

出國報告（出國類別：實習）

中美合作-氣象資料分析及顯示技術 轉移

服務機關：交通部中央氣象局

姓名職稱：黃椿喜 技士

派赴國家：美國

出國期間：98年9月1日至98年12月2日

報告日期：99年2月24日

摘要

為城鄉精緻化預報作業，格點預報的觀念在近年來逐漸被重視，預報的需求由原來在單點的預報演變為整個區域面上的預報。因為動力數值模式仍存在一定的誤差與極限，因此需要經由統計方法針對這些偏差加以修訂，再加入預報員的主觀修正，才使官方的決定性預報(deterministic forecast)產品得以發布。為了驗證預報的技術得分，必須要決定真值(Ground truth)作為預報產品校驗的基準。為此中央氣象局氣象預報中心在2008年引進STMAS-2D客觀分析方法，利用有限的觀測資料網與模式輸出的背景場資料，進行同化分析以期能得到最接近真實的網格點資料，並假設此客觀分析結果為格點上Ground truth。

本次工作延續謝(2008)的工作，針對過去颱風個案進行STMAS-2D的重新分析。結果發現本局區域模式的背景場中的颱風是經由渦旋植入得到且在地形上風場明顯高估。而STMAS方法高度依賴觀測資料的特性，導致在使用這個方法時必須嚴格品管觀測資料，同時必須考慮模式地形與實際地形間的差異，且要盡量引入更多的海上或陸上觀測資料。

在OSE (Observing System Evaluations)實驗中發現，觀測資料的品質與量都非常重要，尤其在複雜地形上與海陸交界處。在目前台灣陸地上大部分的區域有密集的觀測網，因此STMAS-2D分析方法確實可在陸地上提供可靠的Ground truth。但對於地形變化很大的地方，或者高度依賴背景場的海上仍存在不確定性。在颱風的問題上，上述的不確定性會更加明顯。因此建議未來與美方持續合作發展沿著地形(σ)座標上新的2維多變量分析方法。長期的展望則是發展STMAS三維或四維的變分分析，並加入新的颱風同化技術，並發展連續更新循環的方法，持續進行變分分析，以期能解決颱風分析的問題。

目 錄

壹、前言與目的	1
貳、過程	6
一、赴美過程	6
二、工作概述	7
參、心得	8
一、STMAS-2D系統簡介	8
二、2008年辛樂克颱風的再分析結果	10
三、OSE實驗結果(實驗SHP與實驗nSHP)	12
肆、結論與建議	14
參考文獻	18
圖	19

目 錄

壹、前言與目的	1
貳、過程	6
一、赴美過程	6
二、工作概述	7
參、心得	8
一、STMAS-2D系統簡介	8
二、2008年辛樂克颱風的再分析結果	10
三、OSE實驗結果(實驗SHP與實驗nSHP)	12
肆、結論與建議	14
參考文獻	18
圖	19

壹、前言與目的

為了因應中央氣象局(CWB)未來城鄉精緻化預報的需求，格點預報的觀念在近年來逐漸引入新的作業需求之中，預報的需求由原來只在數個區域裡單點的預報演變為整個區域的面上的預報。概念上主要是因為動力的數值模式在模式向後積分及物理參數化的過程仍存在一定的誤差與極限，因此通常需要經由統計方法針對這些偏差加以修訂，最後再加入預報員的主觀修正，才使官方的決定性預報(deterministic forecast)產品得以發布。但實際上，在引進格點預報時，大量的網格資料以及發布時間的壓力使預報員無法在每個格點上進行單獨的修正，因此未來預報產品的修訂必須從有限的(數十個)單點的預報改變為整個面(數百個以上格點)上的預報。要使預報技術有所精進，除了使用最新的動力模式輸出與統計產品進行修正，預報員的主觀經驗修訂亦是相當重要的一環。而預報員經驗的累積必須透過對於天氣系統的掌握以及對於過去預報的優劣與偏差的認知。因此實際作業上預報員需要針對過去的動力模式預報、統計整合產品及官方的決定性預報結果進行系統性的校驗。

為了驗證每次預報的技術得分，除了每個作業時段發布的產品之外，必須要決定預報變量在格點上的真值(Ground truth)，以作為預報產品校驗的基準。因此預報中心在2008年引進STMAS-2D客觀分析方法，利用有限的觀測資料網與模式輸出的背景場資料，進行同化分析以期能得到最接近真實的網格點資料，並假設此客觀分析結果為格點上Ground truth。

客觀分析方法的選定對於Ground truth的分析有很重要的影響，現行客觀分析大多採用變分法，必須同時考慮模式背景場與觀測的統計資訊，以求取最佳的分析結果。然而，由於模式背景場的共變異矩陣不易求得，且有可能會隨著不停的時空變化而需要重新計算，因此，在這樣的情況下，限制了變分方法的分析結果。另一方面，傳統客觀分析採用的連續訂正法，直接在觀測數據中透過逐次訂正的方式，由長波到短波將觀測到的現象確實解析出來，免除因估計共變異矩陣

造成的龐雜計算或因無法準確估計共變異矩陣而影響分析結果的問題。而連續訂正法中的每次訂正都要對影響半徑之內的網格點作運算，當影響半徑很大時，逐一訂正的也需要過大的計算量，因此限制了此分析方法的效率。因此，局地天氣分析與預報系統（Local analysis and prediction system; LAPS）地面模組在進行分析時，僅做兩次訂正將較大尺度跟較小尺度的觀測現象解析出來，因而可能遺漏了中間波長的天氣現象。STMAS-2D (Space-Time Mesoscale Analysis System-2D)系統的地面分析，使用連續變分方法對單一變量進行變分分析，假設觀測資料完美且沒有誤差，因此在觀測網可解析的空間尺度上以觀測值為分析趨近的目標，無需估計模式背景場的共變異矩陣。由於其變分式在多重網格（multigrid）上運算，因此具有計算速度快且做法類似連續訂正的優點，在多重網格逐步加密的過程中可將解析不同波長的現象。也因為其變分分析的方式，在3維的多變量分析中可同化雷達徑向風等非傳統觀測資料，或在分析過程加入物理條件的限制，這些都是傳統連續訂正法所無法做到的。很可惜的是STMAS-2D仍是單變量分析的模組，因此無法同化非分析變量的其他觀測變量。

現行本局STMAS-2D的地面分析場，使用地面氣象站觀測資料與本局15公里解析區域模式(NFS-15km)分析場，針對溫度、露點、風向、風速與氣壓等5個氣象參數進行客觀分析，以每30分鐘間格分析一次。另外針對觀測網未能涵蓋的區域引入背景場，以避免在分析範圍的邊界上，因為沒有觀測資料而導致分析場失真。在2008年的計畫書(謝2008)中認為STMAS-2D地面分析模組在地表上的初步分析評估結果優於LAPS地面分析模組。透過溫度、露點、風場等變數在測站上的分析值與觀測的比對，也證明STMAS-2D對於觀測現象具有一定的掌握能力。他們認為在台灣這種複雜的地形下，會有許多的短波擾動，而這些短波可以在這個方法中被適當的保留。最後他們提出幾點建議：

- 一、針對特殊天氣進行系統分析能力評估：由於過去的分析結果僅在測站上與觀測資料比對，未來可針對特定天氣系統進行分析，以進一步評估

STMAS-2D方法在無觀測資料的區域能否有效掌握特殊的天氣特徵。

- 二、 納入更多觀測資料並進行觀測資料的檢定：透過浮球與陸地上觀測的差異將這個較小區域的變異分析出來。此外，在氣壓分析上發現各地的測站氣壓換算到同一高度平面(海平面)上，仍有很大的差異，雖然這可能是小尺度天氣現象的真實情況，但也隱含資料可信度的問題，故若能針對各個測站的資料品質進行檢查，依據可靠度設定分析權重，或在重新分析的過程中導入較好的觀測，將可改善分析結果。
- 三、 測試系統參數改善地形問題：由於處理不同氣象參數可能要掌握不同波長的現象，並使用不同時空連續性以進行分析，包括觀測影響半徑、多重網格分析的起始層數及平滑係數等，未來這些參數需要持續測試，以取得適合台灣地區的經驗值。
- 四、 在分析過程引入動力約束條件：STMAS-2D版本是單一變數分析，因此未考慮到動力上的平衡與一致，未來可將不同尺度下動力平衡約束條件加到分析過程，使分析結果符合動力的的一致性。

因此2009的計畫延續謝(2008)的報告中建議針對特定的天氣系統進行STMAS-2D在分析實驗，考慮影響台灣最大且在分析同化上遭遇最大問題的颱風作為重新分析實驗。

台灣位處於西北太平洋的颱風路徑上，平均每年受到3至4個颱風侵襲，但是傳統的客觀分析或資料同化方法由於在颱風附近缺乏足夠的資料，因此導致颱風的同化分析一直有很大的困難。因此2009年的計畫目的想針對2005年至2008年間的颱風進行STMAS的重新分析實驗，並嘗試找到解決颱風渦旋資料同化的問題已解決颱風分析資料品質不良的缺點。

颱風在模式中的渦旋植入及同化一直是很困難的課題，要得到良好的颱風分析必須解決颱風渦旋植入或同化的問題。由於目前區域模式與颱風模式多以全

球分析資料作為初始與邊界條件，但颱風多生成在廣大的海面上，缺乏足夠的觀測資料，因此雖然經客觀分析同化，但全球分析場解析之颱風普遍存在強度太弱、範圍過大及位置偏離實際觀測等問題。因此現行的颱風或區域模式使用全球分析資料對颱風進行模擬時，需經一系列初始化過程，才能使颱風模式中的颱風強度、結構以及位置更接近真實颱風。但很可惜的是，目前在廣大的太平洋上颱風附近並沒有足夠的觀測資料，近年來雖然有氣象局、台大與國科會合作的追風計畫 (DOTSTAR, Dropwindsonde Observations for Typhoon Surveillance near the TAIwan Region)，針對颱風在西北太平洋區域的環境場進行策略性的觀測，但資料量仍嚴重不足。

在颱風初始同化的問題上，為改進全球分析場進入颱風模式初始場中之颱風結構，Kurihara et al. (1990, 1993, 1995)針對GFDL模式，發展一系列初始化方法，將低解析的全球分析渦旋，以不對稱的濾波技術將全球分析場中的渦旋濾除，得到颱風的環境場，再以以颱風模式產生較高解析渦旋取代。結果顯示經此初始化過程後，模式可模擬出更合理的颱風強度且可有效改進路徑預報之誤差。1997年氣象局的颱風預報模式(TFS)也使用這個渦旋植入的方法。

Kuo and Wang (1997)則針對MM5 (Fifth-generation Penn. State/NCAR Mesoscale Model)模式，預先植入理想Rankine Vortex之渦旋於分析資料之風場中，利用非線性平衡關係(Charney 1955)與靜力平衡求取對應渦旋結構之高度與溫度場。積分12小時後，產生與模式動力一致之渦旋與非對稱結構，再將此渦旋植入於模式初始場中，進行預報模擬。黃(1999)和吳與黃(2000)則結合Kurihara et al. 與Kuo的初始化方法，顯示不同初始化方法與不同初始全球分析資料，皆會造成不同的路徑預報誤差，新的方法對颱風路徑模擬確實有改進，但對颱風強度之反應仍不理想。目前本局所屬區域模式(NFS)在處理颱風植入的問題時則使用數十個假想的颱風探空曲線，經由模式同化在模式產生新的颱風渦旋；而本局新的WRF區域模式則大致沿襲Kuo等人的颱風渦旋植入方法。

上述的渦旋植入方法都容易導致模式本身的不平衡，使模擬初期有一段劇烈的調整過程。因此近年來在各國在全球模式上則常捨棄渦旋植入方法而僅使用重新移位(relocation)的方法以取代渦旋植入方法，這個方法的優點是在模式中得到的渦旋強度及結構都比較符合模式的平衡動力，但與實際颱風結構仍有明顯差距。

另外一方面，隨變分資料同化技術的進步，近年來也開始有利用四維資料同化技術發展的虛擬渦旋資料同化(bogus data assimilation, BDA; Zou and Xiao 2000; Wu et al. 2006)方法，但這些方法相當耗費電腦計算時間，且四維資料同化的共軛方程式求取亦有非線性或不可逆的問題。最近則有使用EnKF (ensemble Kalman filter)的方法可以同化模式預報變量以外的觀測參數，連(2009)即是利用EnKF的方法同時同化渦旋中心、暴風半徑、最大風速與其他觀測變量，並得到很好的應用。

因此2009年出國的目的，除了延續謝(2008)的工作之外，主要還希望針對過去的颱風個案進行重新分析的工作，歸納其中的要點如下：

- 一、 針對2005年至2009年間對台灣地區發布警報的颱風個案進行STMAS-2D的再分析。
- 二、 在OSE (Observing System Evaluations)實驗架構下討論各種資料對於颱風影響台灣期間，STMAS-2D分析結果的可靠度。
- 三、 增加各種觀測資料的可能性，包括QuikSCAT衛星反演地面風場，雷達觀測徑向都卜勒風場，更多的合作測站觀測資料等。
- 四、 探討模式地形與實際地形間，針對觀測變量進行物理過程調整的問題。
- 五、 在STMAS的架構下提供對颱風更有效的同化方法。

貳、過程

一、赴美行程：

98年9月1日：搭機赴美。由台北至洛杉磯，再轉機到丹佛（Denver）國際機場，由NOAA謝元富博士接送至博德（Boulder）。

9月3日：至NOAA報到並與STMAS系統的主持人謝元富博士會面，討論未來工作方向。

9月4日至11月30日：與謝元富博士討論STMAS主程式架構與原理，9月份在謝博元富博士的協助下在電腦上建立並設定STMAS系統，同時改寫程式的資料輸出，使輸出資料可以分析；10月重新分析2005年至2008年的有發警報的颱風個案，並著手建立OSE分析的機制；11月完成OSE分析結果，並與謝元富博士討論在STMAS系統中建構颱風資料同化的方法與增加QuikSCAT衛星分析海面風場的可能性。期間並在孟繁村博士的引介之下，參與每日早上11:00的天氣簡介(Weather Briefing)。

10月底至11月初：在孟繁村博士的幫忙下，數次到美國國家氣象服務中心(National Weather Service, NWS)訪問，了解其實際預報作業流程，包括天氣特報與例行即時預報、短期預報及一周預報的文字發布流程，並初步了解其AWIPS中洪水監測及預報系統(FFMP)及特報發布模組Warngen的使用。

11月22日至24日：本局預報中心廖純慧課長來訪，由孟繁村博士接待並帶領簡介NOAA的組織架構及作業方式，期間在NOAA的SOS (Science on a Sphere)系統負責人Bill協助下參觀，並由Beth小姐專人簡介SOS系統，並作為本局未來建置SOS系統之參考。

12月1日至12月8日：此行任務於11月30日結束，12月1日由丹佛搭機前往洛杉磯，之後配合個人休假，在美國當地參訪旅遊，於12月8日由洛杉磯機場搭機返回台北。

二、工作概述：

此行攜帶2005年至2008年間發布警報的颱風期間的地面氣象站觀測資料與本局15公里解析度模式(NFS-15km)分析場，透過STMAS-2D分析系統，針對2005年至2008年間針對台灣地區發布警報的颱風進行重新分析，主要的變量包括溫度、露點、風向、風速與氣壓。隨後並設計OSE觀測實驗，分析不同資料特性以及各種資料影響STMAS-2D分析結果的優劣，最後並與謝元富博士研討規劃颱風在STMAS系統中同化的可行性。

各月工作概述如下：98年9月初搭機赴美。由台北至洛杉磯，再轉機到丹佛（Denver）國際機場，由NOAA謝元富博士接送至博德（Boulder）。隨後即到NOAA報到並與STMAS系統的主持人謝元富博士會面，討論未來工作方向。9月份在謝博元富博士的協助下設定及建立STMAS系統，由於STMAS的繪圖系統無法計算詳細的定量結果，因此改寫程式的格點及測站資料輸出為GrADS格式，以建立新的分析工具。9月底至10月重新分析2005年至2008年的有發警報的颱風個案，同時與本局預報中心李育棋副主任及顧欣怡技士討論OSE觀測實驗的設定。10月底至11月完成OSE觀測實驗分析結果，並與謝元富博士討論在STMAS系統中建構颱風資料同化的方法與增加更多觀測資料，例如水利署合作測站資料與QuikSCAT衛星分析海面風場的可能性。

在美期間，由孟繁村博士的引介，每日參與在NOAA的科學家於早上11:00舉行的天氣簡介與預報(Weather Briefing)。10月底至11月初，在孟繁村博士的協助下，數度到美國國家氣象服務中心(National Weather Service, NWS)訪問，了解當地實際天氣預報作業流程，其中包括特殊天氣系統的天氣特報與每日例行文字及圖形的極短期預報、短期預報及一周預報的作業方式、參考資料的來源及發布預報的流程。在Treste Huse小姐的協助下，並簡介了NWS對於洪水及水文的預報發布流程，同時介紹AWIPS (Advanced Weather Interactive Processing System)中洪水監測及預報系統FFMP (Flash flood monitoring and prediction)及其洪水發布系

統(RiverPro)的發布方式。在NWS其他預報員的協助下也參訪其天氣特報系統WARNGEN模組的使用。

11月22日至24日，本局預報中心廖純慧課長來訪，當時由孟繁村博士接待並帶領簡介NOAA的組織架構及作業方式，期間在NOAA的SOS (Science on a Sphere)系統負責人Bill協助下參觀，並由Beth小姐專人簡介SOS系統，並作為本局未來建置SOS系統之參考。

此行任務於11月30日結束，12月1日由丹佛搭機前往洛杉磯，之後配合個人休假，在美國當地參訪旅遊，12月8日由洛杉磯機場搭機於9日晚間返回台北。

參、心得

一、STMAS-2D系統簡介

STMAS是由美國海洋暨大氣總署(NOAA)的地球系統實驗室全球系統組(ESRL/GSD, Earth System Research Laboratory/Global Systems Division)發展的客觀分析技術，包含在LAPS的客觀分析方法的選項，LAPS另有一套三維變分客觀分析的系統。

而STAMS-2D包含在LAPS下的地面分析模組，是一套透過連續變分法對觀測資料進行同化的客觀分析系統。LAPS中只要使用的是LAPS-SFC分析方法，使用傳統的Barnes逐次訂正法，此法具有計算次數頻繁的問題，要解析出多個波長的天氣系統特徵時，需耗費大量的計算時間，因此不容易滿足鄉鎮預報所需要的細網格需求。

現行同化技術則多為單次的三維或四維變分分析，分析結果取決於對於模式誤差與觀測誤差共變異的精確估計，因此需要更大量的計算，但準確的變異數在變分法中並不容易取得，導致分析結果反而容易遺失觀測資料代表的天氣特徵。而STMAS分析方法的特點在於透過多重網格(Multigrid)的概念進行最佳變分分析，此一分析方法與其他變分方式不同之處在於不需估計模式輸出的共變異項，直接就觀測網絡可以解析的天氣特徵，透過觀測資料由長波到短波依序求解，最後在觀測無法解析的尺度透過統計權重的方式配合模式輸出求解。因此可以大量減低求取共變異數權重係數所需的計算量。而其針對不同的波長逐次的變分分析，亦可以保留不同尺度下的天氣特徵；3維的STMAS分析保留變分法特性更可使STMAS同化雷達徑向風等非傳統觀測資料，兼具有計算時間短的優點。但可惜的是STMAS-2D仍只在應用在單變量的分析，因此暫時無法同化非傳統的觀測資料。

謝在2008年的計畫中為了使STMAS-2D分析系統更是和台灣使用進行重要

修改，主要工作有引入背景場以解決海陸邊界及缺乏觀測的區域分析增量過大，解決溫度場海陸交界處異常梯度分布，同時針對溫度與風場分開處理，並增加觀測影響半徑與海陸差異等手動判斷依據，詳細的作法在謝(2008)中有詳細的介紹。

現行的 STMAS-2D 分析使用的背景場採取本局模式 15 公里解析度 (NFS-15km) 每 6 小時的分析場，並內插至分析時刻做為背景場。觀測資料可分為綜觀氣象站報告 (SYNOP)、機場天氣報告 (METAR)、船舶觀測報告 (SHIP)、浮球報告 (BUOY) 等 4 種國際廣播資料，以及局屬站 (mso)、自動站 (shp)、農業站 (agr)、雨量站 (cum) 等 4 種地區測站資料。

由於各種資料更新頻率及密度不同，STMAS-2D 除了考慮空間分布上的連續性之外，亦同時把時間上的連續性一併處理，也就是在 x-軸、y-軸、t-軸 3 個方向展開的空間上找出代價函數並求取其最小化。因此 STMAS-2D 在空間上是 2 維的地面分析，但包含了時間維度變。為了進行時間上的連續性分析，STMAS-2D 每次分析時，會將過去 5 個分析時間的觀測與背景場一併讀取，如此一來便有包含現在分析時刻一共 6 筆時間的背景場與觀測資料，一併置入上述的變分代價函數中進行最佳化的分析，而目前使用的時間間距為 30 分鐘。

二、2008年辛樂克颱風的重新分析結果

圖1至圖3顯示當2008年9月的辛樂克颱風自台灣東方接近東北部陸地時的溫度背景場、觀測場、分析場及觀測增量、分析增量，由測站的觀測資料發現，台灣東南部地區在2008年9月13日12:00 UTC前後發生明顯焚風現象，而在中央山脈部分區域則因為地形影響是低溫區域。模式背景場中，位於台灣東南部地區的局部高溫無法被詳細解析，而在中央山脈區域的低溫則有明顯高估(圖1)。造成東南部地區的高溫，是由於氣流自台灣西側過山，在迎風面的西半部沿地形上升並將水氣釋放，隨後在背風面下沉增溫造成典型的焚風，此現象常在颱風接近台灣東部陸地時發生。但是在15公理解析的氣象局區域模式中，這種焚風現象並沒有被詳細的解析，但經由STMAS-2D的分析後，則可以有效的解析這種現象(圖2)，因此在台灣東南部地區也呈現高的溫度觀測與分析增量(圖3)。

實際上，模式背景場中有模擬出東南部的焚風(圖1)，但發生的區域在東南部的海面上，這個區域與觀測到的局部高溫區有明顯的落差，因此模式在模擬這種小尺度(數公里至數十公里)的增溫現象時，受限於模式向後積分、地形及物理參數化過程產生的誤差常導致模擬結果有明顯偏差。經由STMAS-2D模組導出的分析場(圖2)則可以有效的掌握台灣東南部焚風造成的高溫現象；至於在東南部海面上資料缺乏的區域，由於缺乏觀測的佐證，因此溫度的掌握仍依賴背景場中模式模擬的高溫分布(圖1)，對於這種海上的背山焚風現象因無觀測資料而仍無法確認是否合理。

另外一方面，中央山脈高山地形附近的溫度背景場(圖1)較觀測溫度有明顯高估，這個偏差產生的原因是因為模式地形與測站的高度不一致所造成(圖6、圖7)。模式中的地形受限於解析度的關係，無法與測站高度一致，其中在中央山脈的山脊附近(如玉山)，最大的落差可達500公尺以上。而目前在STMAS-2D的分析中並未將此溫度對地形的落差進行校正，因此模式背景溫度場比起觀測溫度經常有高估的現象。這部分的偏差是模式地形與測站高度不一致導致，所幸大氣在大

部分的時候是滿足靜力穩定的關係，因此這部分的偏差可透過靜力關係式調整此高度落差造成的偏差以得到更好的分析結果。但對於背風面產生的焚風現象或者其他局部溫度變化明顯的區域(如海陸差異或山谷交界)，則只能依賴密集的觀測網補足。

現行的STMAS-2D使用本局15公里解析區域模式(NFS-15km)每6小時輸出的分析場作為背景場，然而NFS模式在颱風發生時會在分析場中進行渦旋植入，因此在背景場中具有植入的渦旋資訊。此植入的渦旋在進行STMAS-2D分析時發現其背景風場都有明顯高估颱風切向風場的傾向。如圖15的模式背景風場，接近台灣地形的辛樂克颱風仍保持良好的對稱性，風場接近圓形的結構。但觀測風場與STMAS-2D分析場(圖16)則在台灣地形上的風場則明顯受地形及地面摩擦效應而導致風速急遽減弱，使其分析風場失去對稱的結構，僅在海面上沒有摩擦及地形影響的風場仍能維持大部分的強風結構。

由風場的觀測增量與分析增量(圖17)也可以發現，分析增量主要與觀測增量一致，主要是因為STMAS-2D分析方法的設計的理念即是為了保留大部分觀測的特性導致。另外一個明顯的特徵則是，在地形附近風場的觀測或分析增量都是以反旋式的風場為主，代表模式背景場中植入的渦旋結構並不真實，更進一步使得海上沒有觀測資料附近的背景或分析風場可信度降低，也因此凸顯颱風分析時渦旋的同化的困難與重要性。很可惜的是，這個問題目前為止在STMAS的方法上仍沒有很好的解決方案。

三、OSE實驗結果(實驗SHP與實驗nSHP)

目前台灣地區已經架設好完整的shp地面自動觀測網，透過這些觀測網可提供涵蓋台灣大部分區域的風場及溫度、濕度分布。在OSE的觀測實驗中仍以2008年的辛樂克颱風來探討。這個部分我們設定了兩個實驗，其中實驗SHP是只同化shp地面自動觀測資料，實驗nSHP則是完全不同化shp觀測資料而同化其他所有可以得到的地面觀測資料，並探討其對STMAS-2D的分析結果有什麼的影響。

在溫度場方面，辛樂克颱風在2008年9月13日12:00 UTC接近台灣東部陸地時，控制實驗中(圖2)所分析出來的東南部焚風現象，在實驗SHP中並沒有辦法被解析(圖4)，因為在東南部地區發生焚風的局部區域並沒有shp的自動觀測。另外，在中央山脈溫度高估的現象仍明顯，是因為在中央山脈山脊(如玉山)沒有shp自動觀測資料。實驗nSHP則可以解析東南部的焚風及最中央山脈山脊的溫度分布(圖5)，但在其他沒有資料的區域則其溫度分布亦不甚理想。由統計結果來看，溫度的均方根(rms, root mean square)誤差在辛樂克颱風警報期間隨時間的分布(圖8、圖11)，顯示在所有測站上的均方根誤差約 $0.55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，在SYNOP測站上的誤差最小僅 $0.39\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，在shp自動測站上的誤差約 $0.48\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。實驗SHP中(圖9)只同化shp地面自動測站的資料，因此在shp測站上的均方根誤差明顯下降約 $0.41\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，而SYNOP測站上的增加至 $1.86\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，所有測站上的誤差則增加至 $1.51\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。實驗nSHP中(圖10)，shp測站上的誤差明顯增加至 $1.72\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，SYNOP測站上的誤差約 $0.36\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，所有測站上的誤差則為 $1.20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在各個測站上的均方根誤差分布亦可以發現(圖12至14)，在辛樂克颱風影響期間主要的誤差來源為台灣東南部的焚風及高山因地形差異影響的溫度分布。在台東附近的焚風現象，因為附近沒有shp的自動測站，因此實驗SHP無法有效解析其焚風，而實驗nSHP雖然可以解析台東附近的焚風，但在大部分西半部的山坡附近，只有shp觀測站的區域誤差有明顯增加的趨勢。

在風場方面(圖16、圖18、圖19)，大致的結論也同溫度場，唯其背景風場因渦旋植入的關係，明顯較觀測場或分析場高估。由統計的結果來看(圖20至26)，

風場的統計誤差最小的大致上都以shp測站上的觀測為主，再來才是SYNOP的人工觀測資料。在控制實驗中(圖20、圖23)，風場的均方根誤差在辛樂克颱風警報期間隨時間的分布，顯示所有測站上的均方根誤差約 2.57 m s^{-1} ，SYNOP的測站上的誤差約 2.58 m s^{-1} ，shp自動測站上的誤差僅 0.88 m s^{-1} 。而實驗SHP中(圖21、圖23)，因為只同化shp地面自動測站資料，因此在shp測站上的誤差下降至 0.56 m s^{-1} ，但所有測站上的誤差也僅 2.57 m s^{-1} ，SYNOP測站上的誤差約 2.23 m s^{-1} 。而在實驗nSHP中(圖22、圖23)，shp測站上的誤差增加至 2.17 m s^{-1} ，所有測站的誤差為 2.84 m s^{-1} ，SYNOP測站上的誤差則下降至 1.61 m s^{-1} 。

肆、結論與建議

本出國計畫除了延續謝(2008)的工作以外，主要的工作是針對2005年至2008年間的颱風個案進行重新分析的工作，目前完成的工作要點如下：

一、針對2005年至2008年間，台灣地區曾經發布警報的颱風個案進行STMAS-2D的重新分析。結果發現對於颱風的重新分析工作仍有很大的困難。首先是本局的背景場中的已經過颱風渦旋植入，但這個植入的渦旋在地形上的風場有明顯高估，導致地形上的背景風場比起觀測風場有很大的正偏差，實際上在接近台灣陸地時，颱風的對稱性已經被嚴重破壞，但背景場中無法呈現這種現象。另一方面，背景場的時間間距只在12個小時有一筆，因此導致需要每30分鐘分析的背景場需要經由內差而得到，但是這樣的背景場中的颱風結構會變得不合理，有時會變成橢圓形，甚至會出現兩個中心。而在STMAS-2D分析方法因為非常依賴觀測資料的品質與其密度，因此在進行STMAS-2D的分析時有幾個因素必須要詳加考慮：

- (一)、觀測資料的品質必須嚴加控管，一旦有不好的觀測資料被加入STMAS分析時，會出現異常的結果。
- (二)、模式地形與測站實際高度的差異必須被調整，由分析發現測站高度與模式地形可以相差500公尺以上，必須透過靜力關係進行調整。
- (三)、更多海上或陸上觀測資料的引入。在美期間要嘗試引入QuikSCAT衛星反演的海表面風場，以解決海上大部分風場缺乏的問題。但很不幸的在2009年底，QuikSCAT衛星已經宣告故障，因此這些寶貴資料也就此中斷。

(四)、模式背景風場與觀測風場的間的關係，目前觀測的風場是10分鐘的平均風場，美國地區則是以1分鐘的平均風作為標準，但模式背景風場所代表的是模式瞬間的風場輸出，此風場比較接近哪種標準仍沒有被有效的檢驗。

二、在STMAS-2D設計的理念及OSE實驗中發現，觀測資料的品質與量對於分析結果都是很重要的，尤其在複雜地形上與海陸交界處。基於這些原因，在目前台灣陸地上大部分的區域因為有比較密集的觀測網，使得STMAS-2D分析方法確實可在大部分的陸上區域提供可靠的Ground truth。但對於地形變化很大的地方，如台北盆地內外側，或者高度依賴模式背景場的海上仍存在相當大的不確定性。尤其是針對颱風這種劇烈天氣的個案，這種不確定性會更加明顯。

三、增加各種觀測資料的可能性，包括QuikSCAT反演地面風場或其他的遙測資料，雷達觀測徑向都卜勒風場，或更多的合作測站觀測資料等。

四、未來STMAS將提供在地表上多變量的分析，因此可以解決目前直接的分析STMAS-2D單一變量分析的缺點，並可加入如雷達都卜勒風場等觀測變量，甚至導入大氣的質量與動量平衡條件，以增進分析結果的穩定性與可靠度。

五、在美期間也與STMAS分析系統主持人謝元富博士詳細討論加入颱風同化的可能性，並期望颱風的分析在不久的未來可以有更好的方案，主要的概念可參考連(2009)，其中重要的想法如下：

(一)、在STMAS三維或四維的多變量分析中進行颱風的同化技術，並加入某些約束條件(非線性平衡等)以期能達到動量及質量上的平衡。

(二)、可同化颱風發生時例行的觀測資訊，其中可能包含颱風位置、颱

風移速、暴風半徑、最大風速，甚至衛星與雷達反演變量，或飛機投落送資料等。

- (三)、在時間上提供連續變分循環分析，在下個時間使用上個時間的分析場進行預報的量場，使每次的變分分析可以在動力上更具連續性。

六、基於以上的結果，研擬具體建議如下：

- (一)、減少背景場使用2個時間內差的結果，更改本局NFS-15km輸出的時間間距，由目前NFS-15 km分析12小時的間距，增加至少至3小時，或者每30分鐘一次更新的背景場。
- (二)、使用模式地形與實際地形的差異，經靜力關係修訂進入STMAS的觀測資料分布，必要時可在分析場中反求至測站高度上得到測站上的Ground truth觀測變量。
- (三)、增加更多的可用的觀測資料(包括水利署的合作測站、衛星遙測反演資料)，以提升STMAS分析的可靠度。
- (四)、設定更好的觀測資料監控機制，做好觀測資料的品管，以確保進入STMAS分析的資料品質。
- (五)、持續與美方合作發展沿地形(σ)座標上，新的2維多變量分析方法可以暫時解決地面分析場間的動力平衡問題。
- (六)、長期展望則是發展STMAS的颱風同化技術，以連續更新的方式，持續進行變分分析，並在過程中充分同化颱風觀測中非模式變量的觀測資訊，如颱風位置、移速、暴風半徑、最大風速、衛星與雷達反演變量等。

參考文獻：

- 吳俊傑、葉天降、陳得松、黃康寧，1998：颱風數值預報模式改進研究（二）。交通部中央氣象局委託計畫成果報告。
- 吳俊傑、顏自雄，1999：賀伯颱風(1996)之 MM5 數值模擬。第六屆全國大氣科學學術研討會論文彙編，155-160。
- 吳俊傑、黃葳芃，2000：芙蘿颱風(1990)的數值模擬研究：初始資料及初始化方法影響之探討。大氣科學。
- 連國淵，2009，颱風路徑與結構同化研究—系集卡爾曼濾波器。台灣大學碩士論文。
- 葉天降、陳得松、黃康寧、彭順臺、謝信良，1999：颱風路徑數值預報模式初始場處理：兩種方法對模式預測誤差之比較。大氣科學，171-189。
- 謝旻耕，2008：中美合作—氣象資料分析及顯示技術轉移，中央氣象局出國實習報告。
- Huang, K.-N., C.-C. Wu, and T.-C. Yeh, 1999: Impact of model initialization on typhoon track forecasting. Proc., 23rd Conf. On hurricanes and Tropical Meteorology. *American Meteorological Society*, Boston MA. 751-752.
- Kurihara, Y., and R. J. Ross, 1990: Prediction experiments of Hurricane Gloria (1985) using a multiply nested movable mesh model. *Mon. Wea. Rev.*, 118, 2185-2198.
- , ——, R. E. Tuleya, and M. A. Bender, and R. J. Ross, 1993: An initialization scheme of hurricane models by vortex specification. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2030-2045.
- , ——, ——, and ——, 1995: Improvements in the GFDL hurricane prediction system. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 2791-2801.
- Wu C.-C., and Y.-H. Kuo, 1999: Typhoon affecting Taiwan: current understanding and future challenges. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 1, 67-80.
- , T.-S. Huang, K.-N. Huang, and T.-C. Yeh, 2000: PV Diagnostics of the Impact of Model Initialization on the Performance of a Typhoon Prediction System. Proc. 24th Conf. On hurricanes and Tropical Meteorology. *American Meteorological Society*, Boston MA, 423-424.

Exp: CTRL

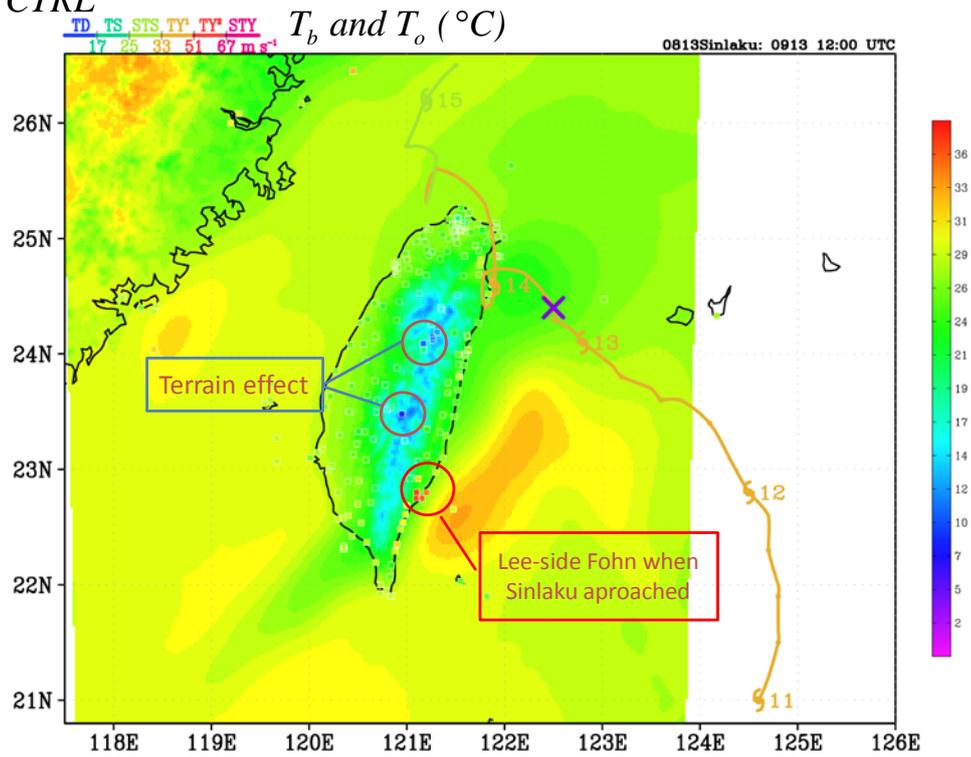


圖 1、2008 年 9 月 13 日 12:00 UTC 時，控制實驗中背景場溫度(T_b)與觀測溫度(T_o)，以及颱風辛樂克(2008)的路徑。

Exp: CTRL

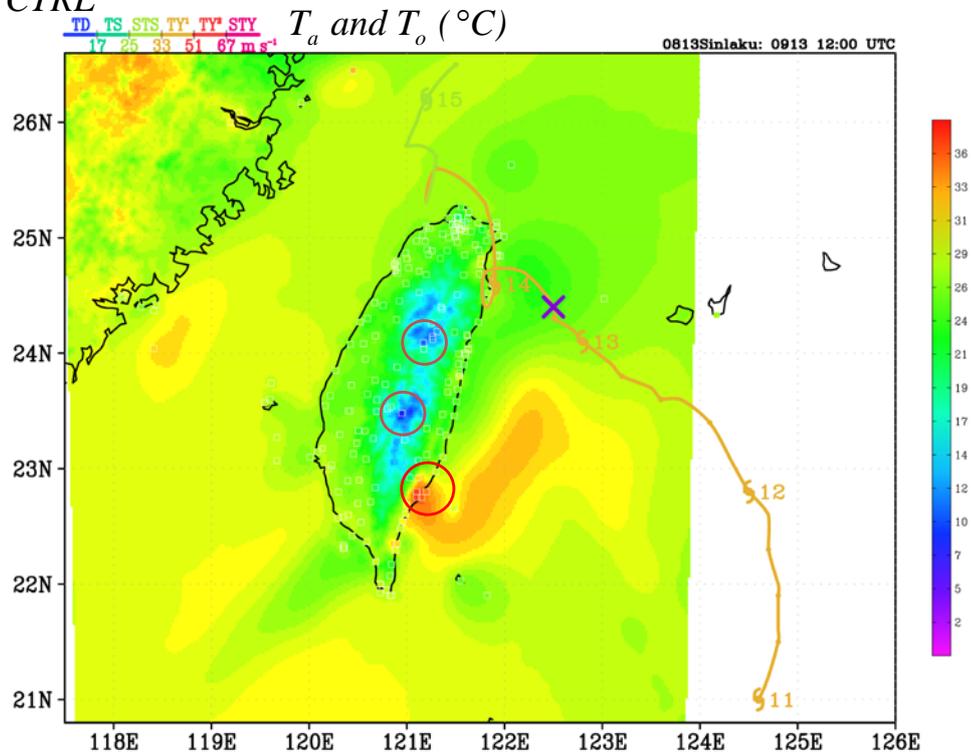


圖 2、2008 年 9 月 13 日 12:00 UTC 時，控制實驗中分析的溫度場(T_a)與觀測溫度(T_o)，以及颱風辛樂克(2008)的路徑。

Exp: CTRL

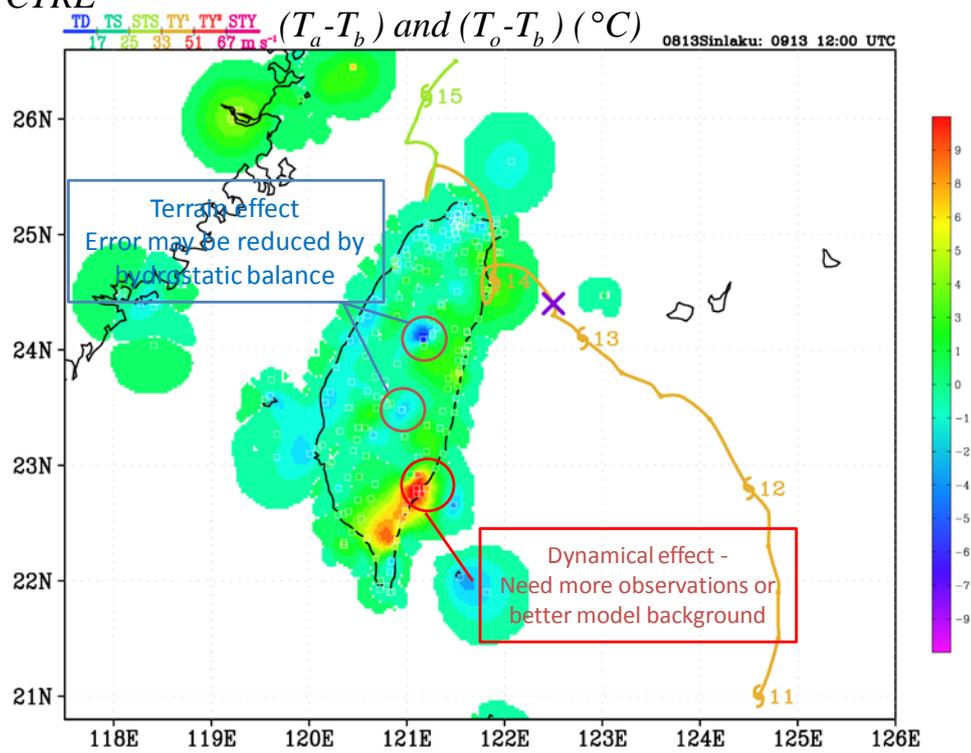


圖 3、2008 年 9 月 13 日 12:00 UTC 時，控制實驗中溫度場的分析增量($T_a - T_b$)與觀測增量($T_o - T_b$)，以及颱風辛樂克(2008)的路徑。

Exp: SHP

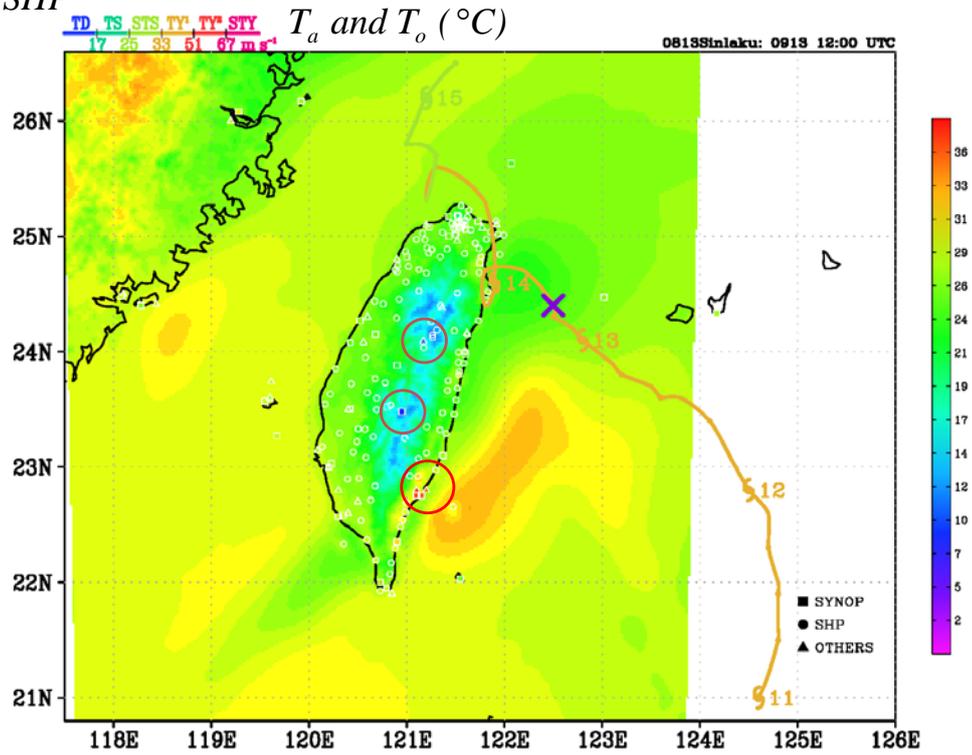


圖 4、同圖 2，但為實驗 SHP。

Exp: nSHP

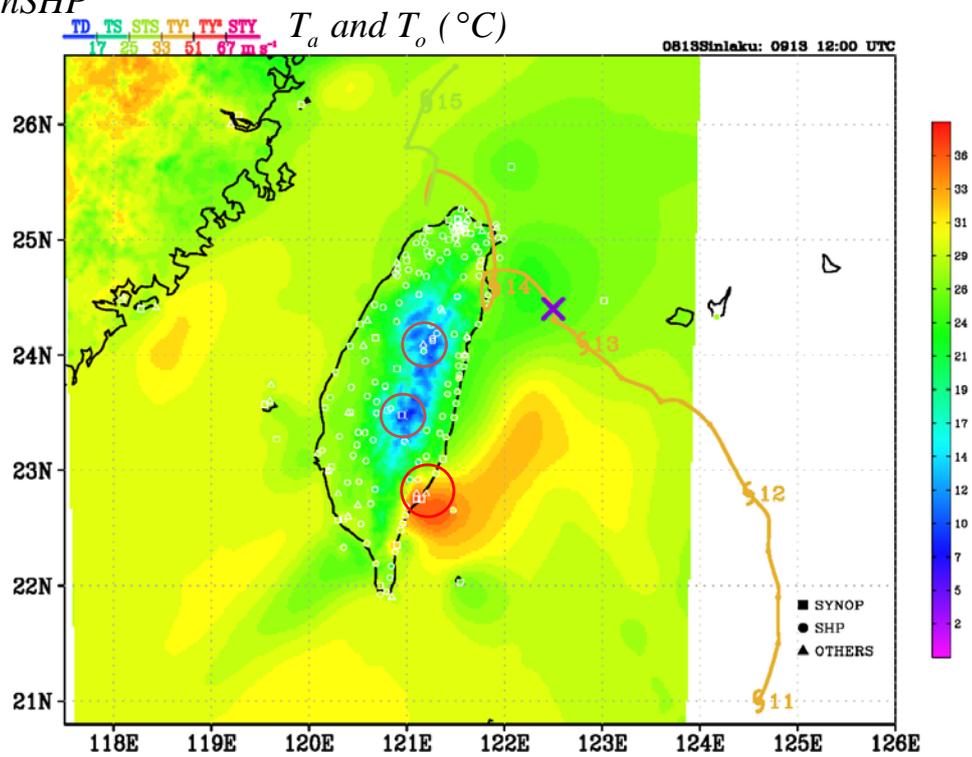


圖 5、同圖 2，但為實驗 nSHP。

15 km-resolution terrain for Taiwan vs station height

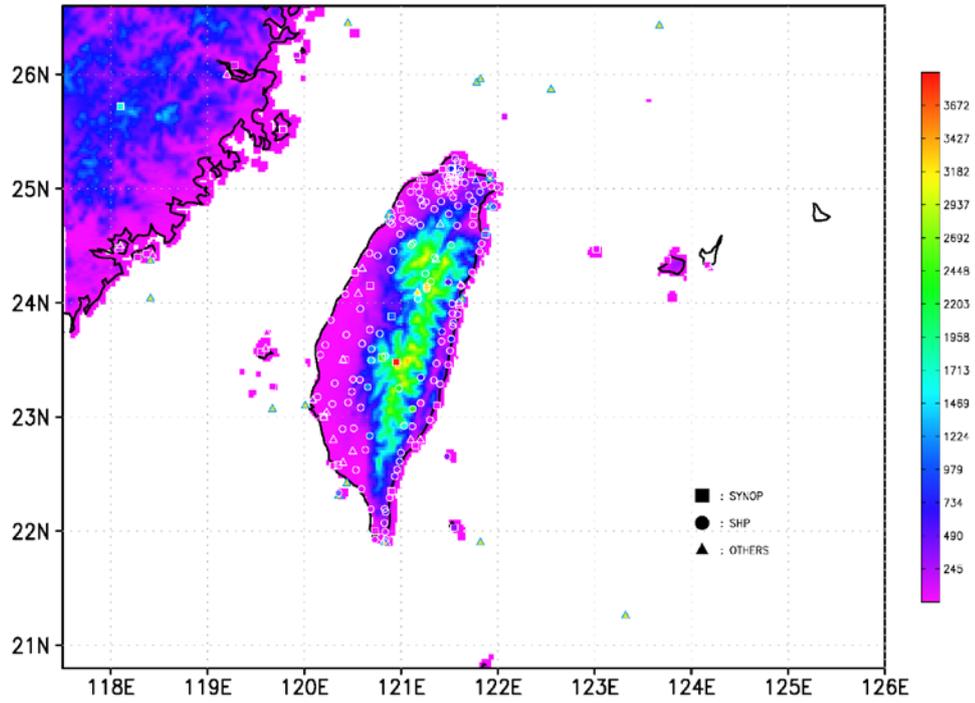


圖 6、NFS-15 模式 15 公里解析地形內插至 5 公里解析的背景場地地形與測站高度分布。

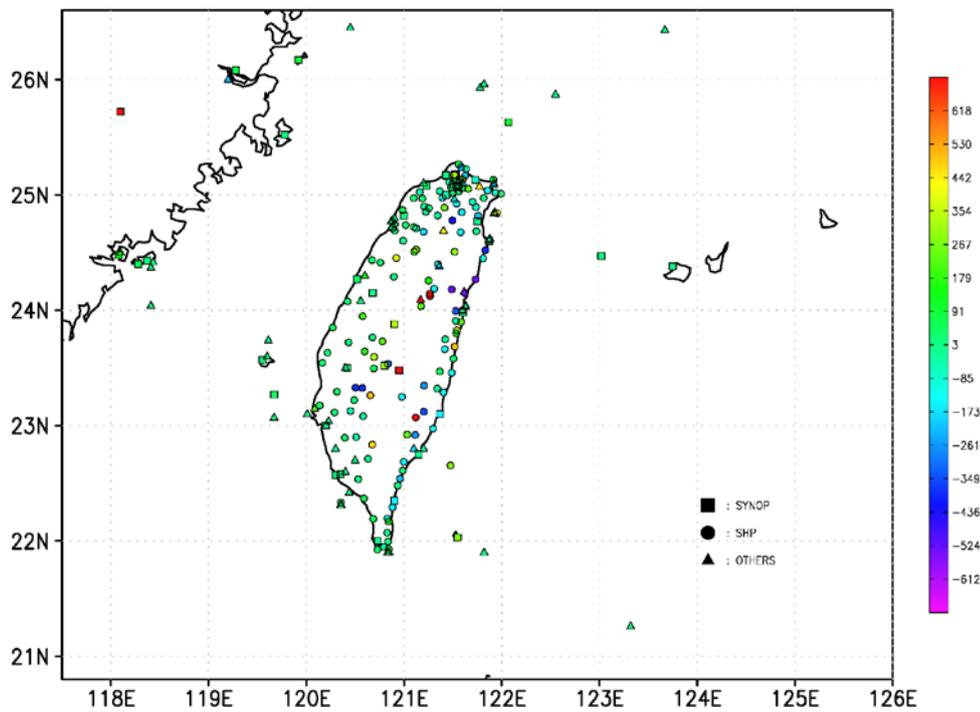


圖 7、背景場地地形與測站高度差異。

Exp: CTRL

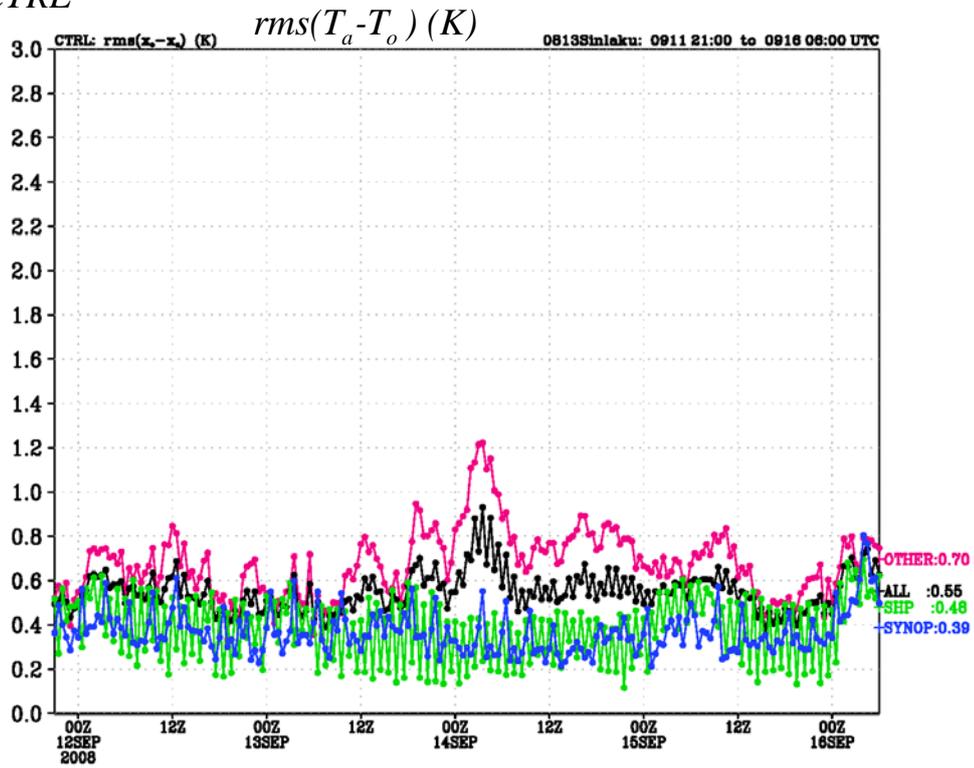


圖 8、控制實驗在辛樂克颱風警報期間，STMAS-2D 的溫度分析值與觀測值，在所有觀測點(ALL)、SHP 觀測點、SYNOP 觀測點與其他觀測點(OTHER)上的均方根(rms)誤差隨時間分布。

Exp: SHP

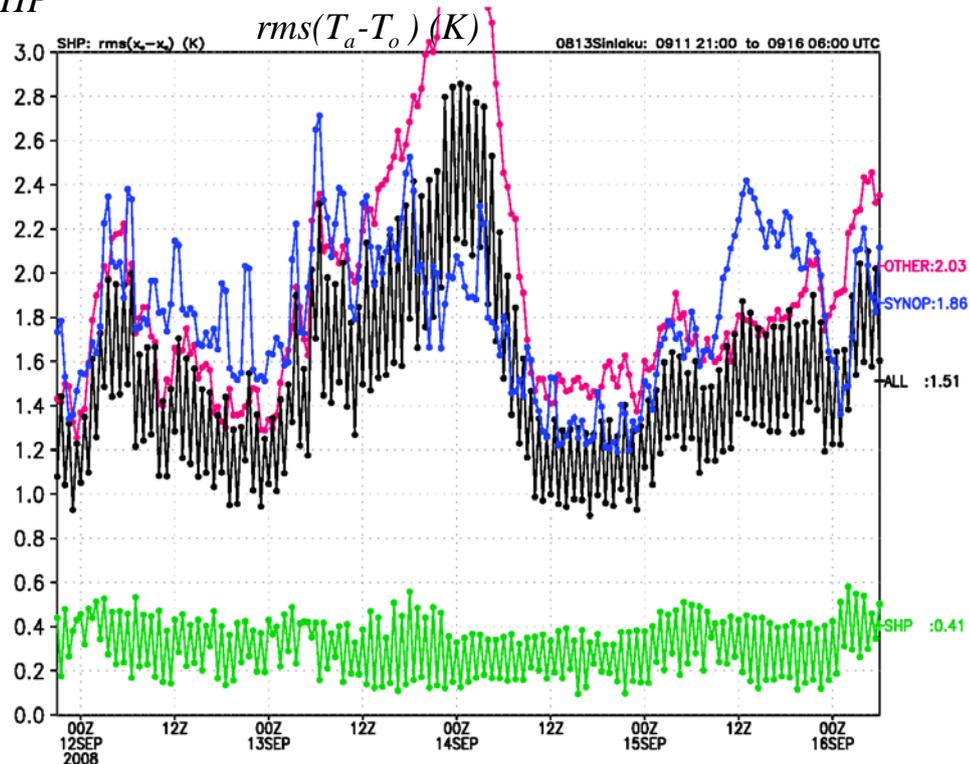


圖 9、同圖 8，但為實驗 SHP。

Exp : nSHP

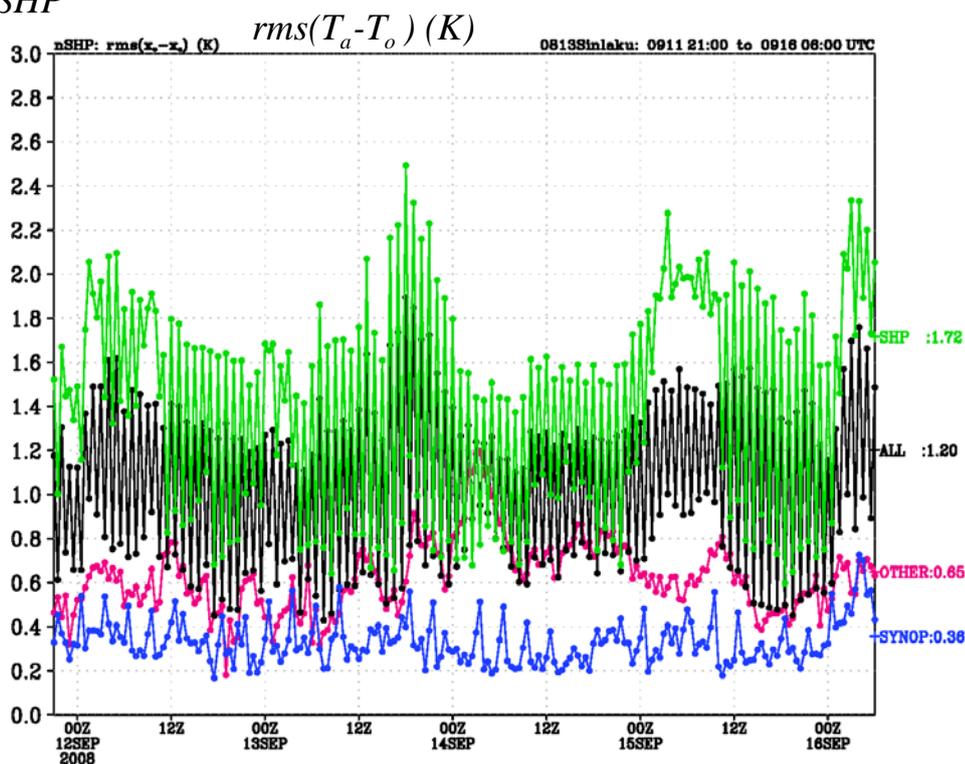


圖 10、同圖 8，但為實驗 nSHP。

rms error of temperature of typhoon Sinlaku (2008/09/11 21:00 to 16 06:00 UTC)

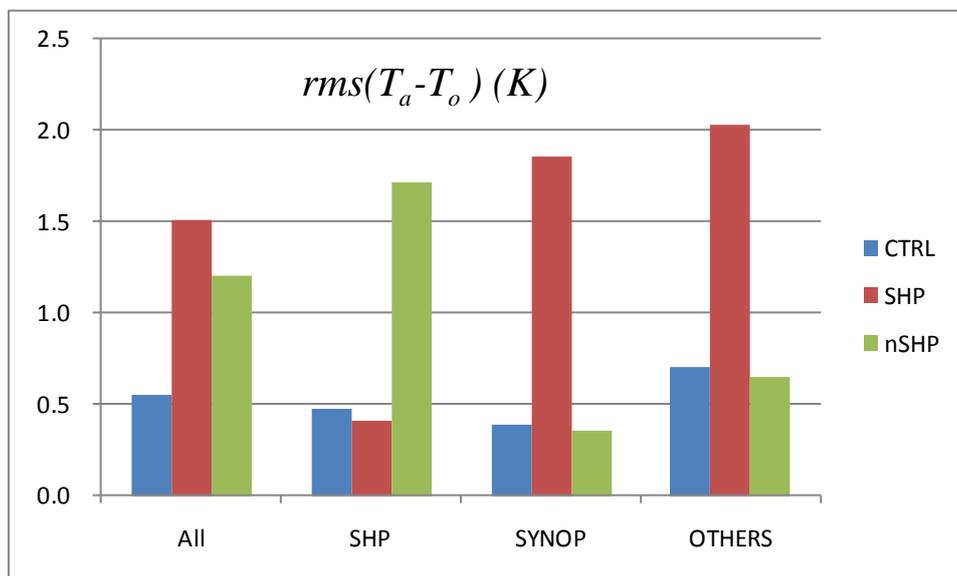


圖 11、控制實驗、實驗 SHP 與實驗 nSHP 在辛樂克颱風警報期間，STMAS-2D 的溫度分析值與觀測值，在所有觀測點(ALL)、SHP 觀測點、SYNOPSIS 觀測點與其他觀測點(OTHER)上的均方根(rms)誤差。

Exp: CTRL

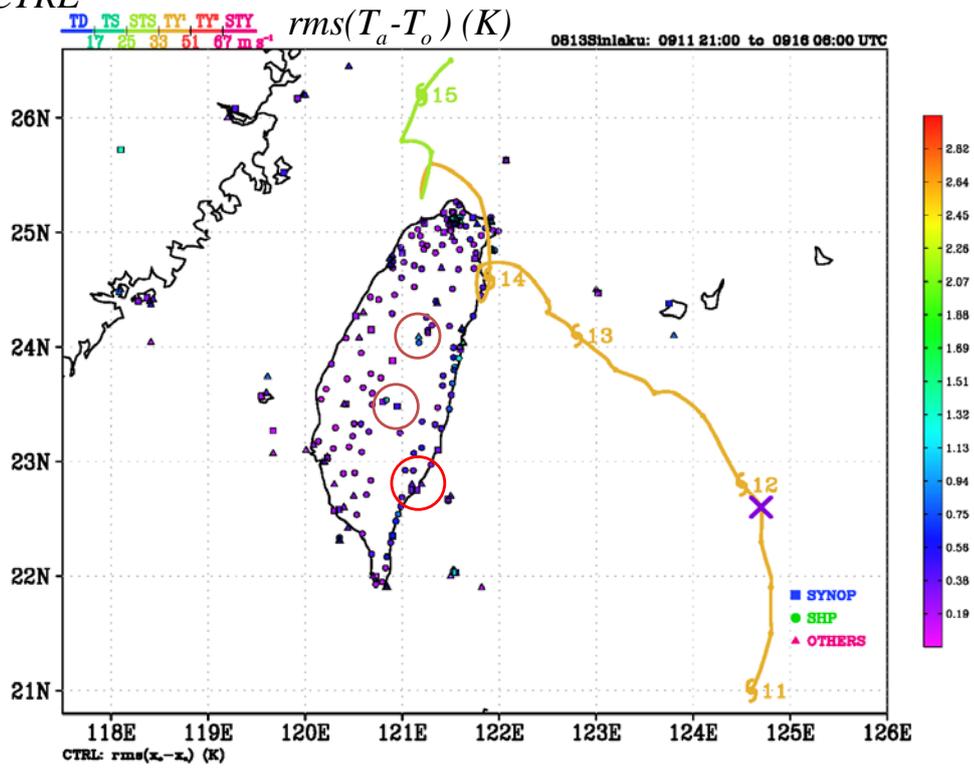


圖 12、控制實驗辛樂克颱風警報期間，STMAS-2D 的溫度分析值與觀測值在所有測站上的均方根(rms)誤差。

Exp: SHP

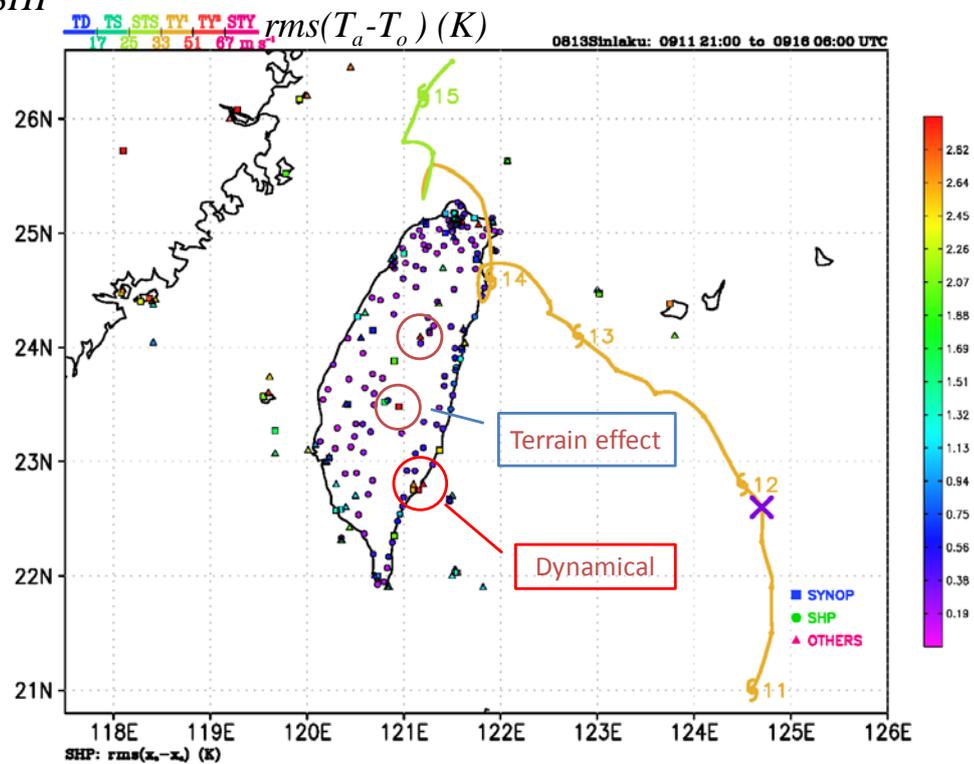


圖 13、同圖 12、但為實驗 SHP。

Exp : nSHP

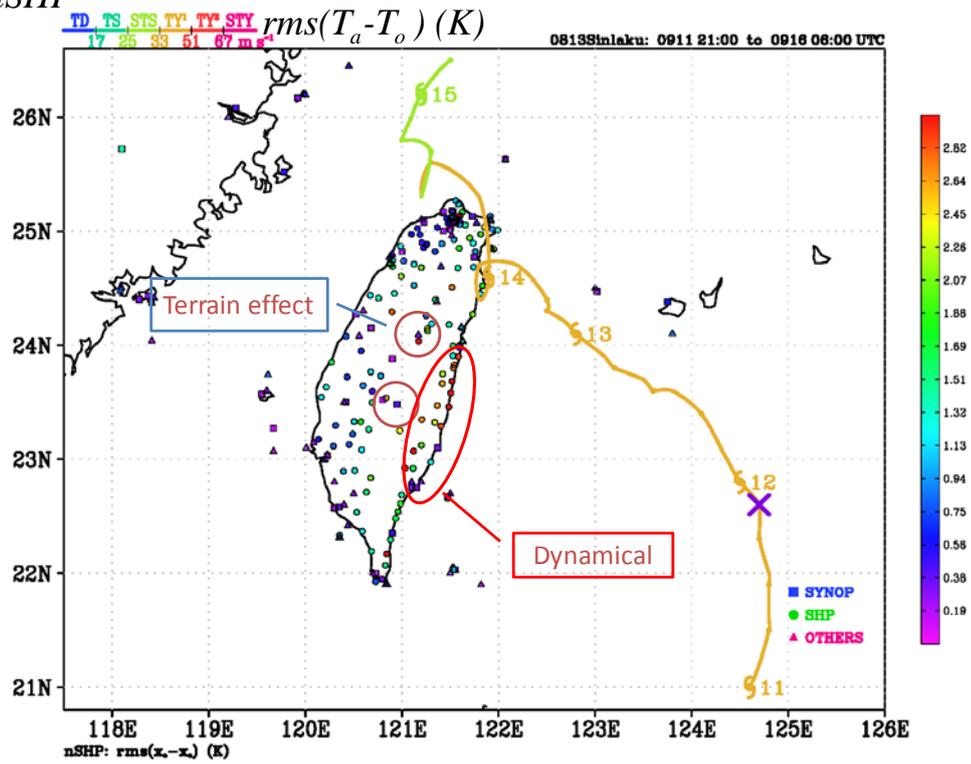


圖 14、同圖 12、但為實驗 nSHP。

Exp : CTRL

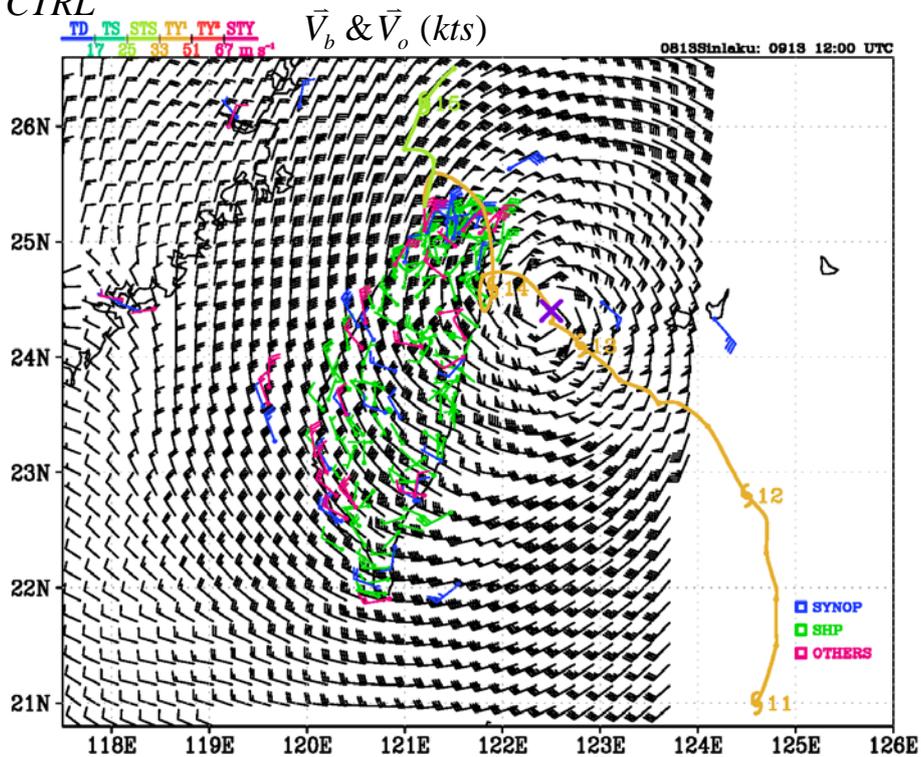


圖 15、2008 年 9 月 13 日 12:00 UTC 時，控制實驗中背景風場 (\vec{V}_b) 與觀測風場 (\vec{V}_o)，以及颱風辛樂克(2008)的路徑。

Exp: CTRL

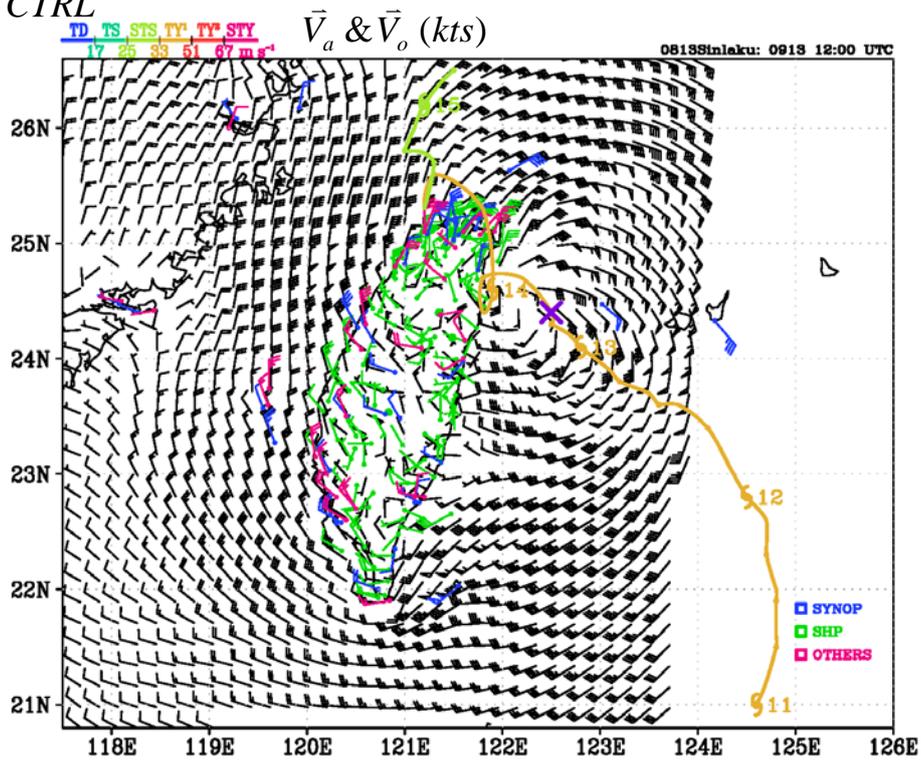


圖 16、2008 年 9 月 13 日 12:00 UTC 時，控制實驗中 STMAS-2D 分析風場 (V_a) 與觀測風場(V_o)，以及颱風辛樂克(2008)的路徑。

Exp: CTRL

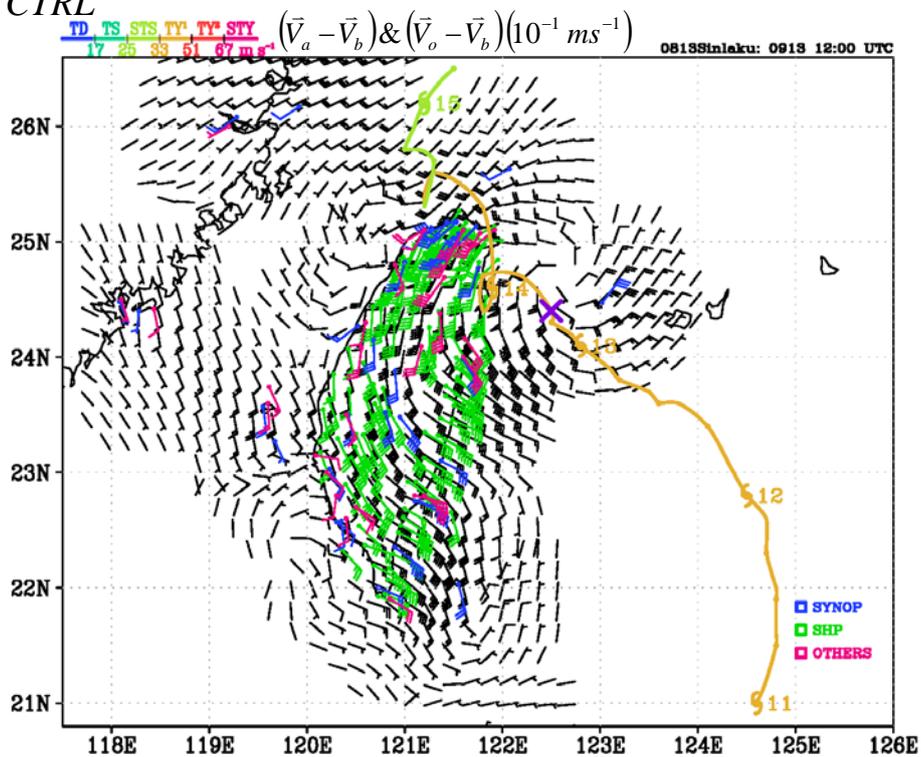


圖 17、2008 年 9 月 13 日 12:00 UTC 時，控制實驗中 STMAS-2D 分析風場增量 ($V_a - V_b$)與觀測風場增量($V_o - V_b$)，以及颱風辛樂克(2008)的路徑。

Exp : SHP

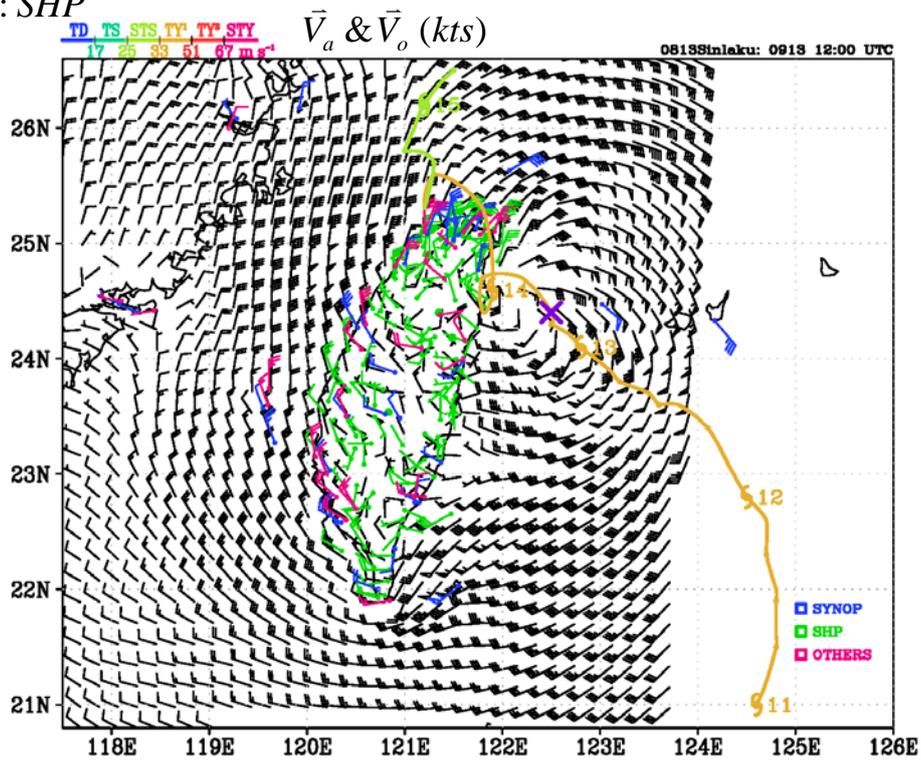


圖 18、同圖 16、但為實驗 SHP。

Exp : nSHP

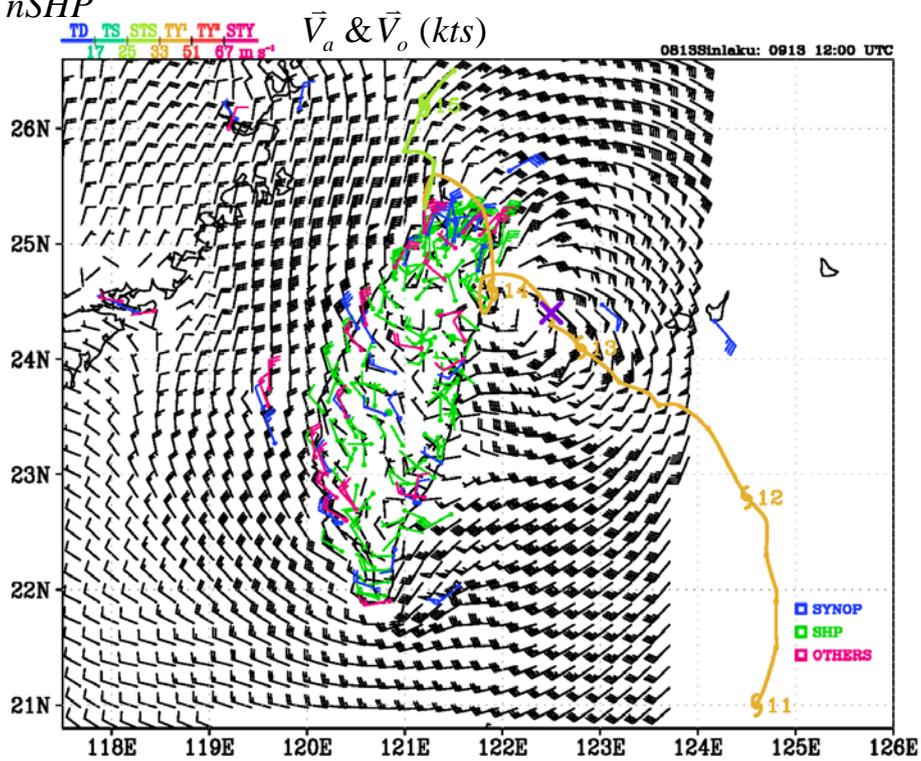


圖 19、同圖 16、但為實驗 nSHP。

Exp: CTRL

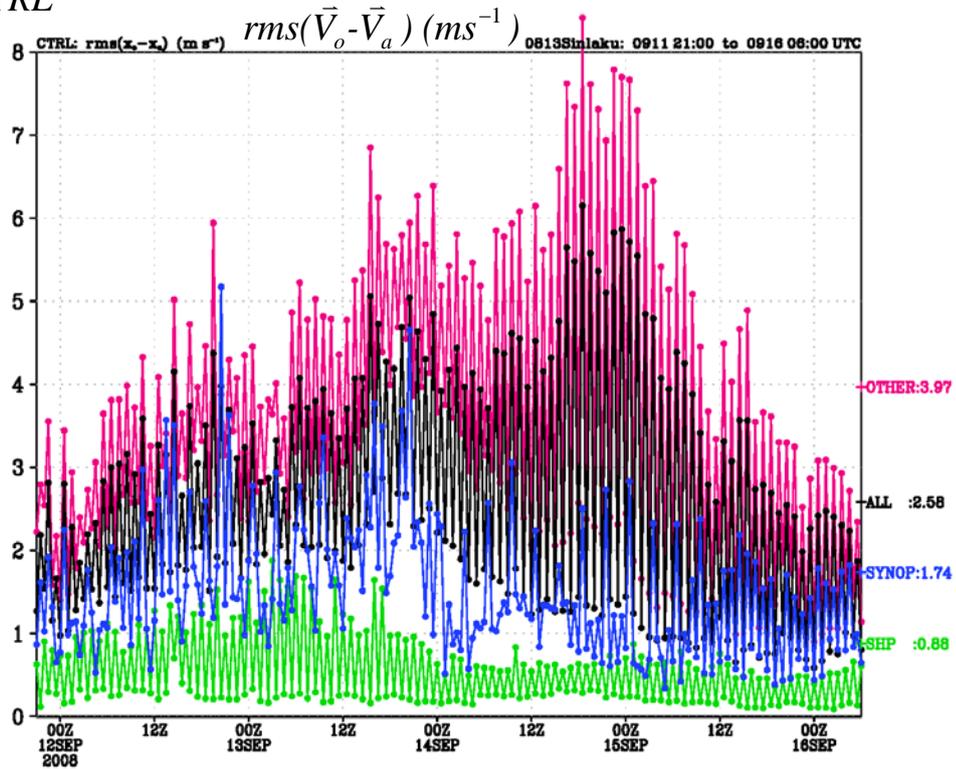


圖 20、控制實驗在辛樂克颱風警報期間，STMAS-2D 的風場分析值與觀測值，在所有觀測點(ALL)、SHP 觀測點、SYNOP 觀測點與其他觀測點(OTHER)上的均方根(rms)誤差隨時間分布。

Exp: SHP

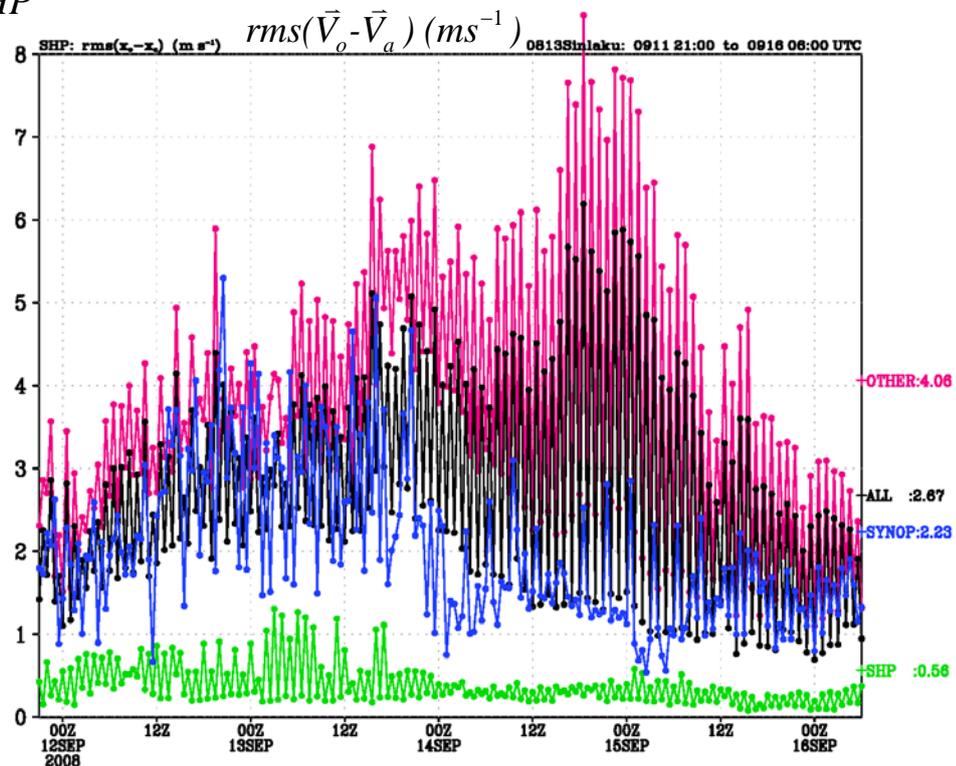


圖 21、同圖 20、但為實驗 SHP。

Exp : nSHP

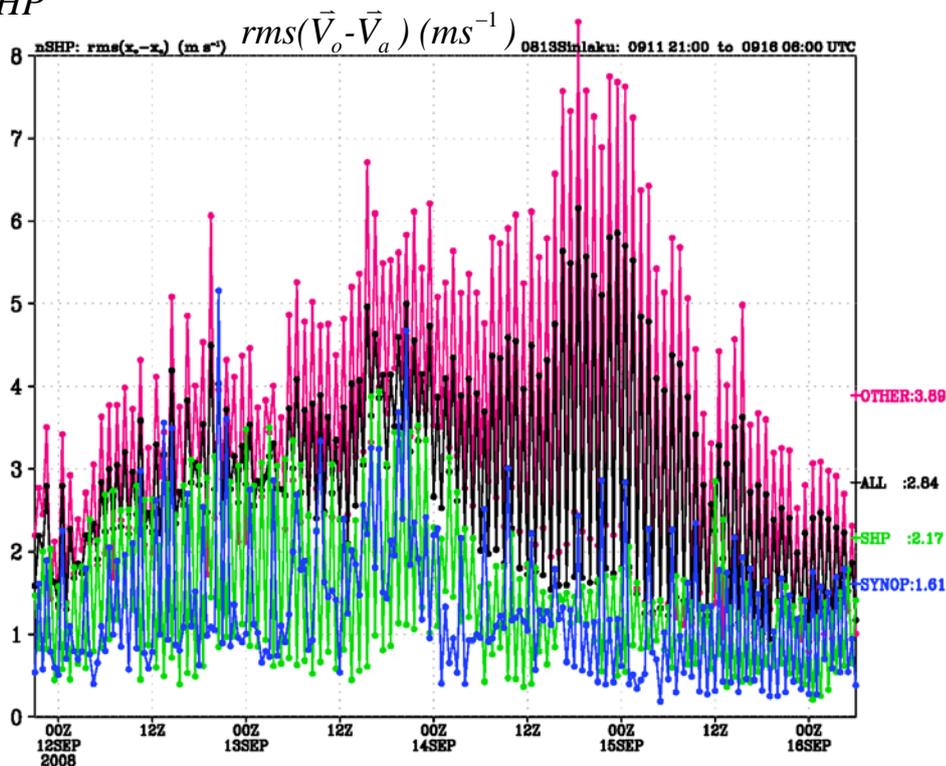


圖 22、同圖 20、但為實驗 nSHP。

rms error of wind field of typhoon Sinlaku (2008/09/11 21:00 to 16 06:00 UTC)

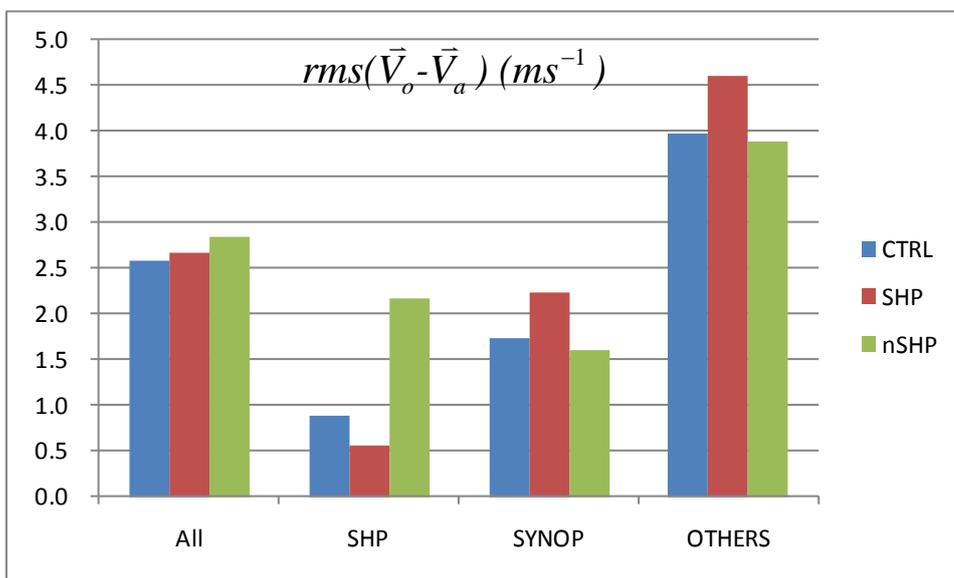


圖 23、控制實驗、實驗 SHP 與實驗 nSHP 在辛樂克颱風警報期間，STMAS-2D 的風場分析值與觀測值，在所有觀測點(ALL)、SHP 觀測點、SYNOPSIS 觀測點與其他觀測點(OTHER)上的均方根(rms)。

Exp: CTRL

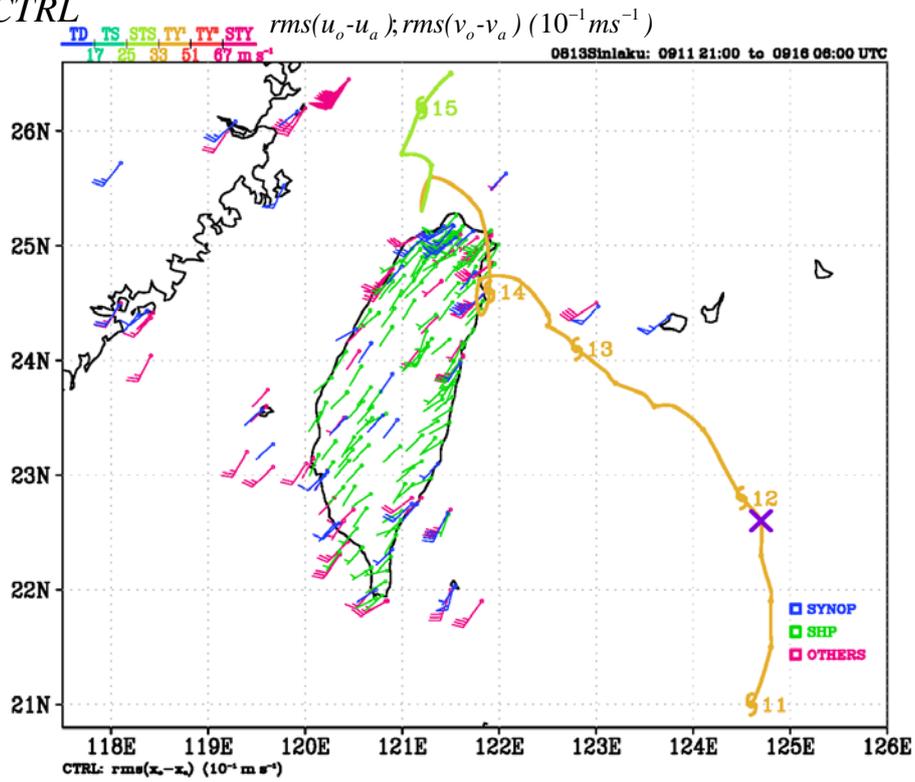


圖 24、控制實驗在辛樂克颱風警報期間，STMAS-2D 的風場分析值，在所有觀測點上的均方根(rms)誤差。

Exp: SHP

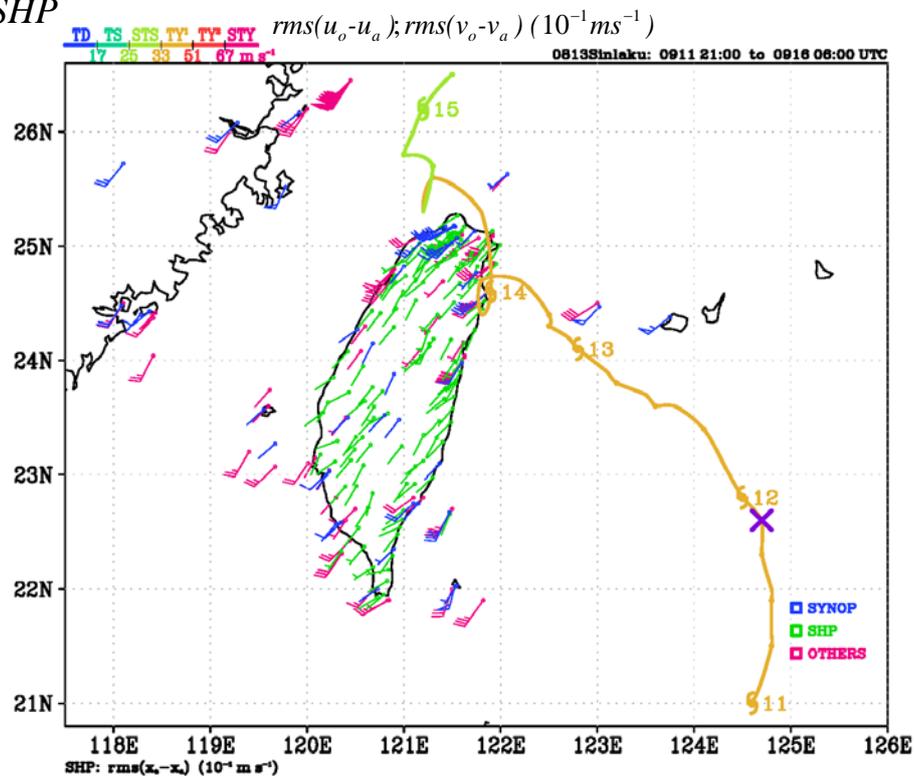


圖 25、同圖 24、但為實驗 SHP。

Exp : nSHP

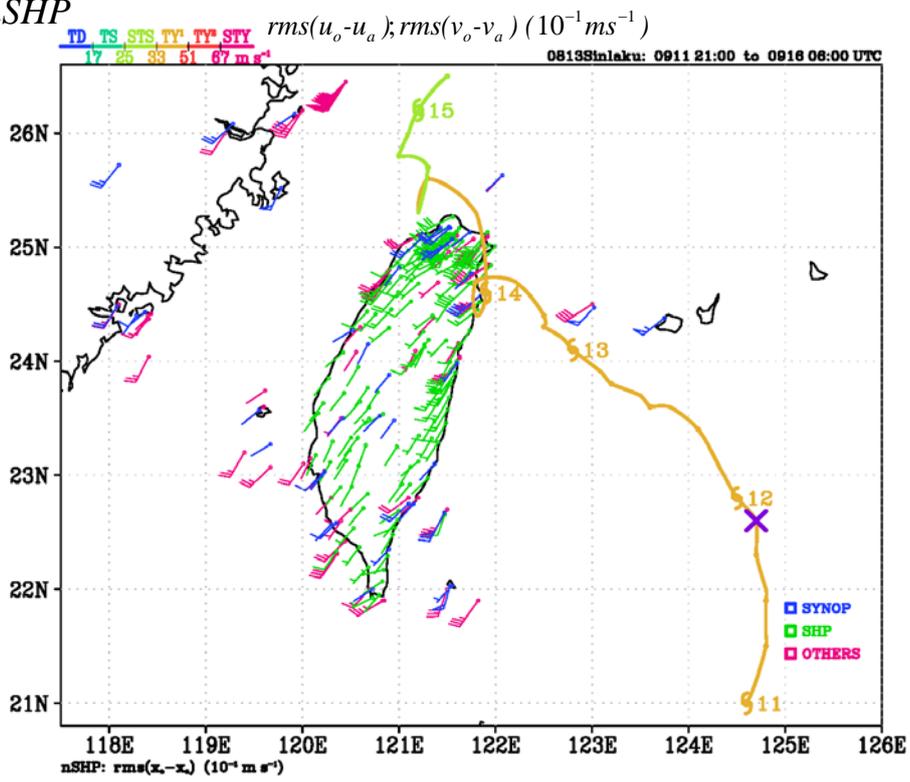


圖 26、同圖 24、但為實驗 nSHP。