，隨時間變化有明顯低溫於成功氣象站，這與成功海溫逐時觀測資料有明顯的溫降趨勢類似，而 2012 年蘇拉颱風沒有明顯的溫降趨勢，這現象如同 ROMS 模擬的結果，灰色區塊是代表颱風通過臺灣的第一天時間，圖上所標示的時間為臺灣時間 (UTC+8)，海溫單位為度，圖中時間不連續的部份表示缺少觀測資料，成功氣象站的水溫資料顯示與 ROMS 模擬颱風通過台灣的海溫變化結果一致。

### 3.5. 理想颱風實驗

將產生的理想颱風結構，在三種颱風軌跡 (圖 2.10)、三種颱風

強度、三種移動速度上的不同配置，藉由 ROMS 進行理想颱風的數值實驗（共 27 個實驗），將其模擬結果進行分析，而後將此 27 個模擬實驗之冷舌生成區域（ $21.8^{\circ}\text{N}\sim 23^{\circ}\text{N}$ ， $120.8^{\circ}\text{E}\sim 121.5^{\circ}\text{E}$ ）內的溫降程度，反映到三種不同颱風軌跡之九宮格圖（圖 2.10 至 2.12），每格代表每個理想颱風實驗的溫降。橫軸代表颱風中心移動速度，由左至右移動速度快慢依序是 2.36、4.72、7.08 m/s，縱軸代表颱風風速大小，由下至上風速大小依序是 20、25、30 m/s。

其結果如圖 2.10 至 2.12 所示，我們發現一般情況下，第三類軌跡路線冷舌情況最為顯著，這與上述模擬的 17 個颱風案例相同，但我們也發現颱風的移動速度與颱風強度對於冷舌現象也有一定程度的影響，當軌跡相同時，颱風移動速度慢且颱風強度強，對於冷舌的溫降程度就越顯著，而這種情況與之前的研究結果是一致的，颱風的尺度與移動速度對於海洋有關鍵性的影響（Samson et al. 2009），而颱風軌跡所造成的一般上層海水冷卻反應與颱風強度成正比（颱風移動速度成反比）（Price, 1981; Gierach and Subrahmanyam, 2008），當混合層厚度越厚需要更強的颱風風速引發離岸造成湧升現象（Zheng and Tang, 2007），這意味著，包括颱風強度，颱風移動速度都會影響冷舌溫降的程度。

## 第四章 結論與展望

### 4.1 綜合討論

一般情況下第三類軌跡路線普遍最容易發生冷舌情況，不管是從 17 個實際颱風的模擬實驗或是理想颱風模擬實驗，結果顯示皆為如此，第二類軌跡路線，相較於台灣東南角，冷舌現象的生成區域略為往北，而且若颱風在接近岸邊時有盤旋情況，則會造成離岸風向的改變，冷舌現象就不會出現，圖 5.1 顯示全部第二類軌跡造成的溫降程度，圖 5.2 顯示去除滯留於臺灣的第二類颱風軌跡，兩者比較，圖 5.2 明顯顯示冷舌造成的溫降程度。第三類軌跡路線造成的溫降程度，如同圖 5.3 顯示，在臺灣東側沿黑潮流域有明顯的溫降區塊。第四類軌跡路線的溫降程度顯示在圖 5.4，而在理想颱風的模擬結果，我們發現此軌跡路線也會有冷舌現象，且冷舌程度與第三類軌跡較為相似。

從模擬結果我們瞭解到，颱風軌跡、颱風移度速度以及颱風強度，對於冷舌的生成有很大程度上影響，不僅是要符合離岸風向，作用的持續時間也要考慮，否則即使風向正確，對於海面的作用時間太短，也不會生成冷舌現象。而當冷舌現象生成，會受到黑潮傳輸帶往北方，而由於海表溫下降的範圍在通過台灣東北後漸漸減弱，因此我們認為此冷舌的出現對於中大尺度氣候環境造成之衝擊影響有限，根據颱風

模擬結果，顯示冷舌無法到達超過  $40^{\circ}\text{N}$ ，以 2007 年聖帕颱風為例，大約  $30^{\circ}\text{N}$  就會消散（圖 5.5）。

在這項研究中，藉由進行一系列的實際颱風和理想颱風條件的數值模擬，促進我們理解有關西向颱風通過臺灣及黑潮生成冷舌現象，可能影響的因素，而有了這些進一步的瞭解，對於冷舌生成可能對其黑潮下游地區的海洋環境和漁業活動造成之影響，在未來的預防及計畫就可以被充分準備。儘管如此，這些由於冷舌造成的溫度下降，對於海洋、大氣、沿黑潮環境可能相應的反應尚未闡明，對於中大尺度氣候變化及颱風本身的影響，目前仍不得而知。

## 4.2 未來展望

冷舌生成後會隨著黑潮沿著臺灣東岸帶往北方，而此顯著的溫降對於沿途的周遭環境以及漁業造成的後續衝擊，值得我們研究，此外，葉綠素濃度及魚類生物增長的有無，包含這些的生物地化的影響也值得我們進一步研究加以釐清。雖然我們對於影響冷舌生成的因素，有了進一步的瞭解，但對於冷舌的影響範圍及可能的衝擊還需要進行後續的研究，包含探討地形(島嶼與海底地形)及黑潮影響冷舌之間的關係，而當我們對於這些更瞭解，就可以製作條件量表，預估冷舌的生成及溫降幅度，並且在未來可以因應這量表進行相關漁業活動對於冷

舌作用的防範及規劃，以避免寒害的威脅。而在未來的研究也想瞭解關於此冷舌的現象，是否除了臺灣這個地形，其他區域也可以找到此類似的現象，而不同區域的冷舌對其周遭環境又會造成什麼影響，值得我們研究探討。

## 參考文獻

- Barrick, D., Headrick, J. M., Bogle, R. W., & Crombie, D. D. (1974). Sea backscatter at HF: Interpretation and utilization of the echo. *Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 62(6), 673-680.
- Behrends, L. L., Kingsley, J. B., & Bulls, M. J. (1990). Cold tolerance in maternal mouthbrooding tilapias: phenotypic variation among species and hybrids. *Aquaculture*, 85(1), 271-280.
- Boucher, J. (1984). Localization of zooplankton populations in the Ligurian marine front: role of ontogenic migration. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 31(5), 469-484.
- Boucher, J., Ibanez, F., & Prieur, L. (1987). Daily and seasonal variations in the spatial distribution of zooplankton populations in relation to the physical structure in the Ligurian Sea Front. *Journal of Marine Research*, 45(1), 133-173.
- Chatterjee, N., Pal, A. K., Manush, S. M., Das, T., & Mukherjee, S. C. (2004). Thermal tolerance and oxygen consumption of *Labeo rohita* and *Cyprinus carpio* early fingerlings acclimated to three different temperatures. *Thermal Biology*, 29: 265-270.
- Cumming, I. G., & Wong, F. H. C. (2005). *Digital processing of synthetic aperture radar data: algorithms and implementation*. Artech House.
- Donaldson, M. R., Cooke, S. J., Patterson, D. A., Hinch, S. G., Robichaud, D., Hanson, K. C., Olsson, I., Crossin, G. T., English, K. K., & Farrell, A. P. (2009). Limited behavioural thermoregulation by upriver-migrating sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in the lower Fraser River, British Columbia. *Canadian Journal of Zoology*, 87(6), 480-490.
- Gierach, M. M., & Subrahmanyam, B. (2008). Biophysical responses of the upper ocean to major Gulf of Mexico hurricanes in 2005. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 113(C4).
- Grantham, B. A., Chan, F., Nielsen, K. J., Fox, D. S., Barth, J. A., Huyer, A., Lubchenco J., & Menge, B. A. (2004). Upwelling-driven

nearshore hypoxia signals ecosystem and oceanographic changes in the northeast Pacific. *Nature*, 429(6993), 749-754.

- Hannan, C. A. (1984). Planktonic larvae may act like passive particles in turbulent near-bottom flows. *Limnology and Oceanography*, 29, 1108-1116.
- Hardy, A. C., & Bainbridge, R. (1954). Experimental observations on the vertical migrations of plankton animals. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 33(02), 409-448.
- Holland, G. J. (1980). An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes. *Monthly weather review*, 108(8), 1212-1218.
- Hsin, Y. C., Chiang, T. L., & Wu, C. R. (2011). Fluctuations of the thermal fronts off northeastern Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 116(C10).
- Hsin, Y. C., Wu, C. R., & Shaw, P. T. (2008). Spatial and temporal variations of the Kuroshio east of Taiwan, 1982–2005: A numerical study. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 113(C4). doi: 10.1029/2007JC004485.
- Iwama, G. K., Thomas, P. T., Forsyth, R. B., & Vijayan, M. M. (1998). Heat shock protein expression in fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 8(1), 35-56.
- Liang, W. D., Tang, T. Y., Yang, Y. J., Ko, M. T., & Chuang, W. S. (2003). Upper-ocean currents around Taiwan. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 50(6), 1085-1105.
- Luis, A. J., & Kawamura, H. (2001). Characteristics of atmospheric forcing and SST cooling events in the Gulf of Mannar during winter monsoon. *Remote sensing of environment*, 77(2), 139-148.
- Margalef, R., & Estrada, M. (1987). Synoptic distribution of summer microplankton (algae and Protozoa) across the principal front in the Western Mediterranean. *Investigacion Pesquera.(Barcelona)*, 51(1), 121-140.
- Nitani, H. (1972). Beginning of the Kuroshio. In: *Kuroshio, its physical aspects*, H. Stommel and K. Yoshida, editors, University of Tokyo Press, Tokyo, 129-163.

- Price, J. F. (1981). Upper ocean response to a hurricane. *Journal of Physical Oceanography*, 11(2), 153-175.
- Samson, G., Giordani H, Caniaux G, & Roux F (2009). Numerical investigation of an oceanic resonant regime induced by hurricane winds. *Ocean dynamics*, 59(4), 565-586.
- Shchepetkin, A. F., & McWilliams, J. C. (2005). The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Modelling*, 9(4), 347-404.
- Smith, W. H., & Sandwell, D. T. (1997). Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*, 277(5334), 1956-1962.
- Zheng, G. M., & Tang, D. (2007). Offshore and nearshore chlorophyll increases induced by typhoon winds and subsequent terrestrial rainwater runoff. *Marine Ecology Progress Series*, 333, 61-74.
- Zheng, Z. W., Zheng, Q., Lee, C. Y., & Gopalakrishnan, G. (2014). Transient modulation of Kuroshio upper layer flow by directly impinging typhoon Morakot in east of Taiwan in 2009. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. doi:10.1002/2014JC010090

表 1 2005 年至 2013 年 17 個西向颱風之背景資料與冷舌資訊

颱風名稱	颱風強度	近臺 7 級風暴 風半徑 (Km)	颱風移動速度 (m/s)	軌跡分類	冷舌 (Cool jet)	盤旋臺灣	黑框區域溫降程度 (海表溫)(單位 °C)
海棠 (2005)	TS-4	280	3.54	3	Yes	Yes	-3.48 (25.76)
泰利 (2005)	1-3	250	5.23	3	Yes	Yes	-2.14 (27.30)
龍王 (2005)	2-4	200	6.40	3	Yes	No	-0.67 (27.48)
碧利斯 (2006)	TS	300	5.04	2	Yes	No	-1.50 (27.46)
凱米 (2006)	1	200	5.76	3	Yes	No	-2.11 (27.99)
寶發 (2006)	TS	120	6.32	4	No	No	-0.39 (28.65)
帕布 (2007)	TS-1	150	6.98	4	No	No	--
梧提 (2007)	TS	100	3.92	3	Yes	No	-2.01 (27.58)
聖帕 (2007)	2-4	250	5.88	3	Yes	No	-1.37 (27.28)
柯羅莎 (2007)	2-S4	300	4.91	2	No	Yes	-0.73 (27.30)
辛樂克 (2008)	1-3	250	1.93	2	No	Yes	-0.71 (28.44)
薈密 (2008)	TS-4	280	4.41	2	No	Yes	-0.46 (27.95)
卡玫基 (2008)	TS-2	120	4.10	2	Yes	No	-1.28 (27.97)
鳳凰 (2008)	1-2	220	5.05	3	Yes	No	-3.78 (25.72)
莫拉克 (2009)	TS-1	250	2.82	3	Yes	No	-4.71 (24.70)
蘇拉 (2012)	TS-2	220	4.05	2	No	Yes	-0.34 (28.20)
蘇力 (2013)	TS-1	280	6.96	2	Yes	No	-1.13 (28.31)

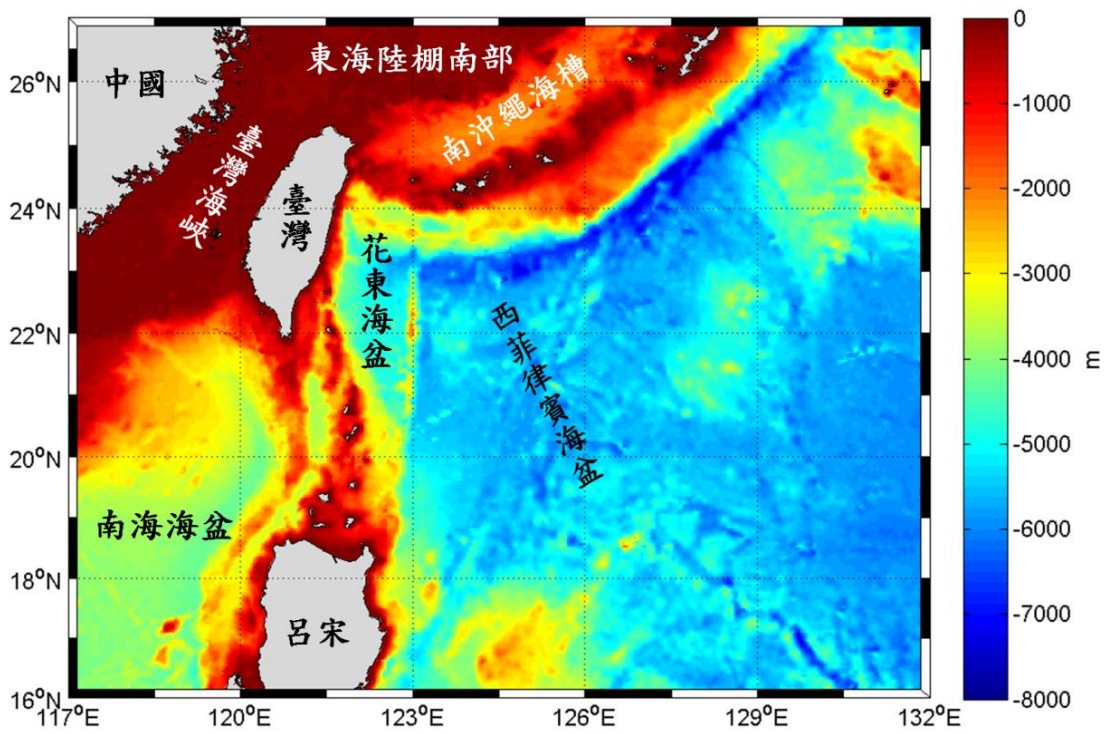


圖 1.1 研究區域

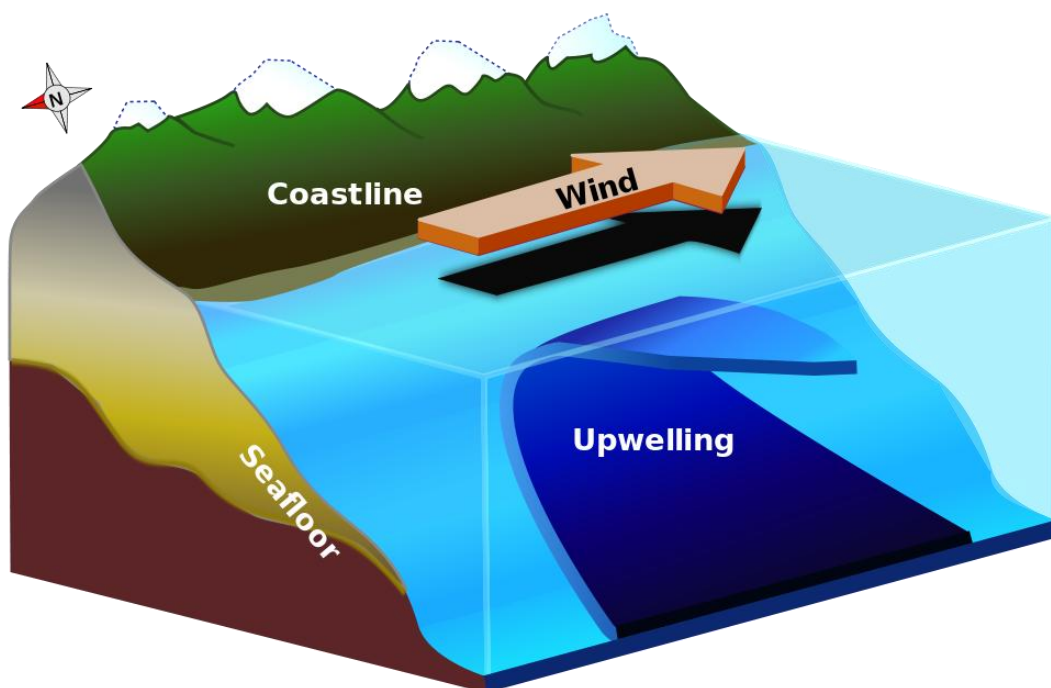


圖 1.2 離岸風示意圖

圖片來源：<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Upwelling-labels-en.svg>

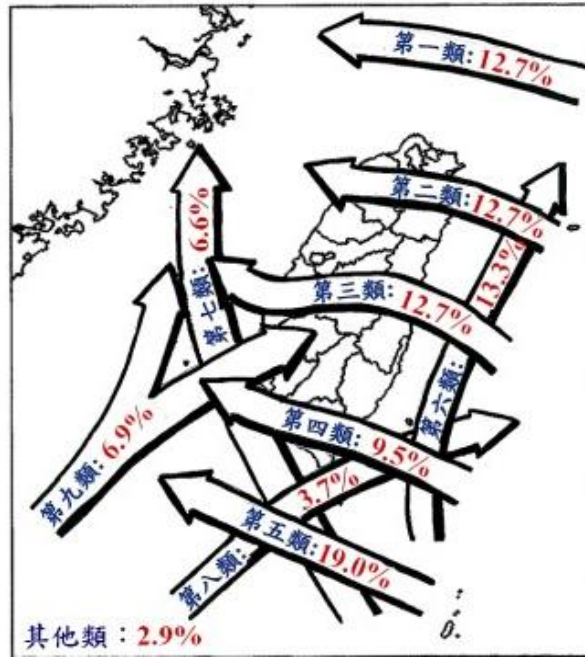


圖 2.1 交通部中央氣象局之軌跡分類圖

氣象局分析 1958 至 2006 年 165 個侵台的颱風資料，將颱風侵台的路徑大致分為九大類型。圖片來源：交通部中央氣象局。

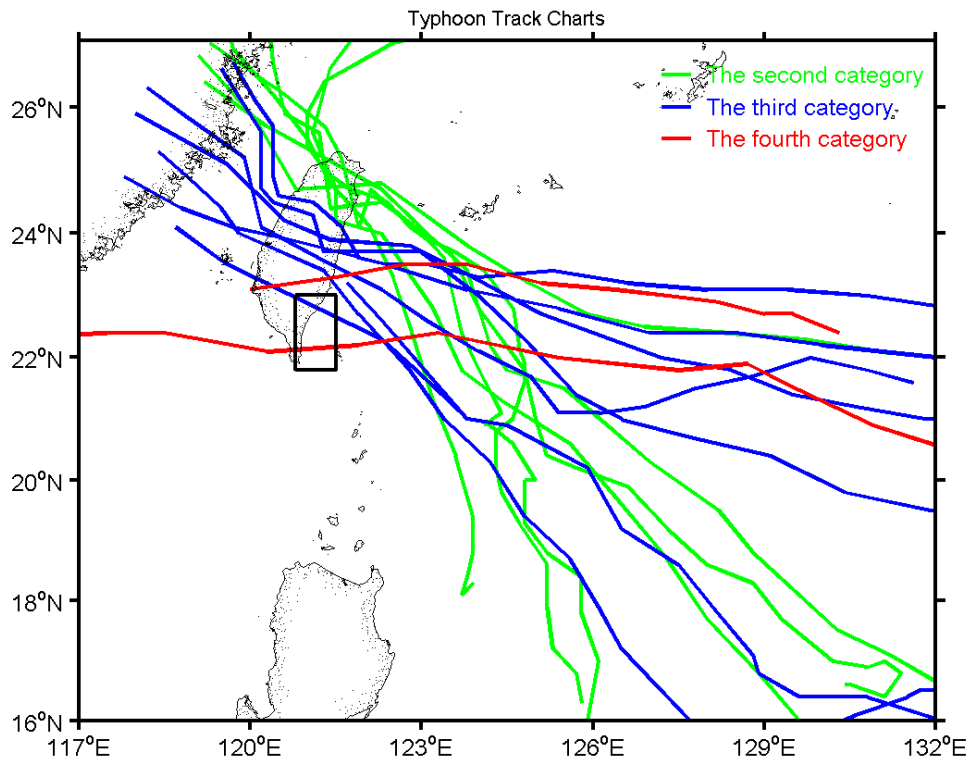


圖 2.2 2005 年至 2013 年生成於西北太平洋之 17 個颱風

屬於第二類軌跡有 7 個，第三類軌跡有 8 個，第四類軌跡有 2 個。黑框範圍 CJR 為本研究探討冷舌之生成區域。

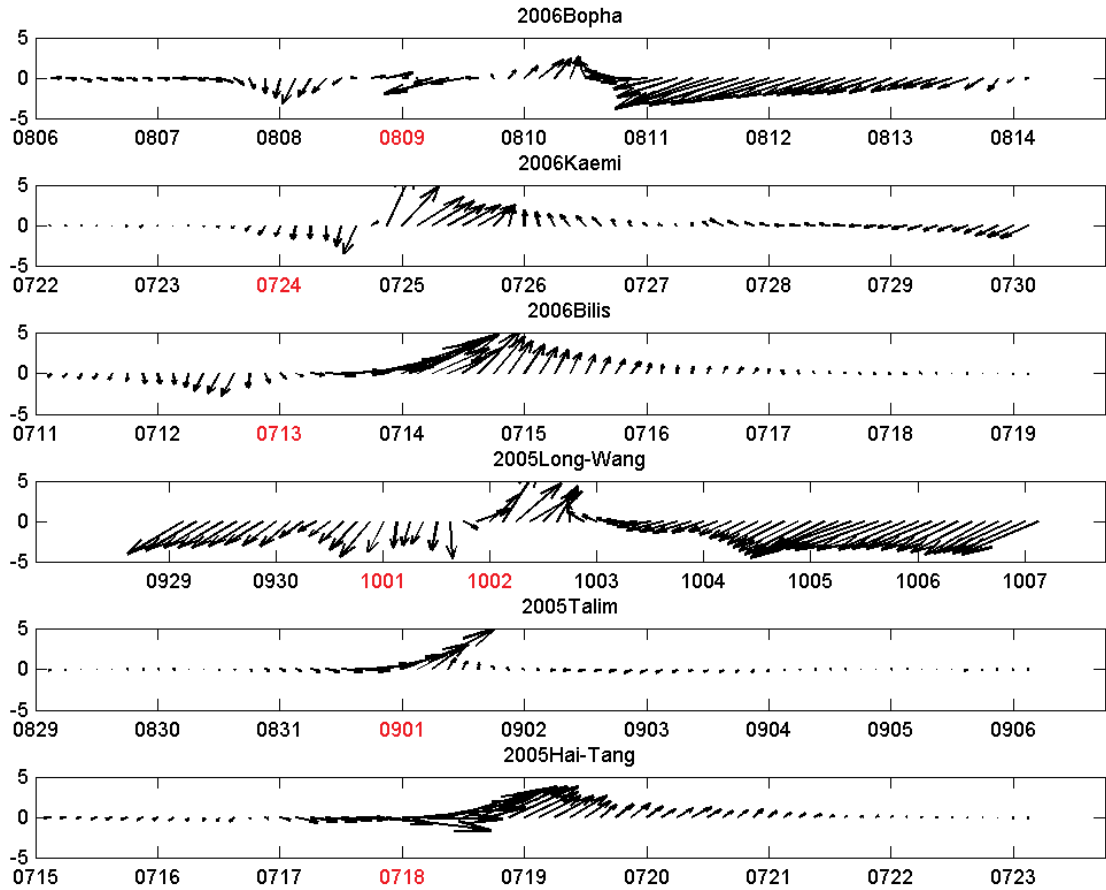


圖 2.3 CJR 於模擬期間風向變化之時間序列

由下至上分別為海棠、泰利、龍王、碧利斯、凱米、寶發颱風，紅色日期表示颱風中心登入臺灣之時間，CJR 為臺灣東南角探討冷舌之生成區域（ $21.8^{\circ}\text{N}\sim 23^{\circ}\text{N}$ ， $120.8^{\circ}\text{E}\sim 121.5^{\circ}\text{E}$ ）。

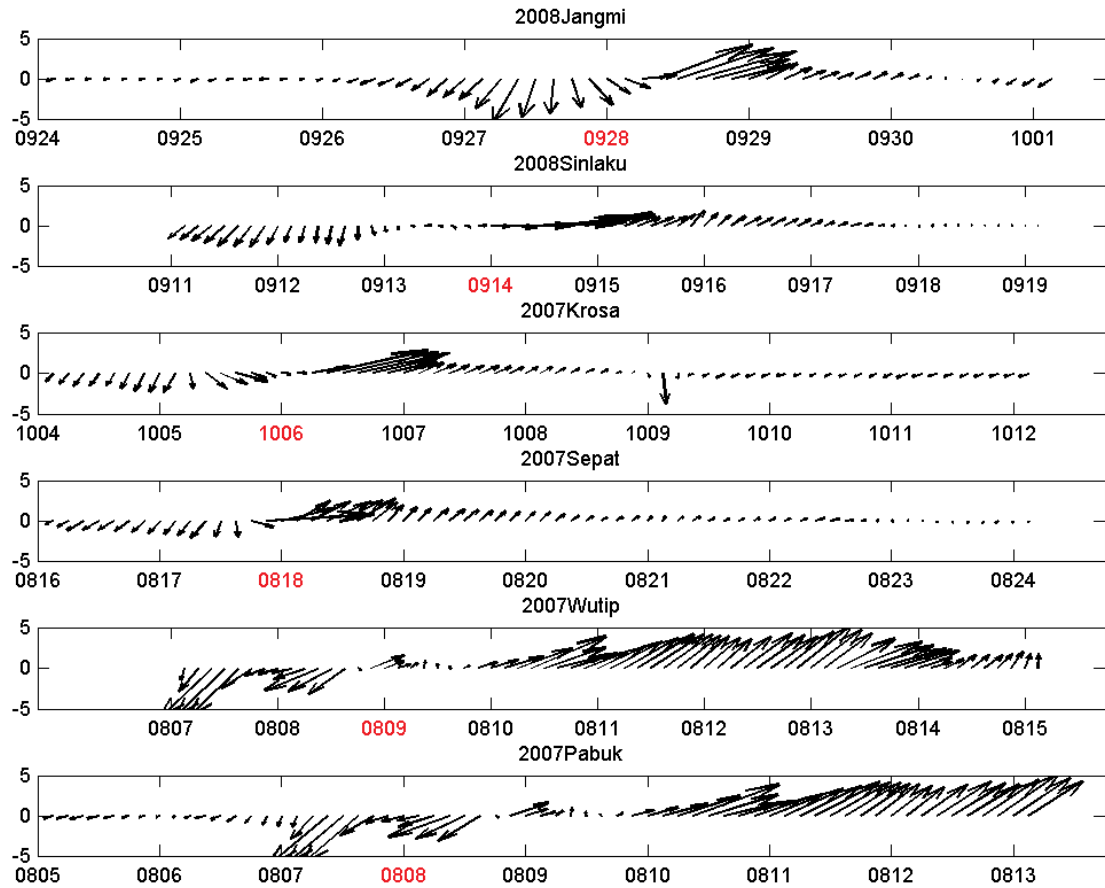


圖 2.4 CJR 於模擬期間風向變化之時間序列

由下至上分別為帕布、梧提、聖帕、柯羅莎、辛樂克、薈密颱風，紅色日期表示颱風中心登入臺灣之時間，CJR 為臺灣東南角探討冷舌之生成區域 ( $21.8^{\circ}\text{N}\sim 23^{\circ}\text{N}$ ,  $120.8^{\circ}\text{E}\sim 121.5^{\circ}\text{E}$ )。

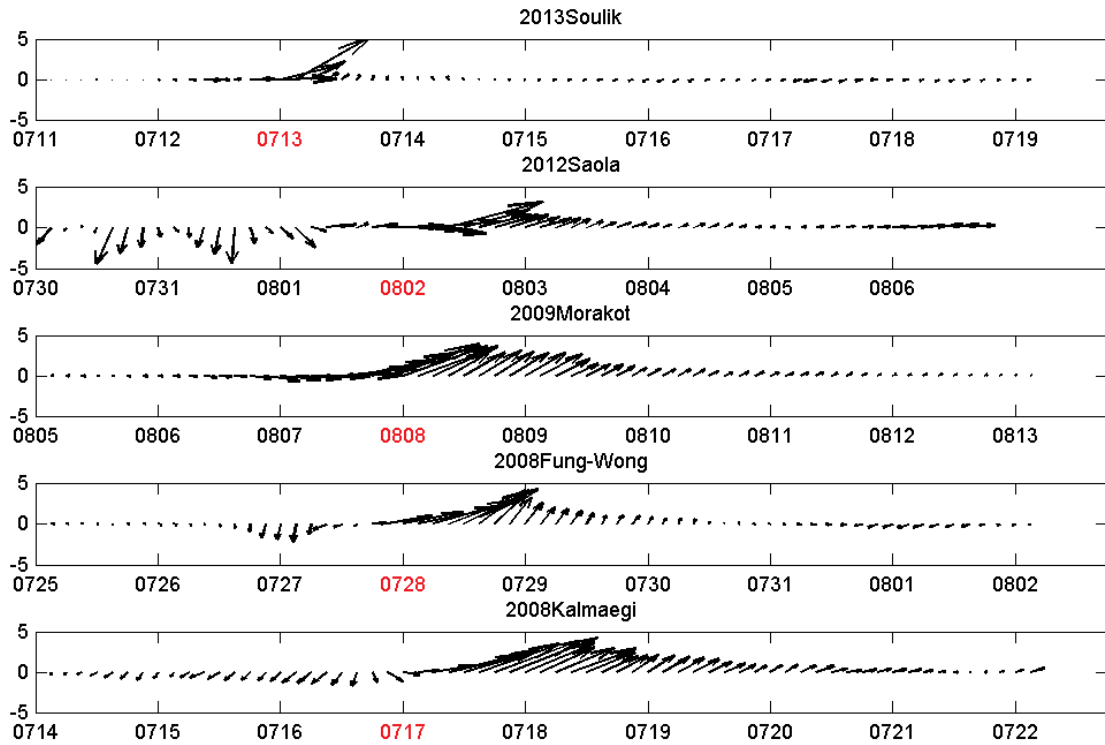


圖 2.5 CJR 於模擬期間風向變化之時間序列

由下至上分別為卡玫基、鳳凰、莫拉克、蘇拉、蘇力颱風，紅色日期表示颱風中心登入臺灣之時間，CJR 為臺灣東南角探討冷舌之生成區域 ( $21.8^{\circ}\text{N}\sim 23^{\circ}\text{N}$ ,  $120.8^{\circ}\text{E}\sim 121.5^{\circ}\text{E}$ )。

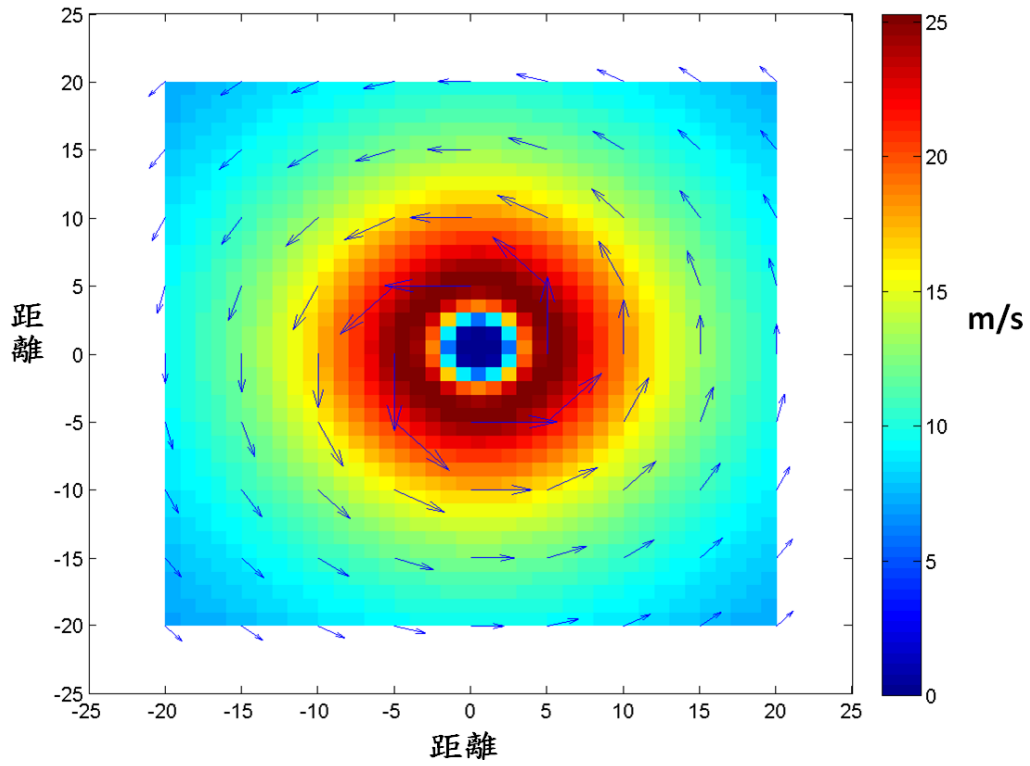


圖 2.6 風速每秒 25 公尺的理想颱風示意圖

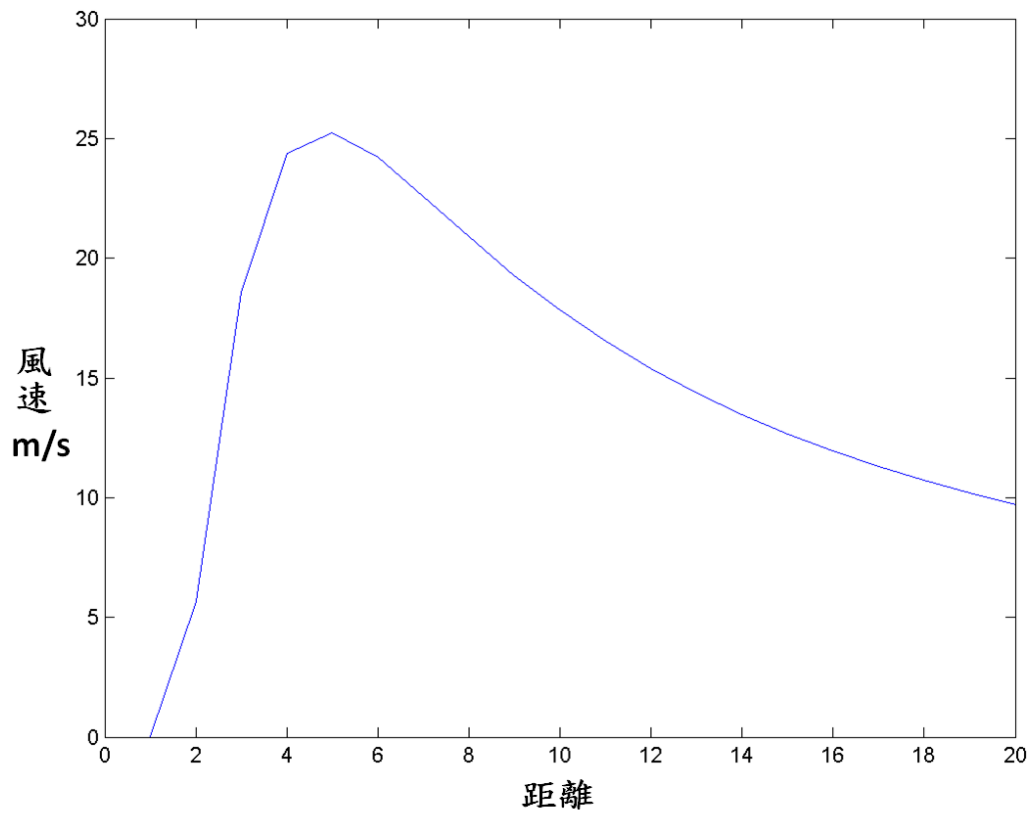


圖 2.7 25m/s 理想颱風沿著颱風中心至外圍風暴之垂直剖面結構

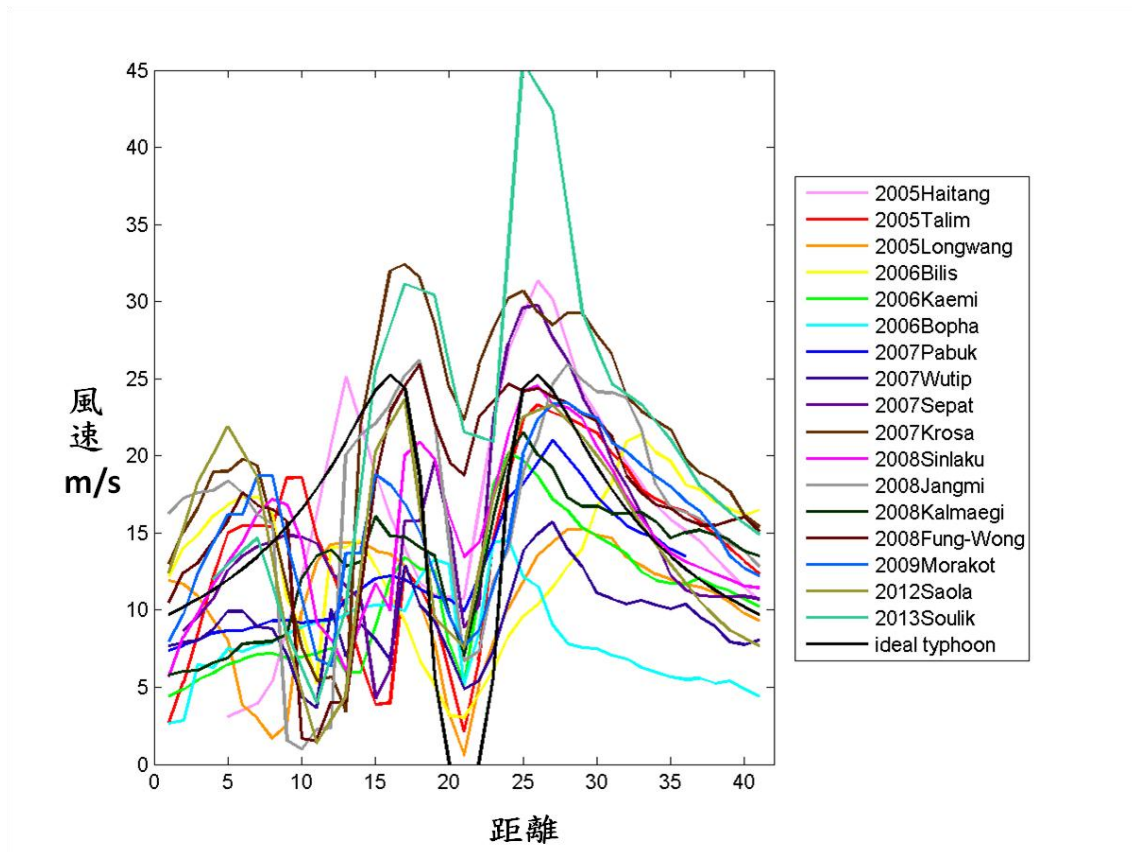


圖 2.8 理想與 17 個颱風沿著颱風中心至外圍風暴之垂直剖面結構

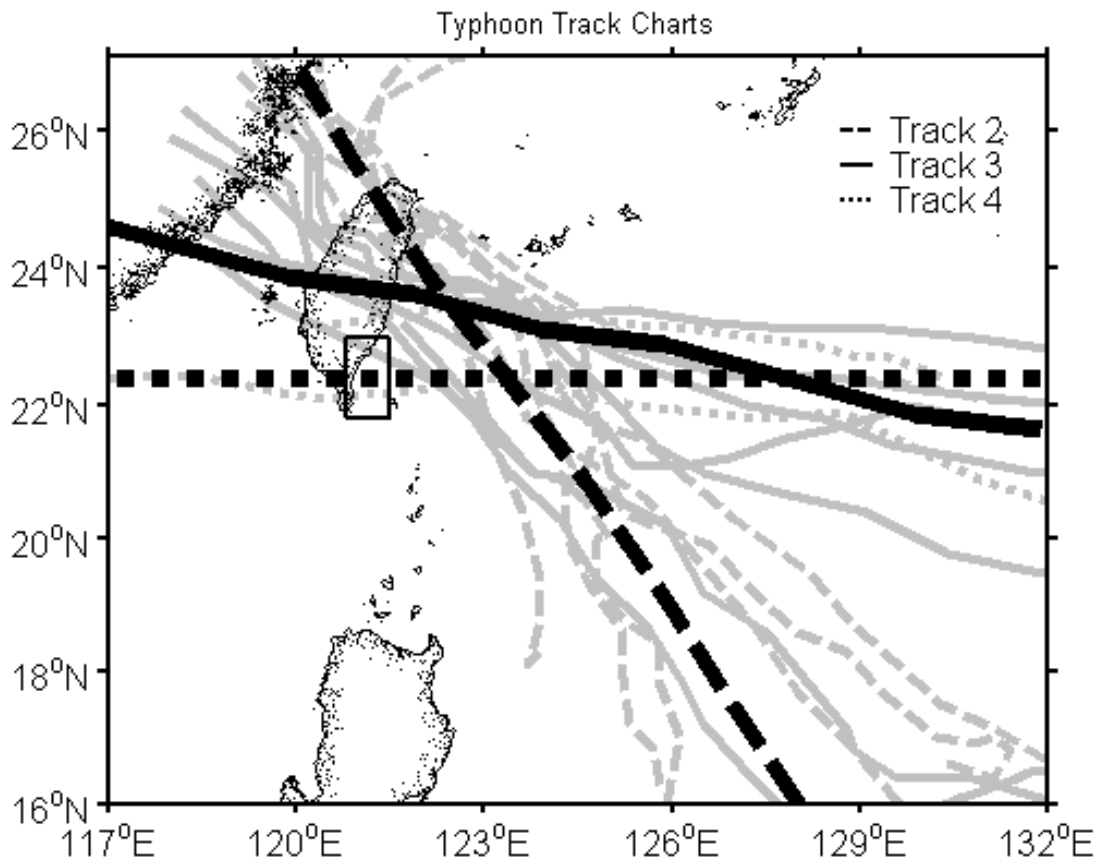


圖 2.9 理想颱風與 17 個颱風之軌跡圖

灰色線為 2005 年至 2013 年的 17 個颱風軌跡，黑色線為理想實驗的颱風軌跡，虛線為第二類颱風軌跡，實線為第三類颱風軌跡，點線為第四類颱風軌跡。

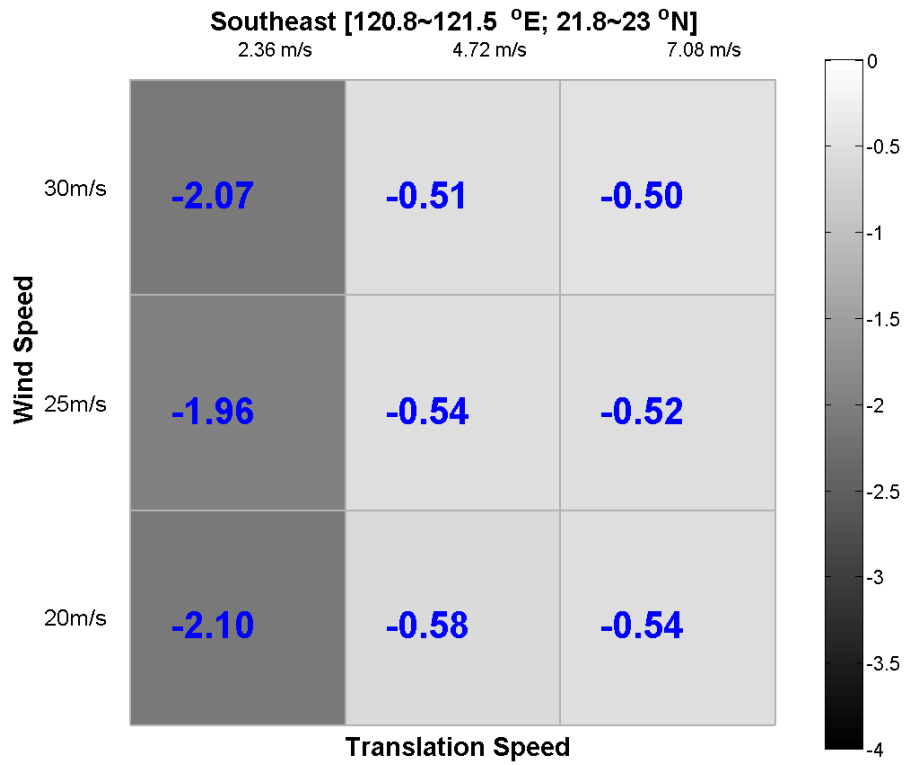


圖 2.10 理想颱風第二類軌跡之溫降程度

縱軸為三種颱風風速，橫軸為三種颱風移動速度，溫度單位為度。

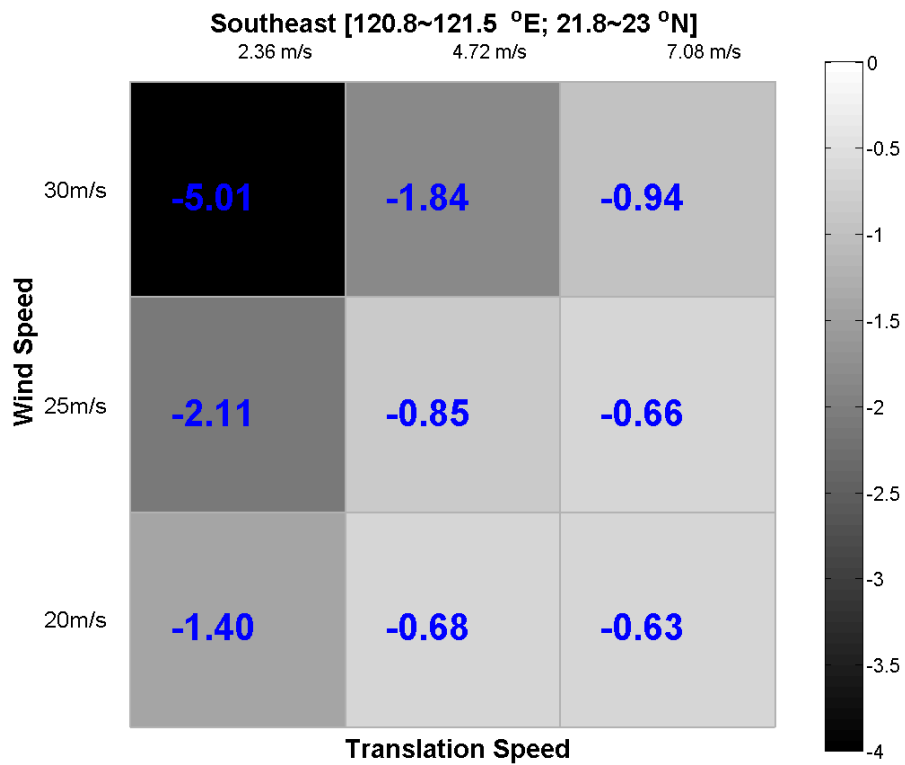
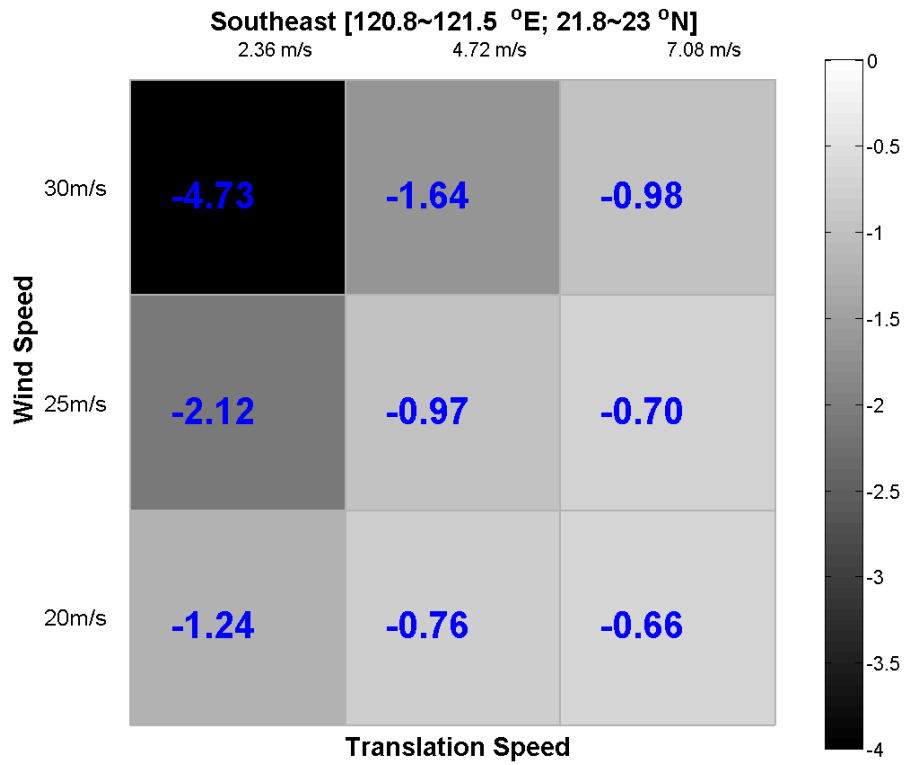


圖 2.11 理想颱風第三類軌跡之溫降程度

縱軸為三種颱風風速，橫軸為三種颱風移動速度，溫度單位為度。



**圖 2.12** 理想颱風第四類軌跡之溫降程度

縱軸為三種颱風風速，橫軸為三種颱風移動速度，溫度單位為度。

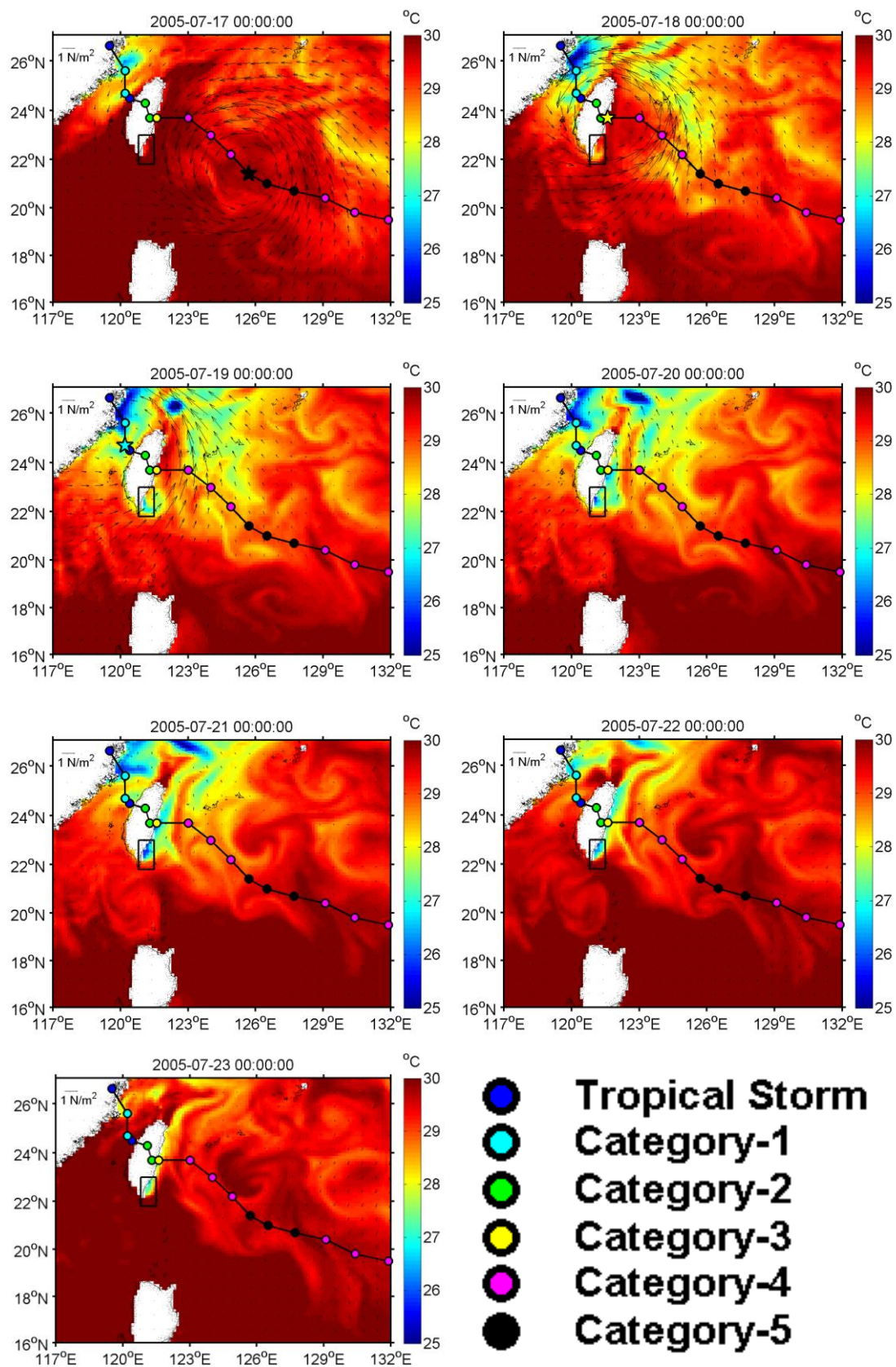


圖 3.1 2005 年海棠颱風之模擬結果

顯示 7 月 17 日至 23 日的模擬結果，星型圖案顯示颱風中心位置。

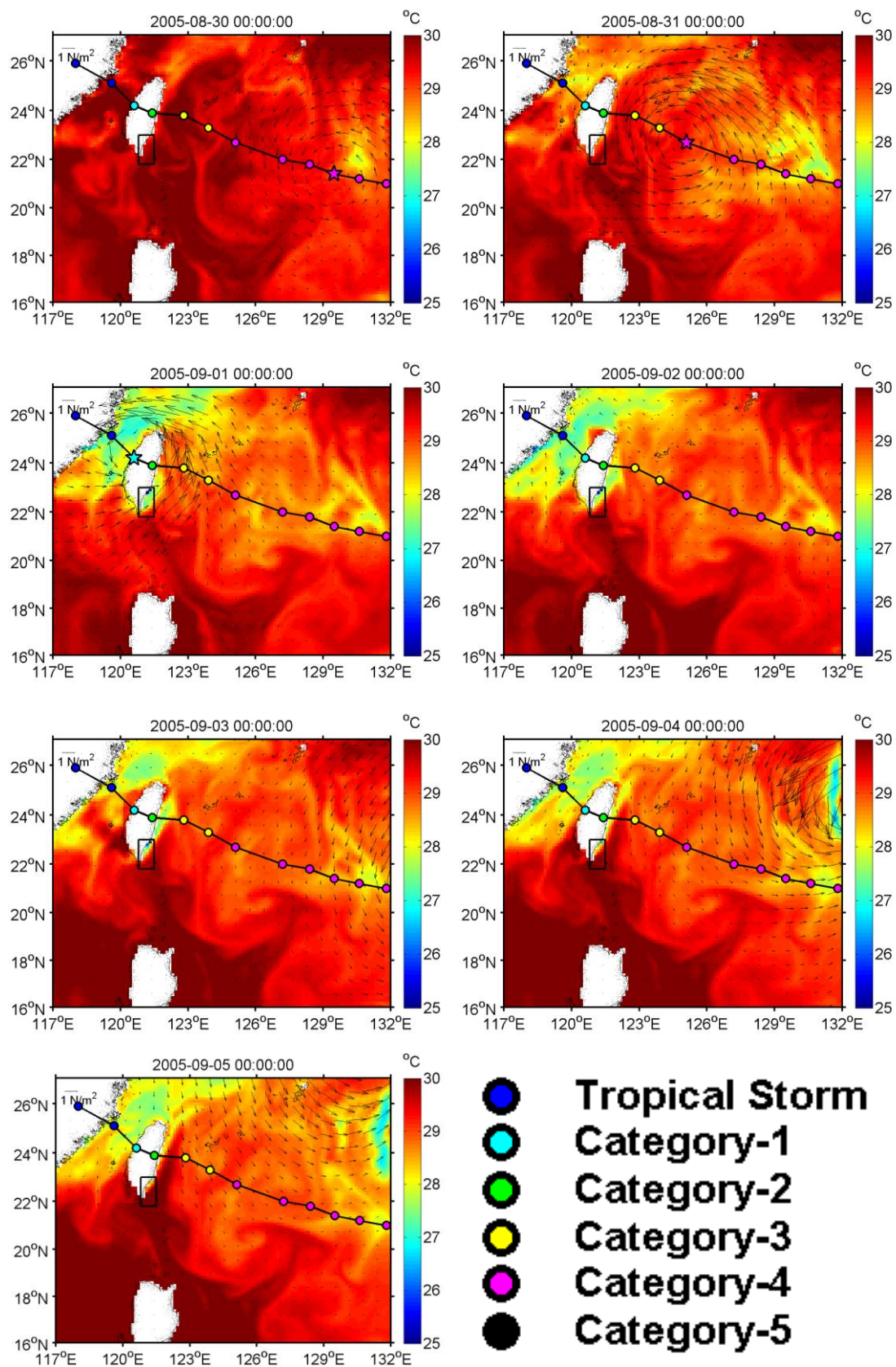


圖 3.2 2005 年泰利颱風之模擬結果

顯示 8 月 30 日至 9 月 5 日的模擬結果，星型圖案顯示颱風中心位置。

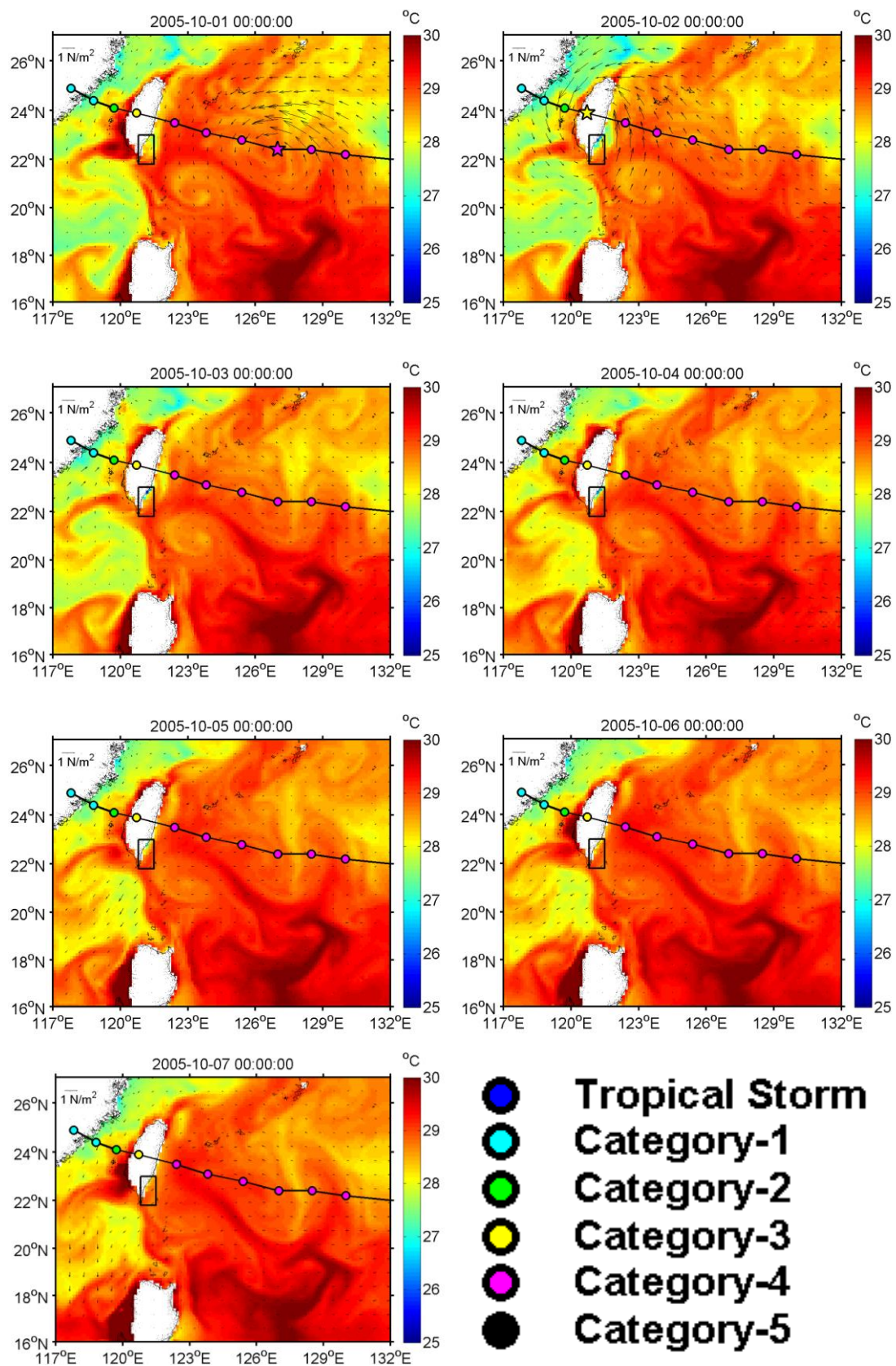


圖 3.3 2005 年龍王颱風之模擬結果

顯示 10 月 1 日至 7 日的模擬結果，星型圖案顯示颱風中心位置。

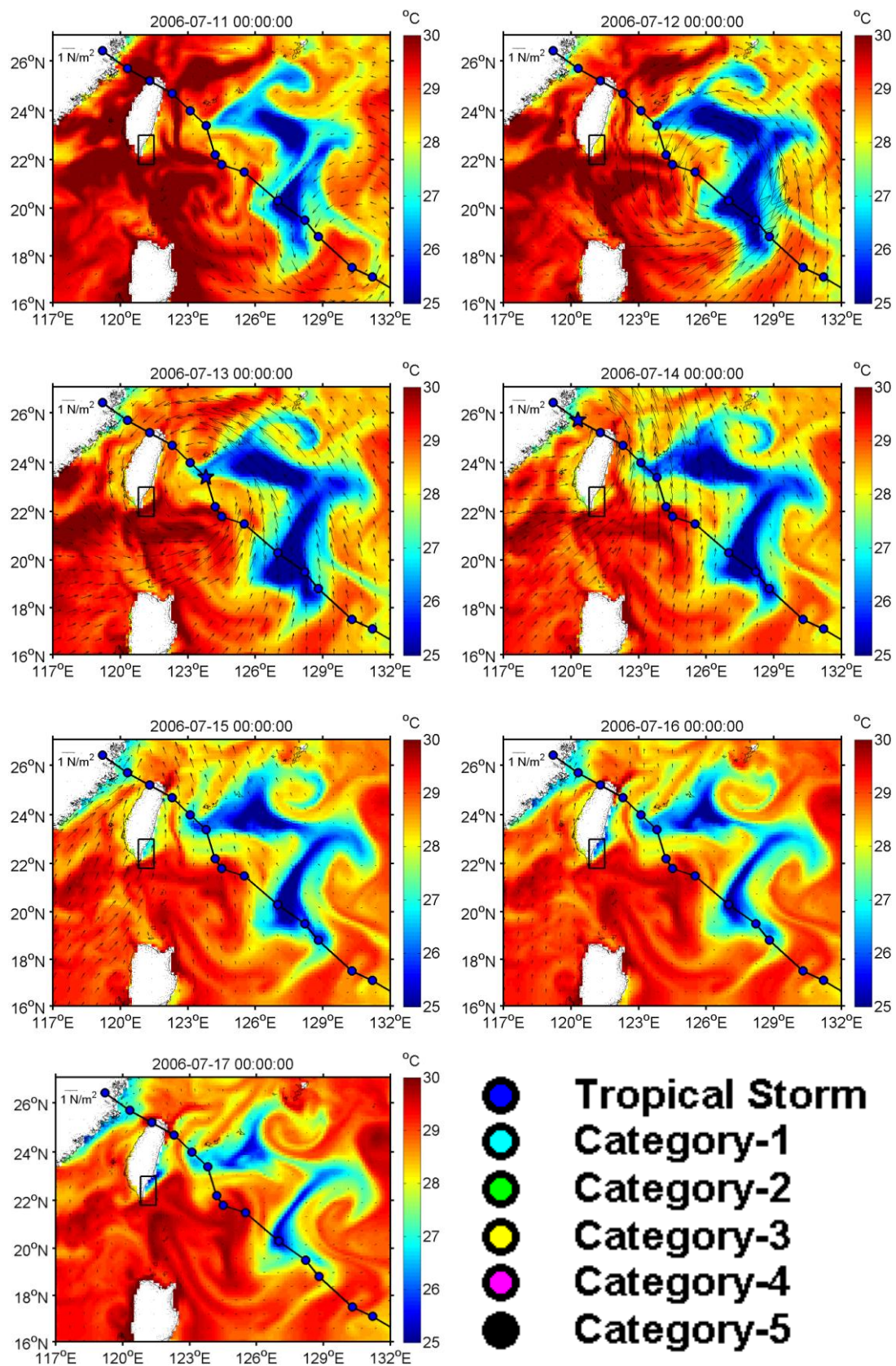


圖 3.4 2006 年碧利斯颱風之模擬結果

顯示 7 月 11 日至 17 日的模擬結果，星型圖案顯示颱風中心位置。

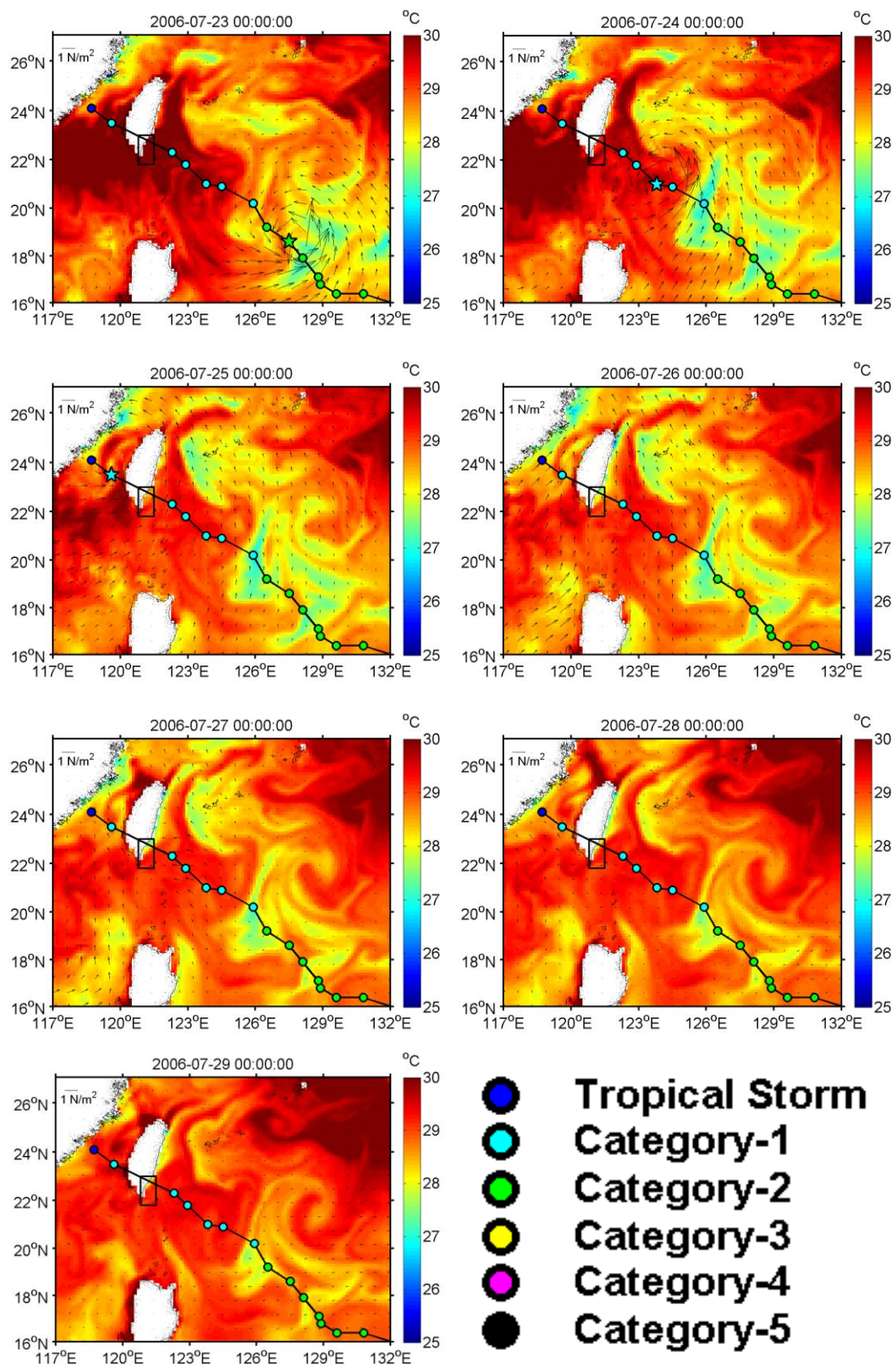


圖 3.5 2006 年凱米颱風之模擬結果

顯示 7 月 23 日至 29 日的模擬結果，星型圖案顯示颱風中心位置。

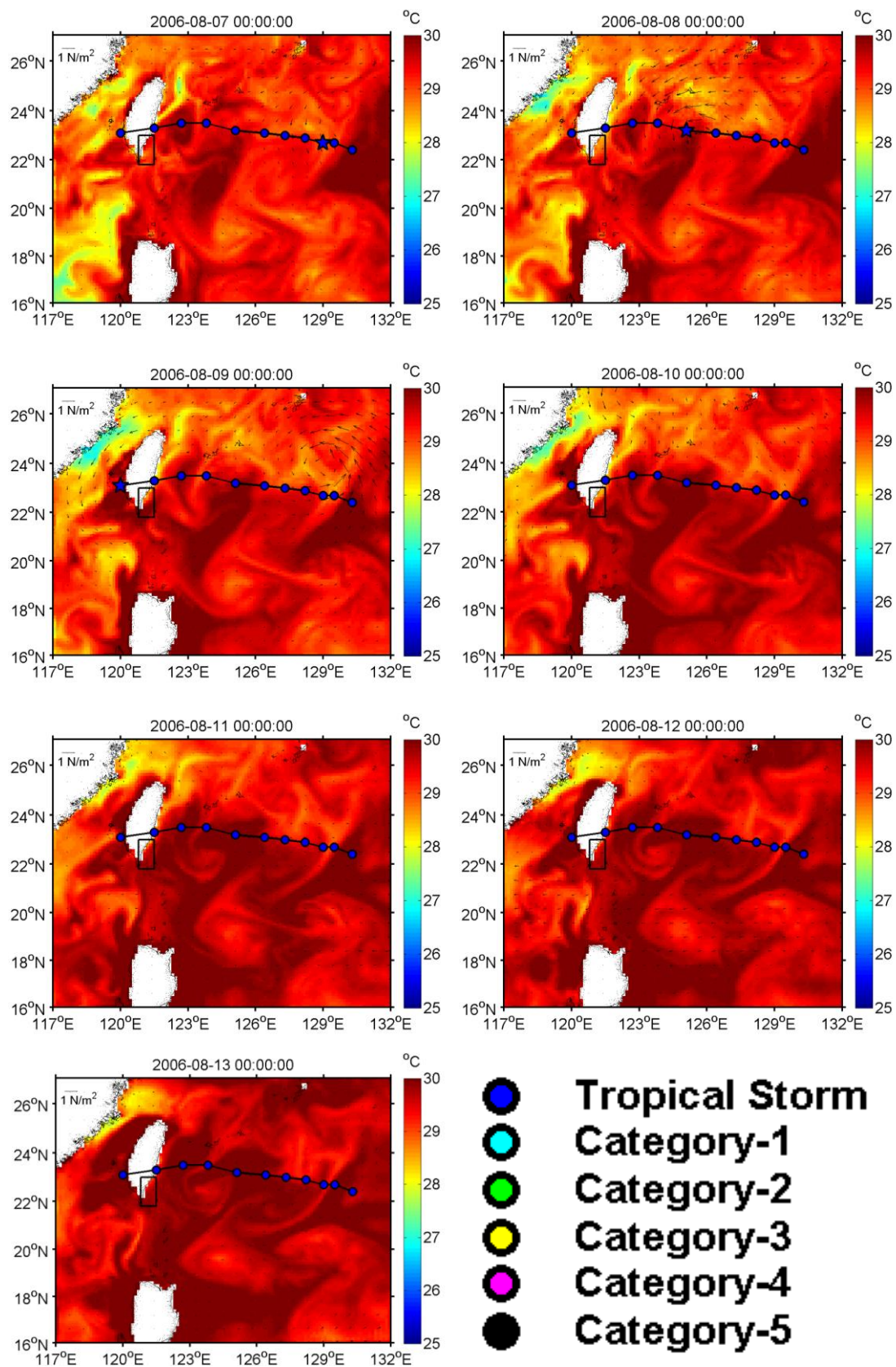


圖 3.6 2006 年寶發颱風之模擬結果

顯示 8 月 7 日至 13 日的模擬結果，星型圖案顯示颱風中心位置。

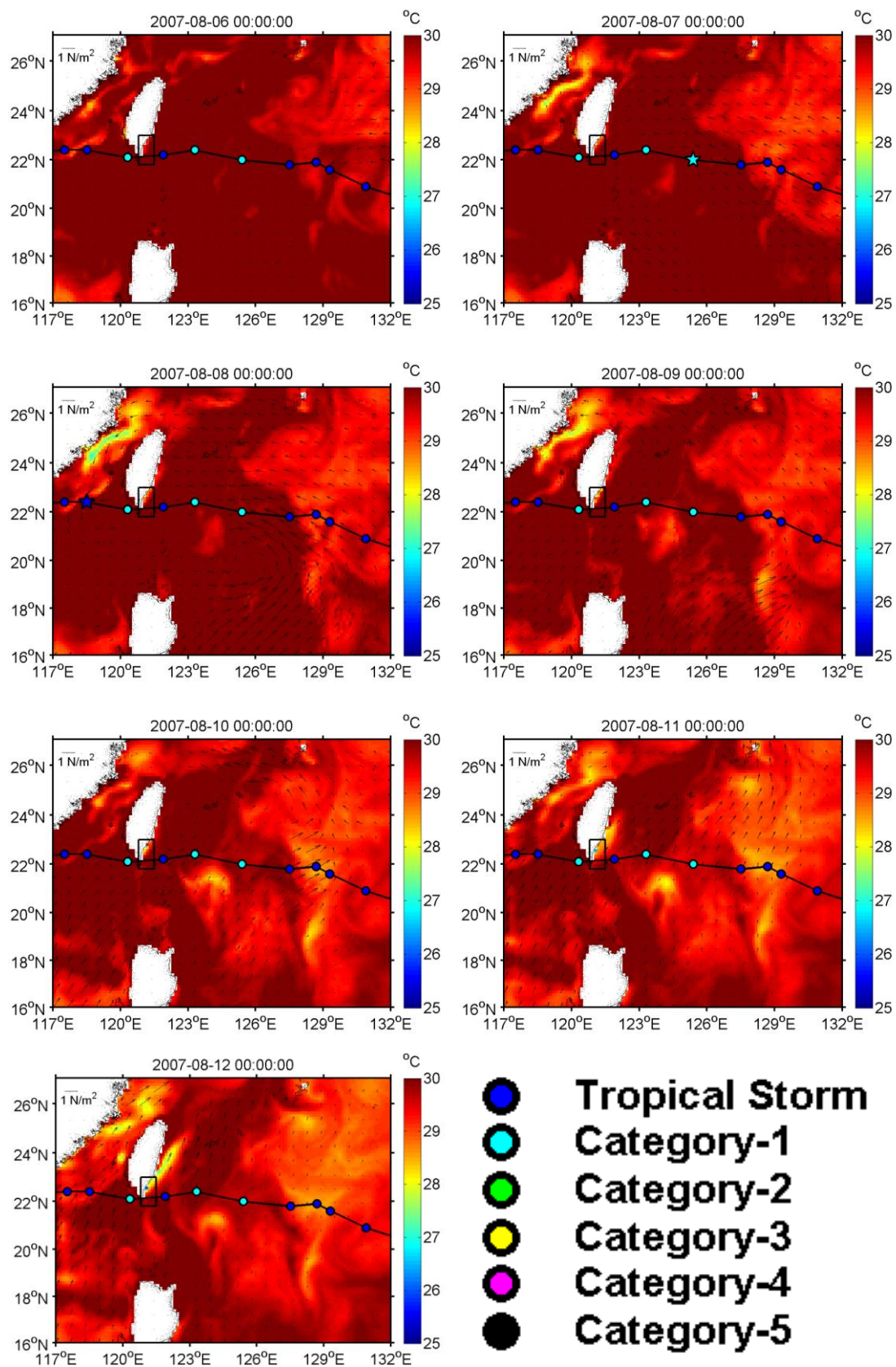


圖 3.7 2007 年帕布颱風之模擬結果

顯示 8 月 6 日至 12 日的模擬結果，星型圖案顯示颱風中心位置。

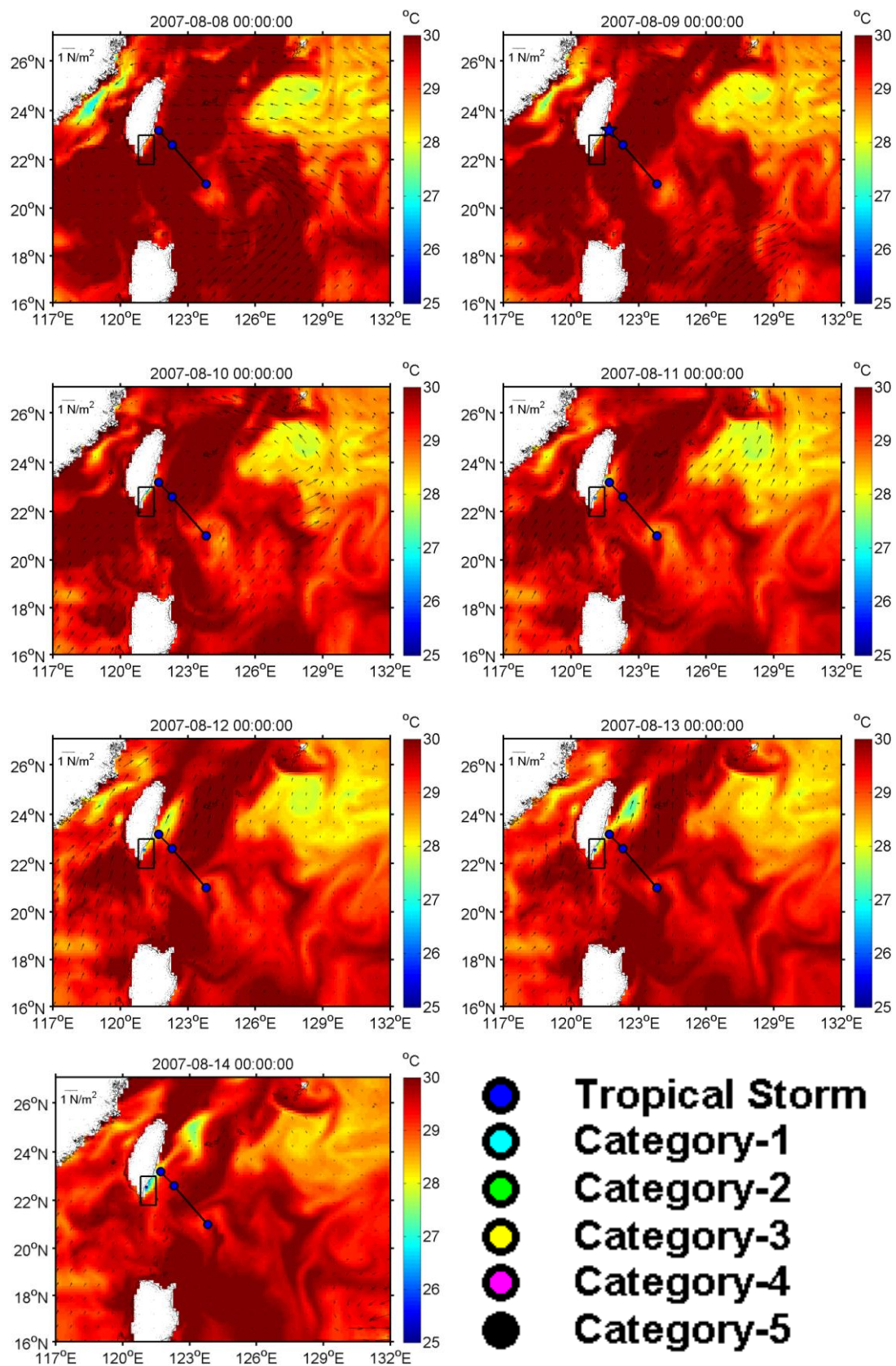


圖 3.8 2007 年梧提颱風之模擬結果

顯示 8 月 8 日至 14 日的模擬結果，星型圖案顯示颱風中心位置。

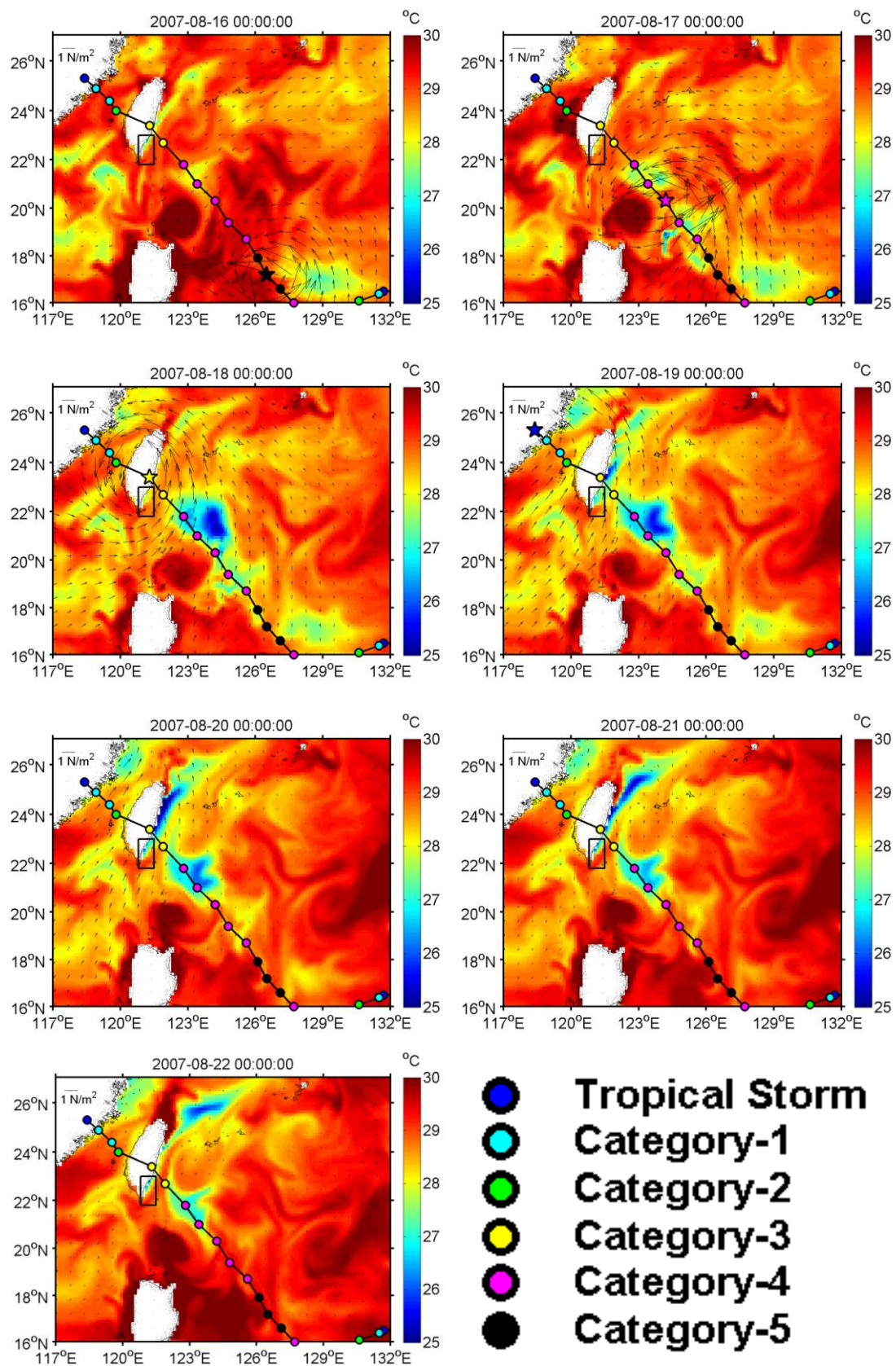


圖 3.9 2007 年聖帕颱風之模擬結果

顯示 8 月 16 日至 22 日的模擬結果，星型圖案顯示颱風中心位置。

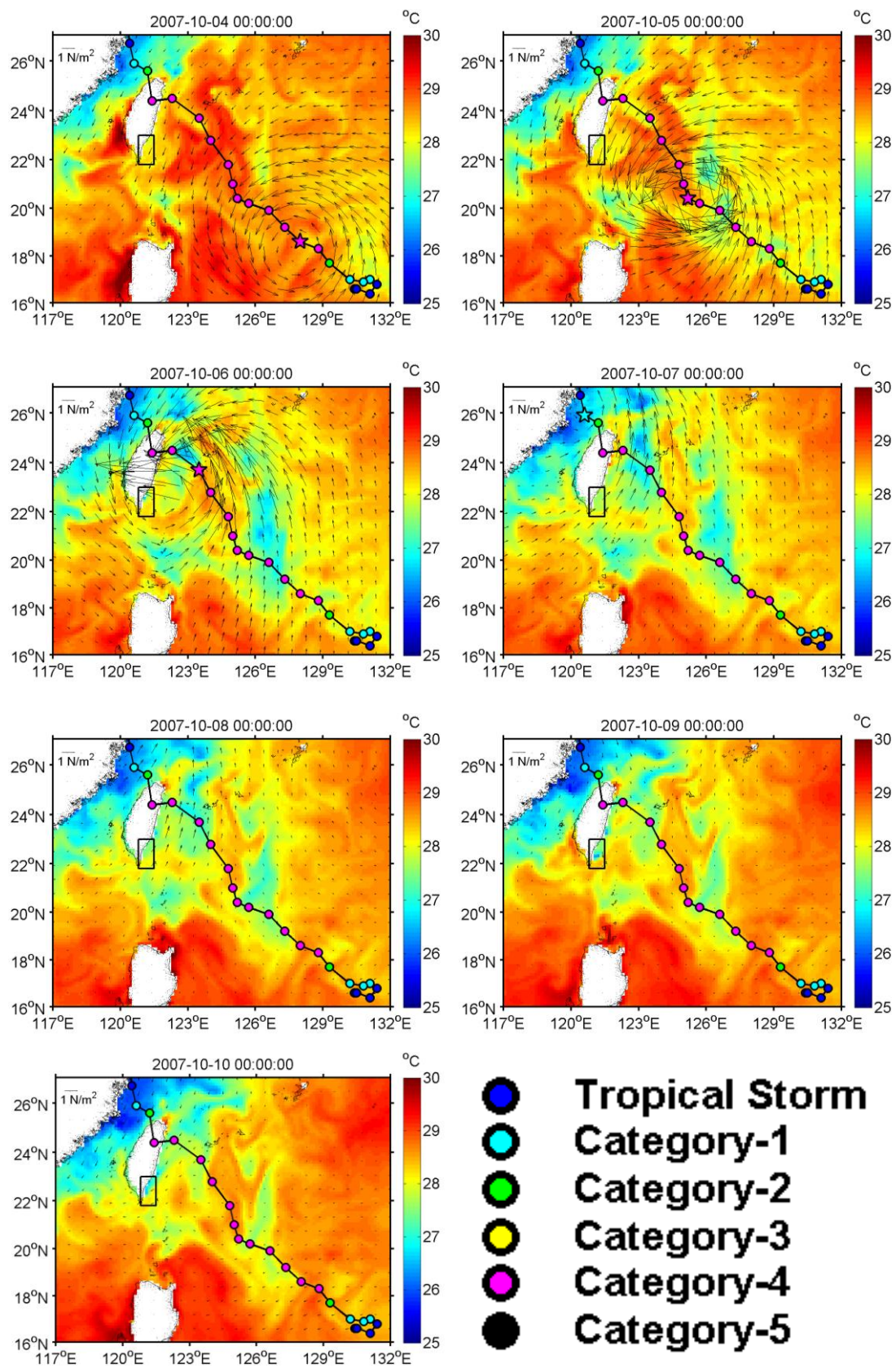


圖 3.10 2007 年柯羅莎颱風之模擬結果

顯示 10 月 4 日至 10 日的模擬結果，星型圖案顯示颱風中心位置。

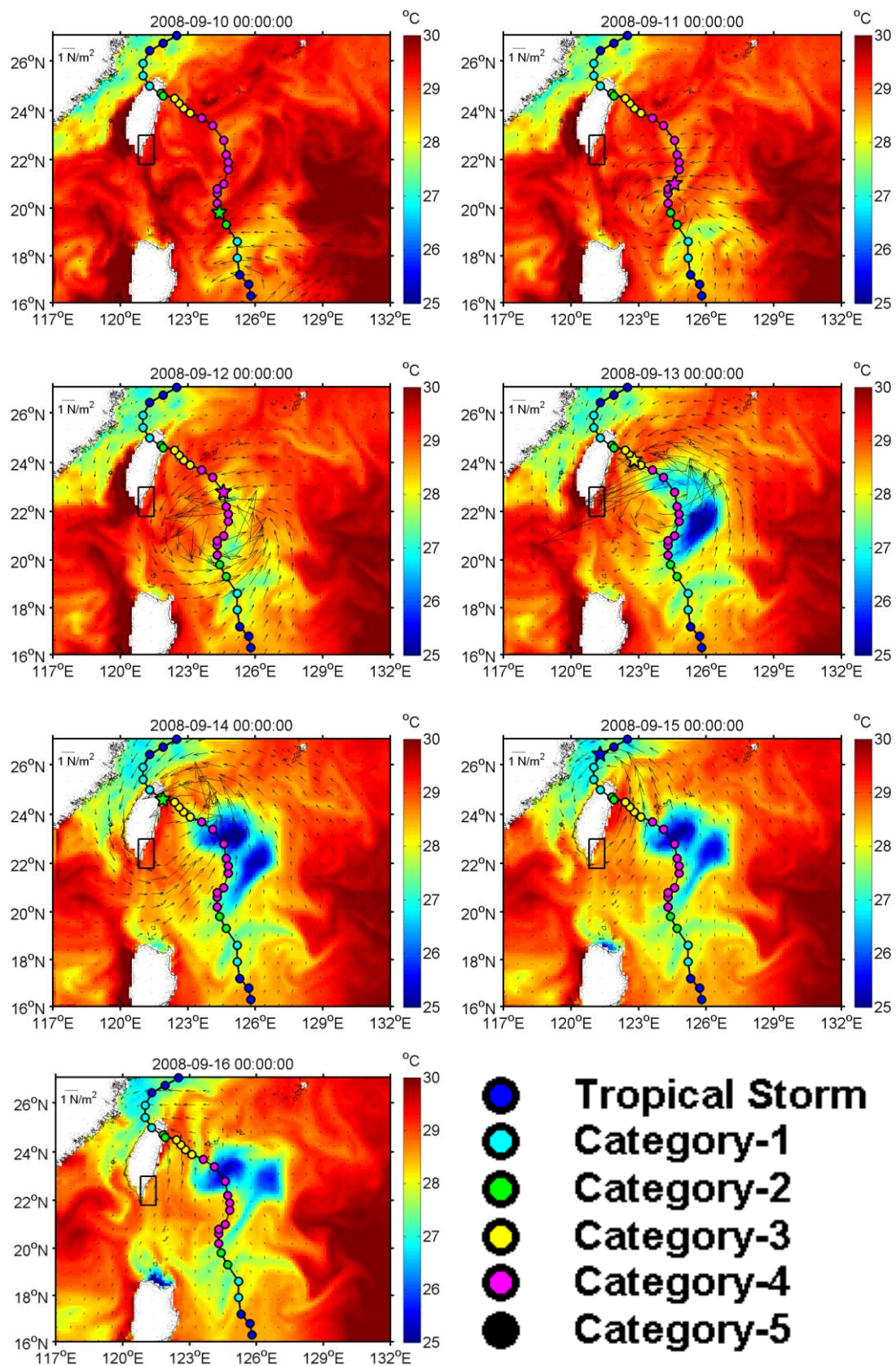


圖 3.11 2008 年辛樂克颱風之模擬結果

顯示 9 月 10 日至 16 日的模擬結果，星型圖案顯示颱風中心位置。

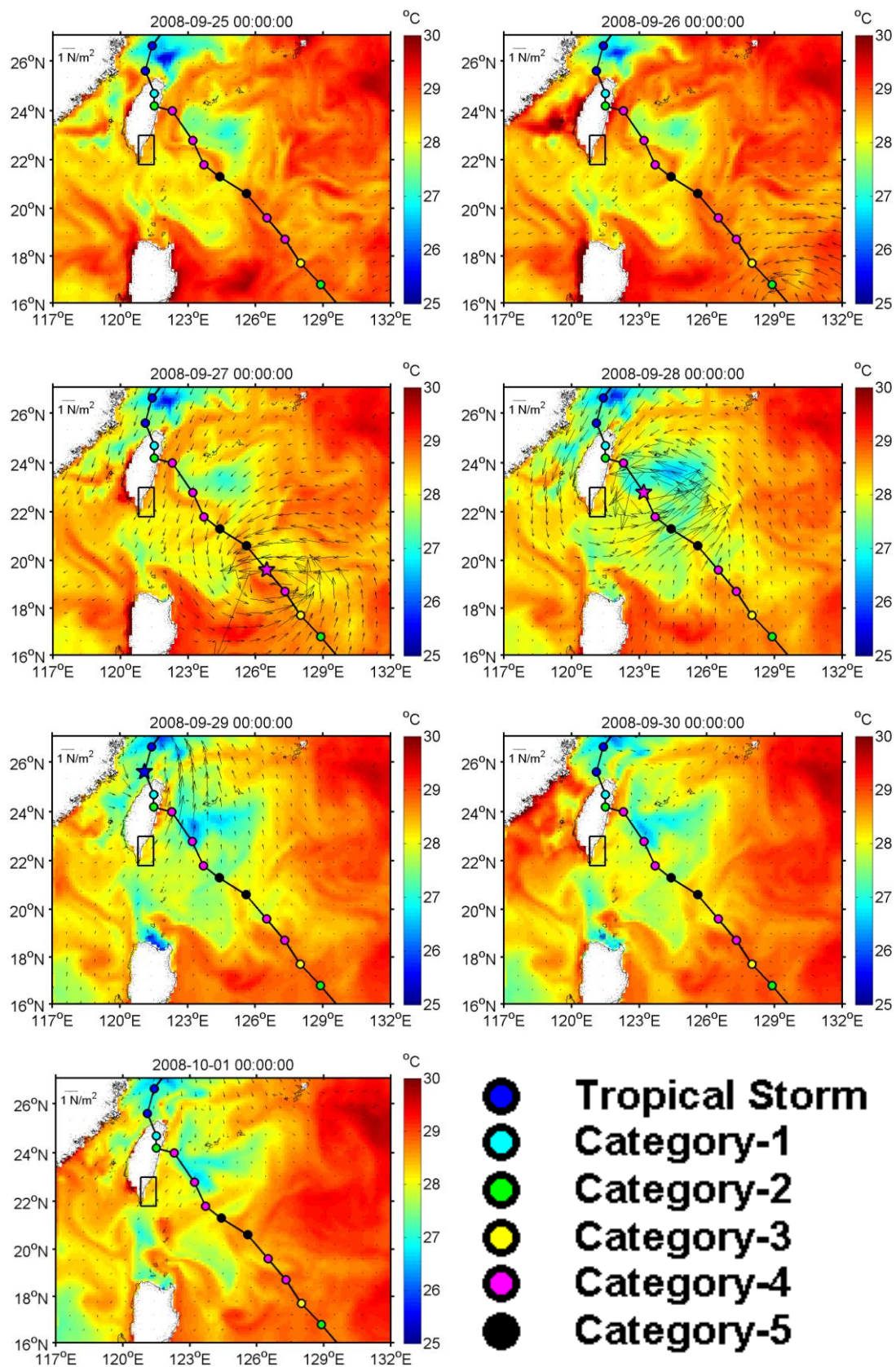


圖 3.12 2008 年薔密颱風之模擬結果

顯示 9 月 25 日至 10 月 1 日的模擬結果，星型圖案顯示颱風中心位置。

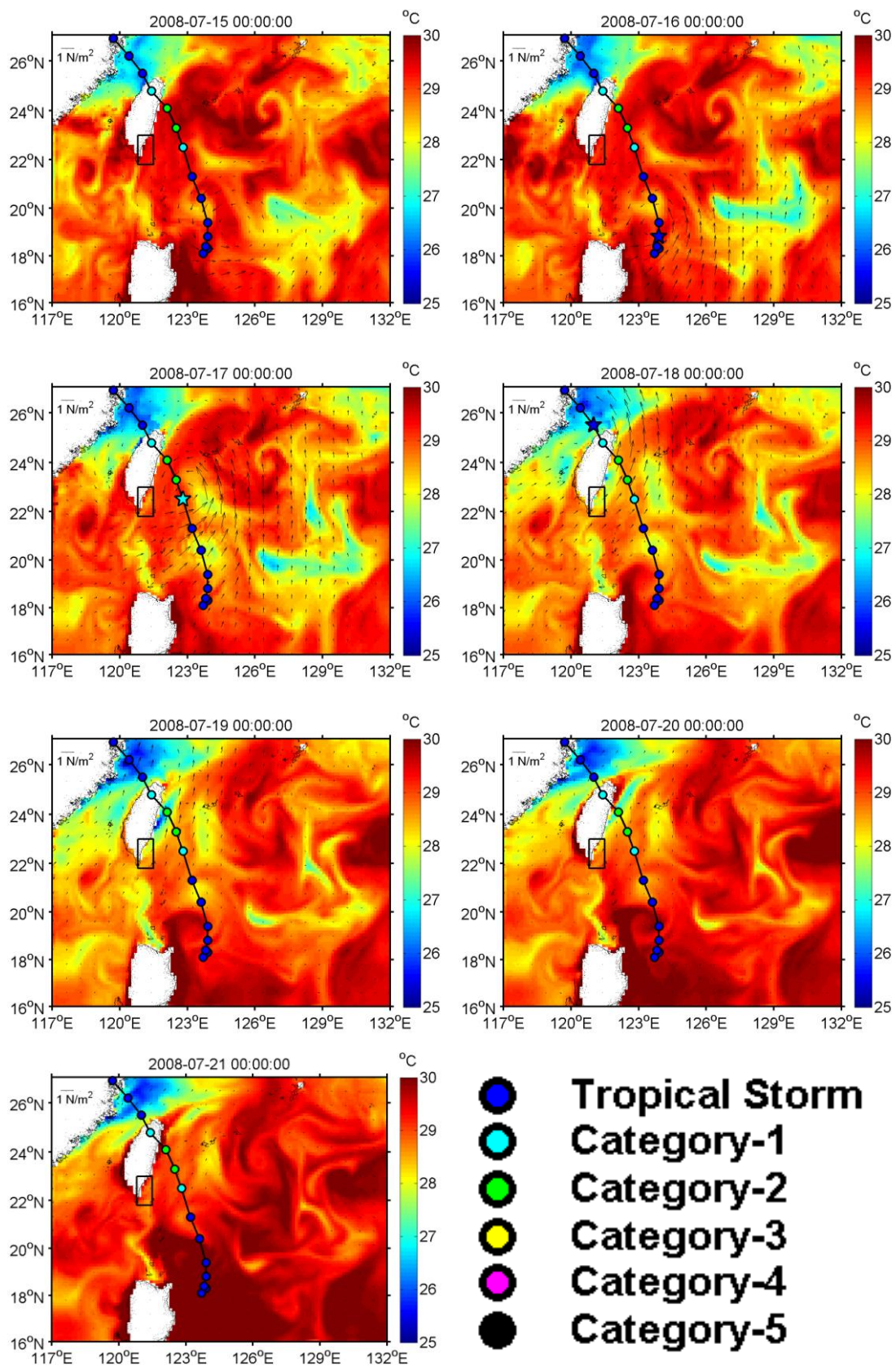


圖 3.13 2008 年卡玫基颱風之模擬結果

顯示 7 月 15 日至 21 日的模擬結果，星型圖案顯示颱風中心位置。

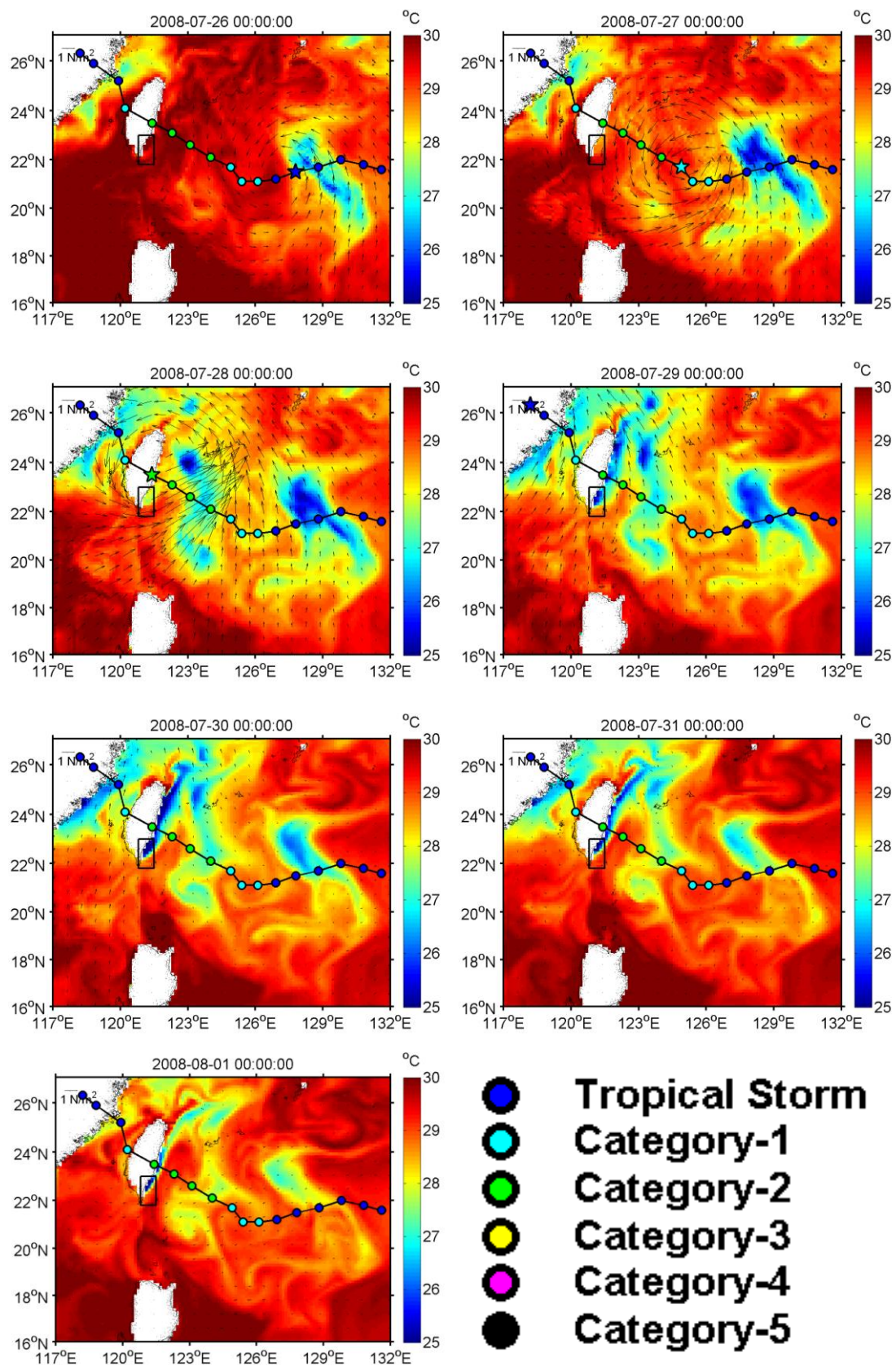


圖 3.14 2008 年鳳凰颱風之模擬結果

顯示 7 月 26 日至 8 月 1 日的模擬結果，星型圖案顯示颱風中心位置。

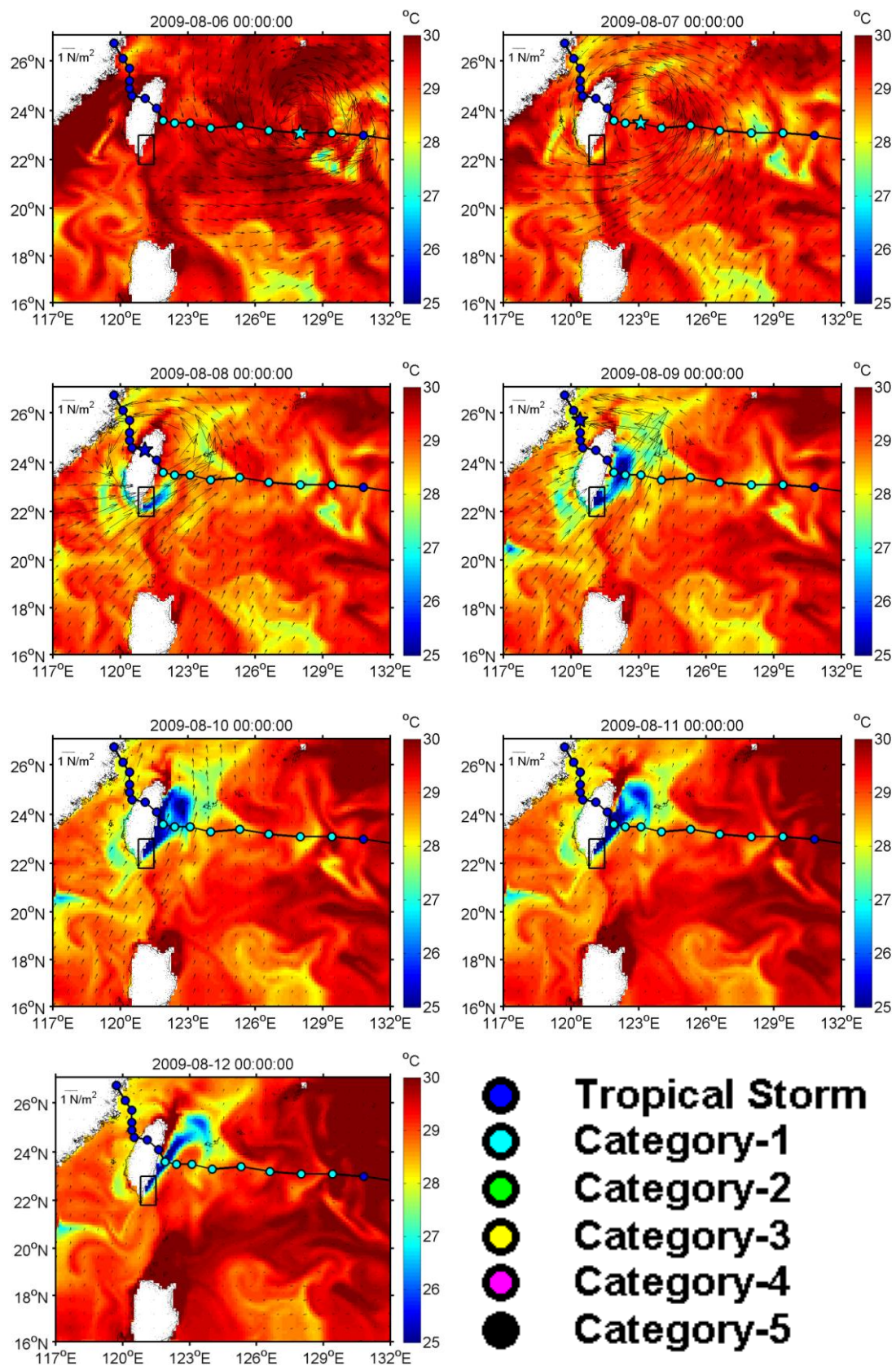


圖 3.15 2009 年莫拉克颱風之模擬結果

顯示 8 月 6 日至 12 日的模擬結果，星型圖案顯示颱風中心位置。

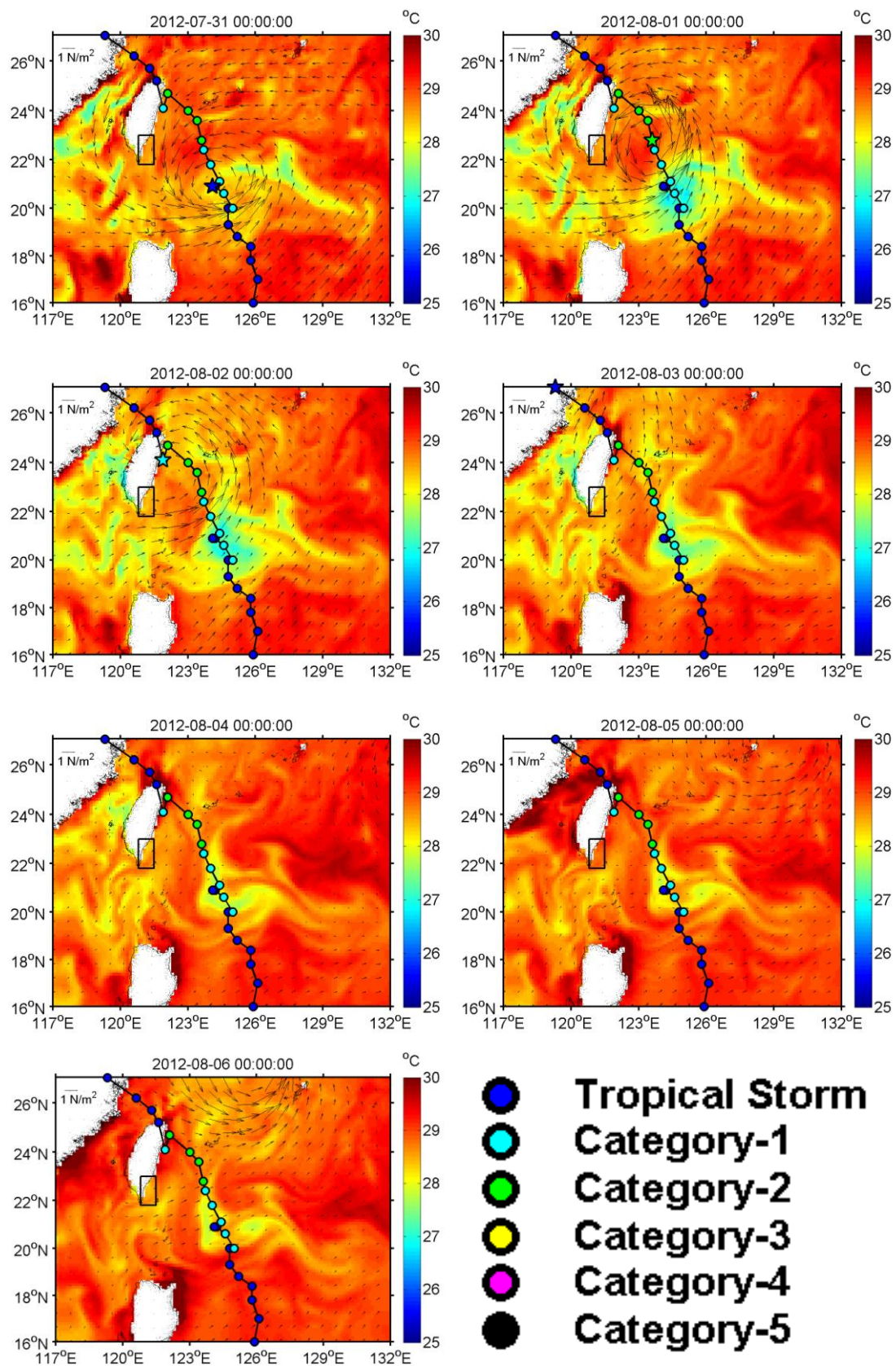


圖 3.16 2012 年蘇拉颱風之模擬結果

顯示 7 月 31 日至 8 月 6 日的模擬結果，星型圖案顯示颱風中心位置。

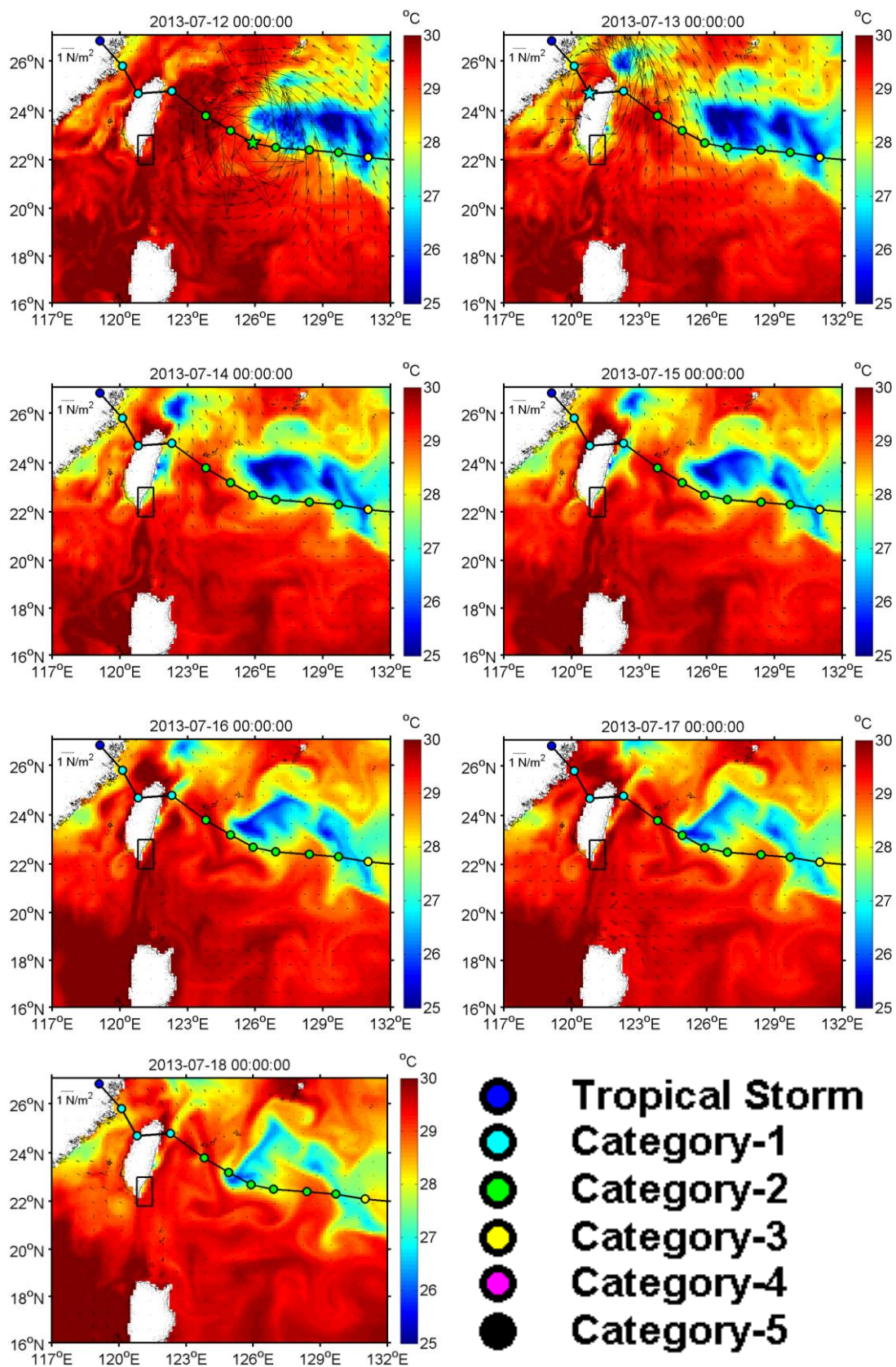


圖 3.17 2013 年蘇力颱風之模擬結果

顯示 7 月 12 日至 18 日的模擬結果，星型圖案顯示颱風中心位置。



圖 4.1 成功氣象站位置圖

圖片來源：<https://www.google.com.tw/maps/place/交通部中央氣象局成功氣象站>

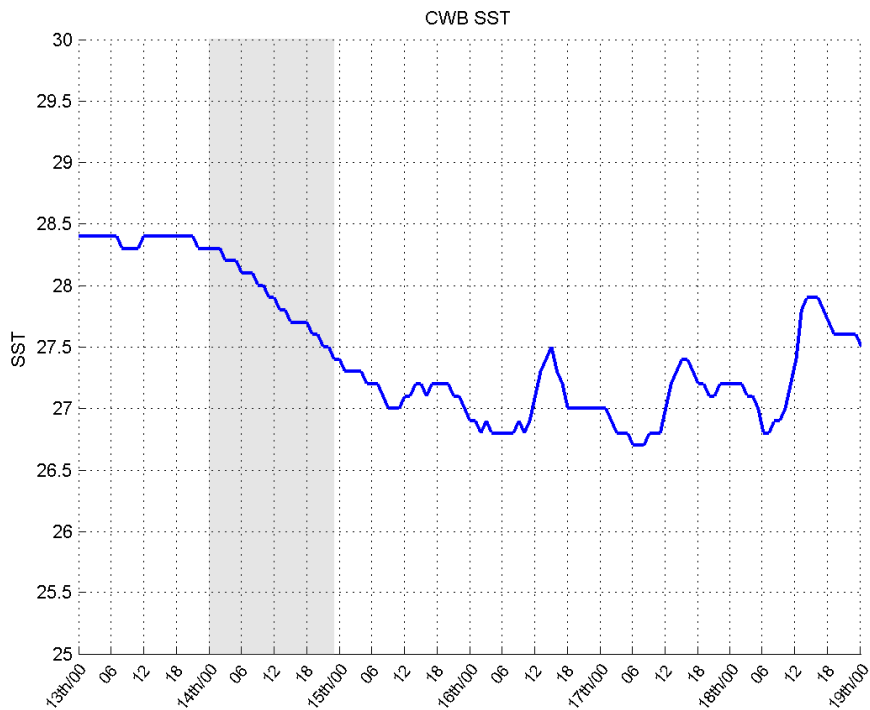


圖 4.2 2008 年辛樂克颱風期間成功氣象站之海表溫時間序列

灰色區塊表示颱風登陸台灣的第一天。

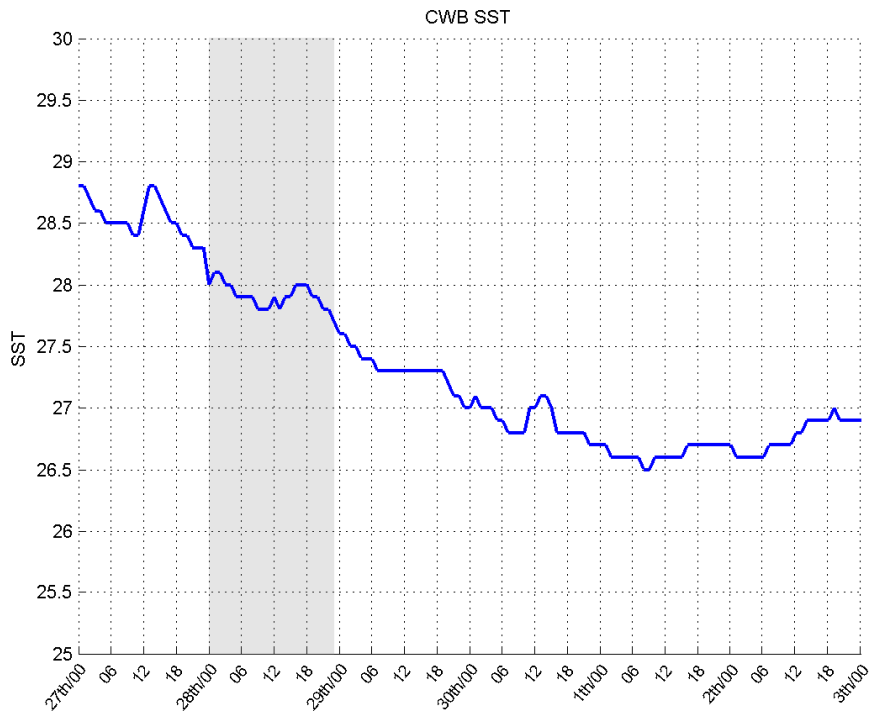


圖 4.3 2008 年薔密颱風期間成功氣象站之海表溫時間序列

灰色區塊表示颱風登陸台灣的第一天。

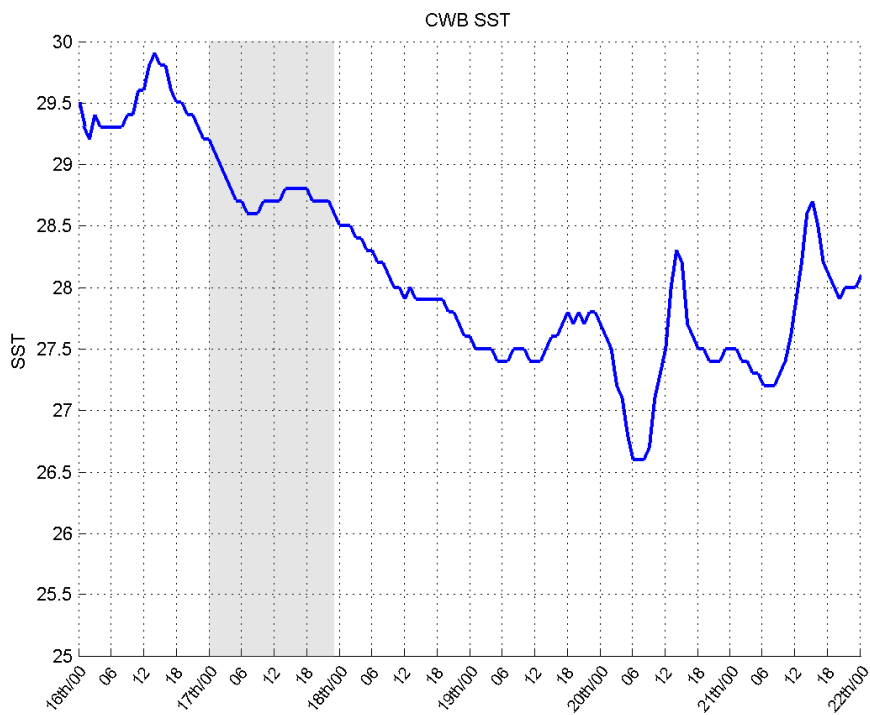


圖 4.4 2009 年卡玫基颱風期間成功氣象站之海表溫時間序列

灰色區塊表示颱風登陸台灣的第一天。

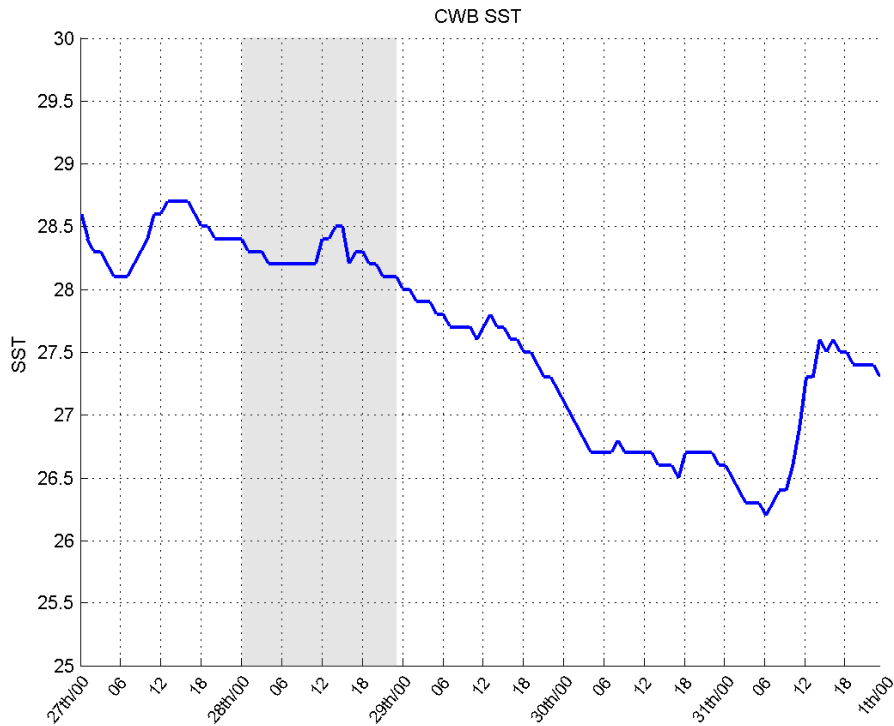


圖 4.5 2012 年鳳凰颱風期間成功氣象站之海表溫時間序列

灰色區塊表示颱風登陸台灣的第一天。

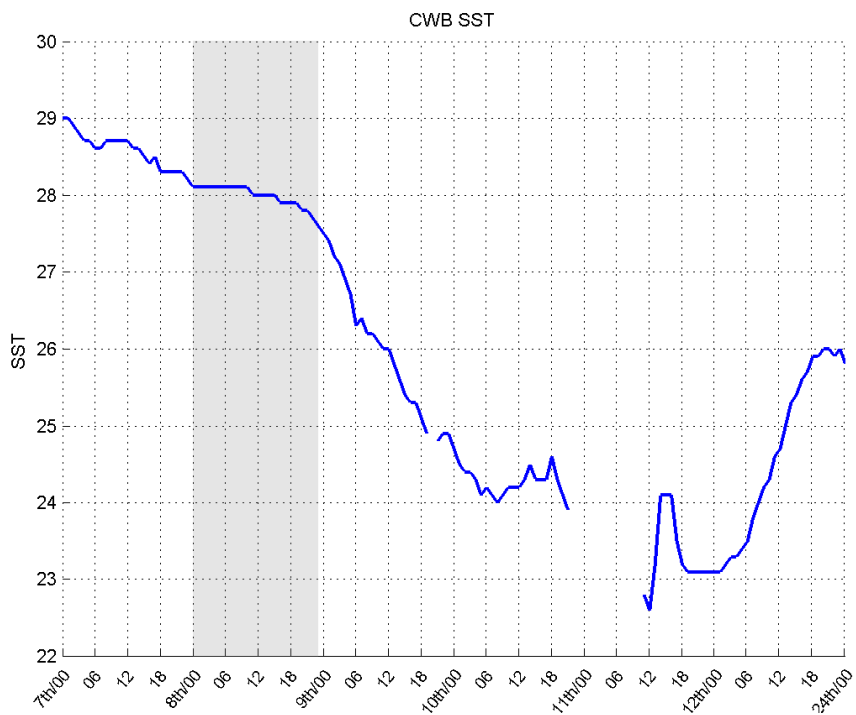


圖 4.6 2013 年莫拉克颱風期間成功氣象站之海表溫時間序列

灰色區塊表示颱風登陸台灣的第一天。

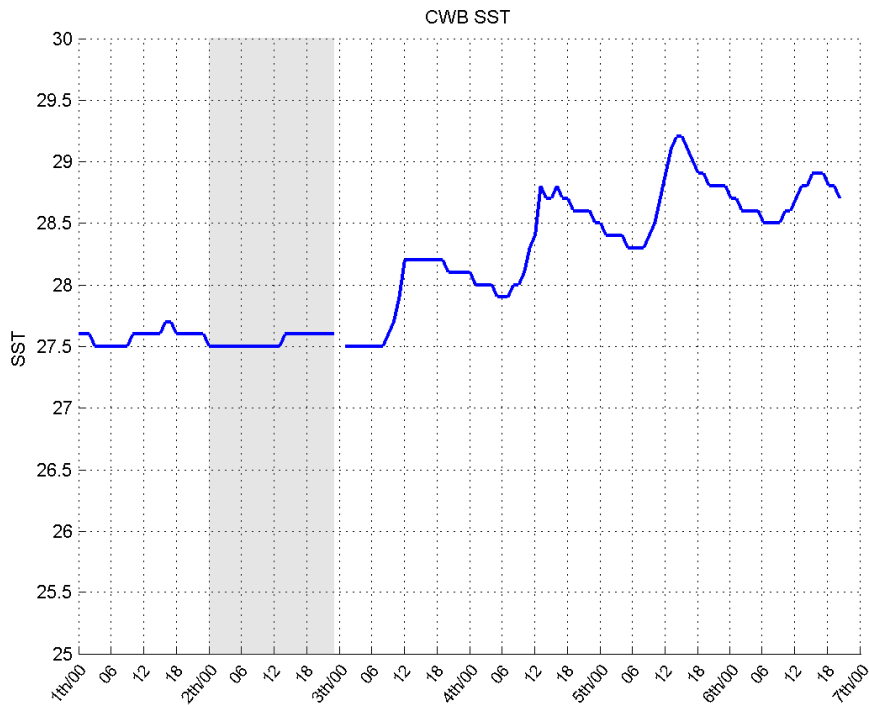


圖 4.7 2013 年蘇拉颱風期間成功氣象站之海表溫時間序列

灰色區塊表示颱風登陸台灣的第一天。

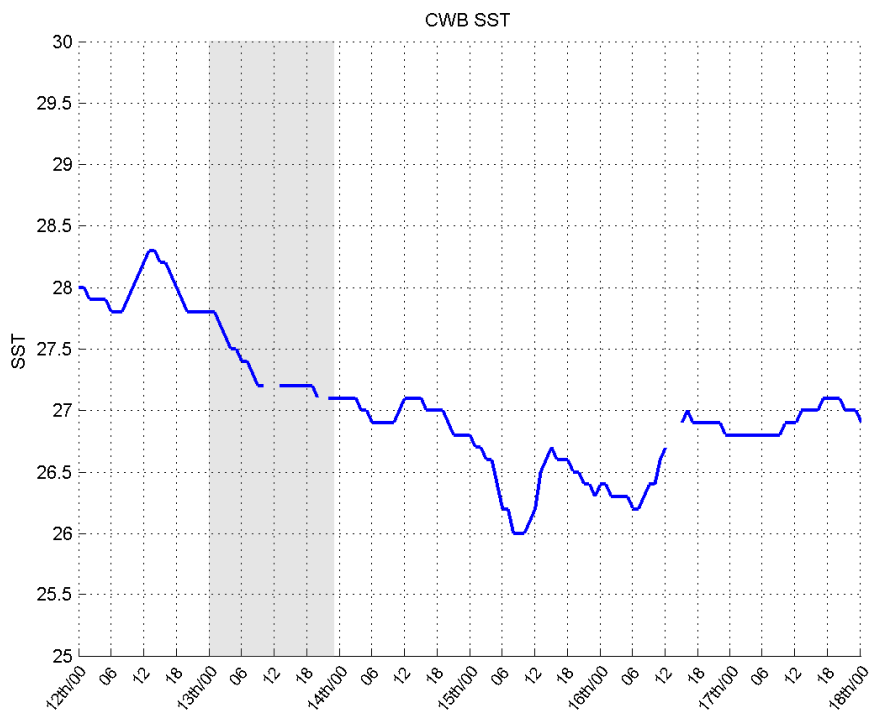


圖 4.8 2013 年蘇力颱風期間成功氣象站之海表溫時間序列

灰色區塊表示颱風登陸台灣的第一天。

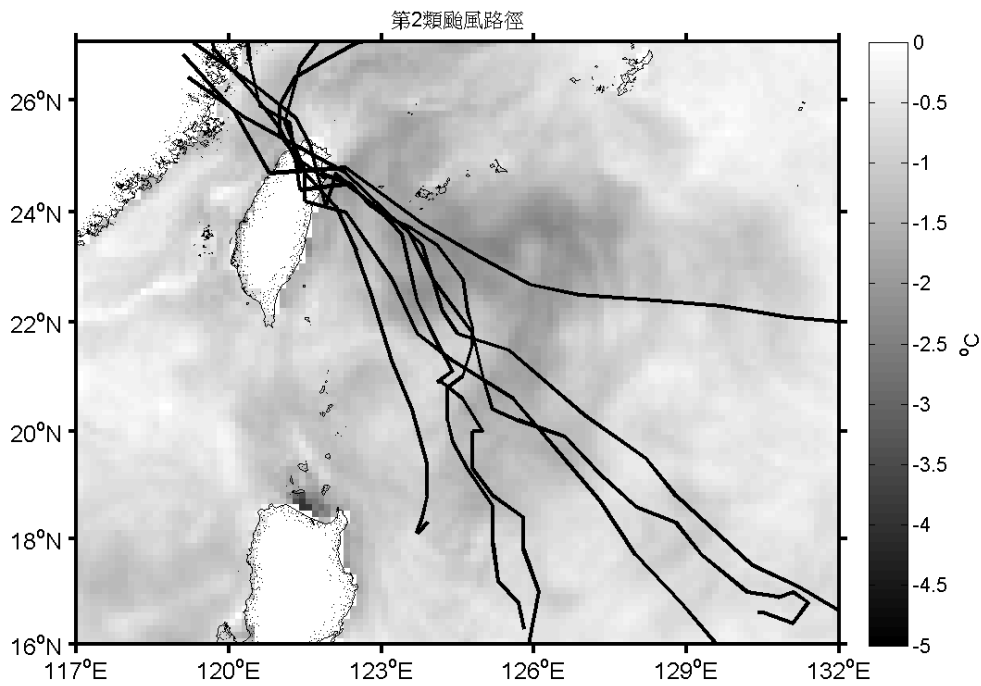


圖 5.1 第二類颱風軌跡之溫降

顯示第二類颱風造成的冷舌溫降程度。

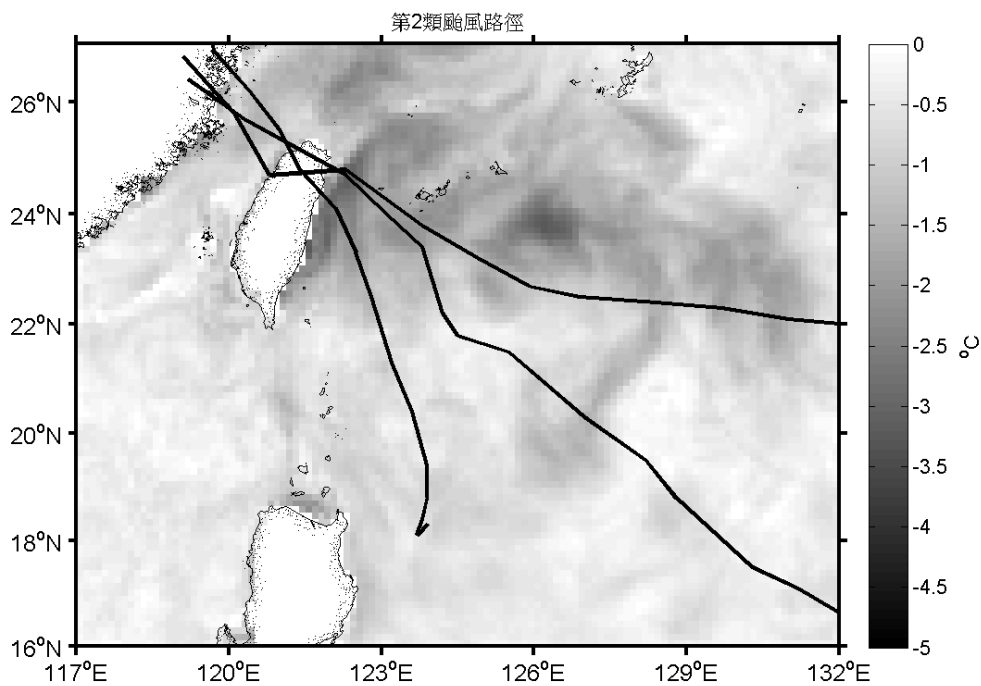


圖 5.2 第二類未滯留於臺灣的颱風軌跡之溫降

顯示未滯留於臺灣的第二類颱風造成的冷舌溫降程度。

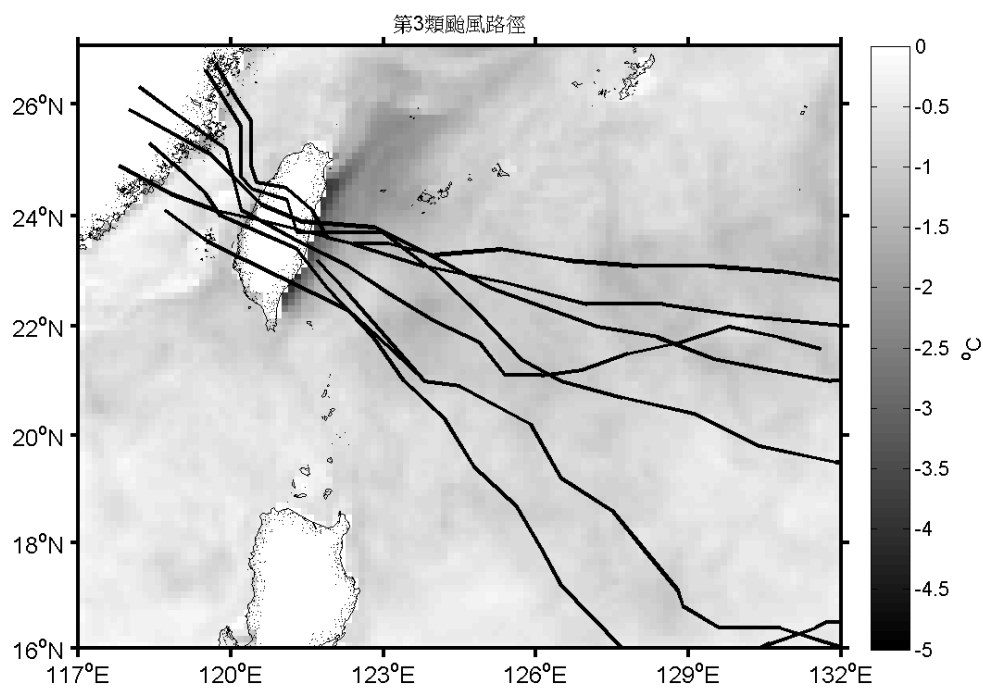


圖 5.3 第三類颱風軌跡之溫降

顯示第三類颱風造成的冷舌溫降程度。

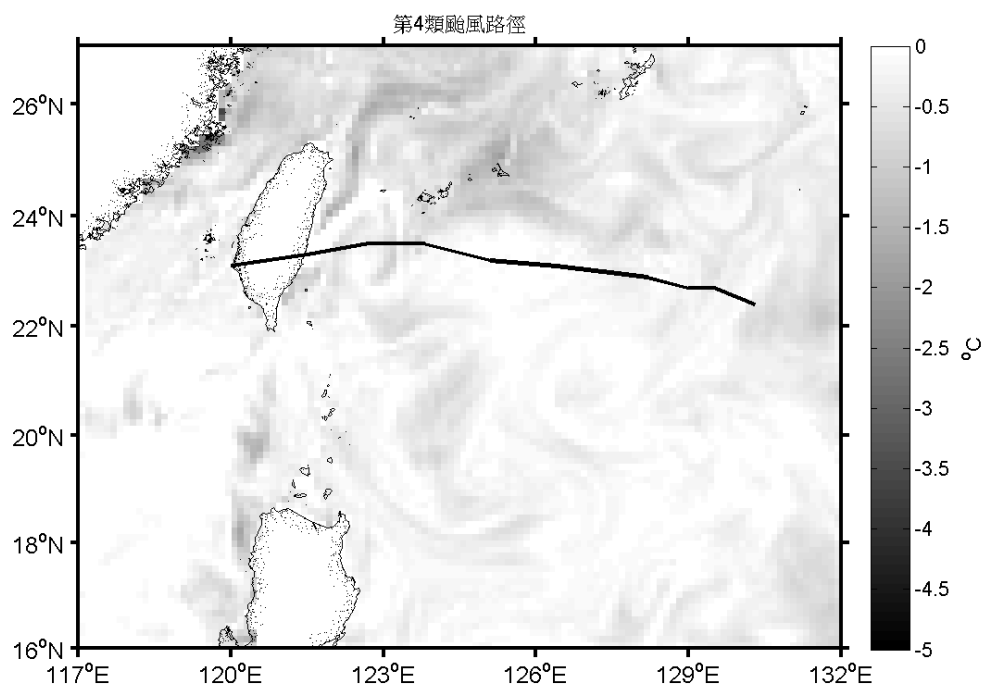


圖 5.4 第四類颱風軌跡之溫降

顯示第四類颱風寶發之溫降程度，去除帕布颱風的結果。

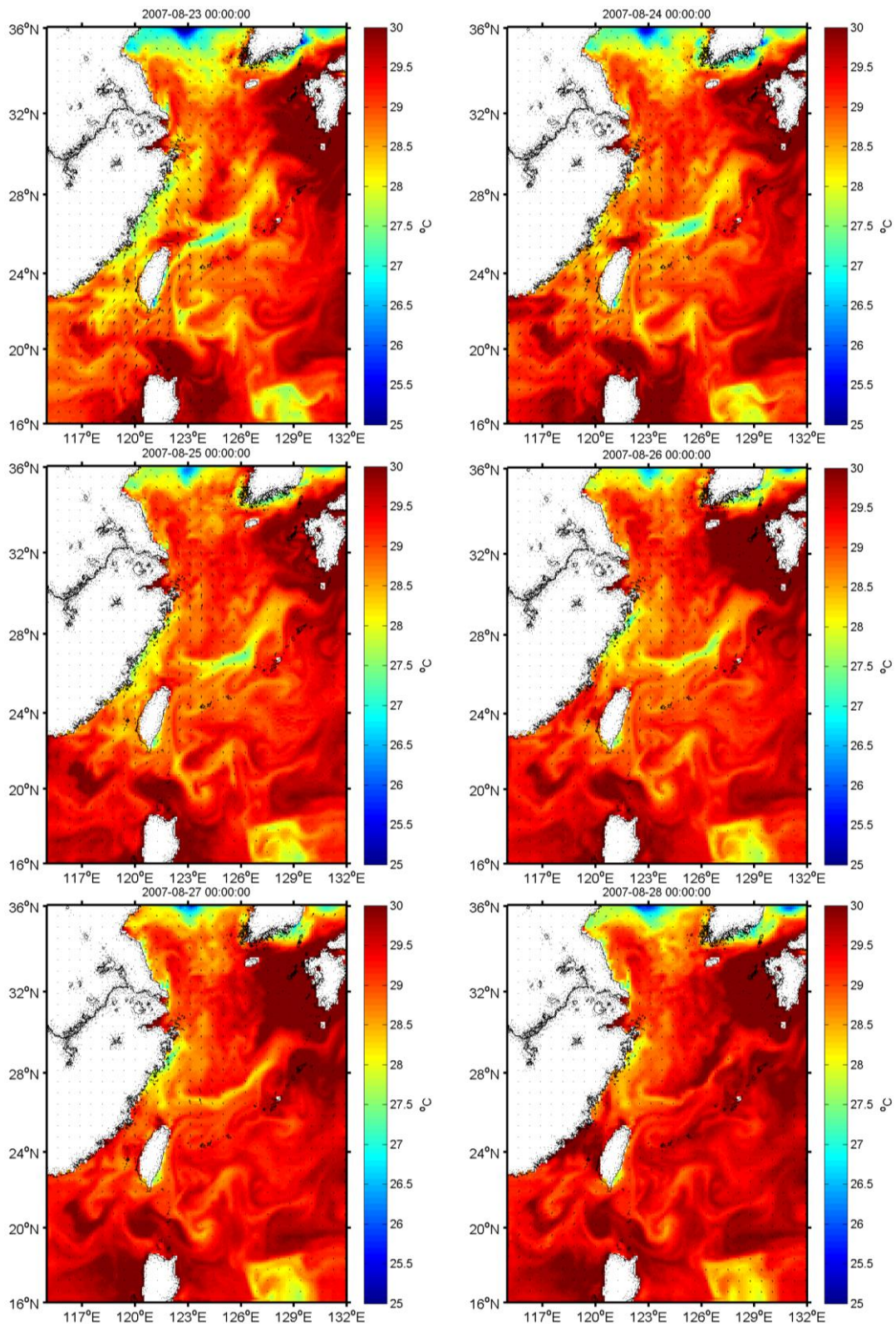


圖 5.5 聖帕颱風期間冷舌受黑潮輸送之模擬結果

顯示 8 月 23 日至 28 日的模擬結果，冷舌受黑潮傳輸，隨時間漸漸消散。