

應用 WRF FDDA 同化衛星風以改善 WRF 模式颱風預報之研究

謝佳宏、陳得松、蕭玲鳳、葉天降

中央氣象局

摘要

由於颱風生命期大部分時間都位於洋面上，傳統觀測資料十分稀少，使得數值模式不易正確解析颱風結構及其附近大氣環流，導致數值模式對於颱風風雨、路徑及強度之預報有較大的困難。日本新一代氣象同步衛星 Himawari 8 於 2015 年 7 月初正式運行，其搭載儀器之觀測能力比起上一代同步衛星 MTSAT-2，時空解析度均有 2 倍以上的提升，進而可提供高時空解析度衛星風資料。近年來本局之數值颱風路徑預報技術已有長足的進步，但對於颱風風雨之數值預報仍有待改善，而優化數值模式對颱風結構及其附近環流之掌握，可有效改進模式對於颱風路徑及強度預報，進而提升颱風風雨數值預報技術。

WRF Four-Dimensional Data Assimilation (FDDA)技術為一種四維的資料同化技術，主要使用納進(nudging)的方法，在模式積分的過程中，以高頻率同化格點資料或不均勻分布的觀測資料。本研究將應用氣象局現有之 TWRF 數值颱風模式，以 FDDA 技術同化高時空解析度 Himawari 8 衛星風資料，此策略可透過數值模式積分過程在初始場中產生動力與熱力平衡且較真實之颱風結構，以改善數值模式之颱風預報能力。研究首先分析 Himawari 8 衛星雲導風資料的特性，並進行以 FDDA 同化單點及多點虛擬觀測資料測試，以及以不同設定進行的敏感度測試，最後將以近幾年的歷史颱風個案，評估 FDDA 同化 Himawari 8 衛星雲導風對 TWRF 颱風預報之效應

1. 研究方法

本篇介紹的是利用由中央氣象局取得的高時空解析度的雲導風資料，並且使用 WRF Four dimensional data assimilation (FDDA)來同化進這些觀測資料，來改善中央氣象局颱風數值預報系統 TWRF (Typhoon WRF)的初始颱風結構，TWRF 之水平解析度為 15(domain 1)公里及 3(domain 2)公里，WRF FDDA 是一種由 NCAR 發展的技術(Liu et al. 2008a; 2008b; Pan et al. 2015)，本篇的實驗使用 TWRF 模式，會在模式 major run 前的 partial run 過程中利用 WRF FDDA 將雲導風資料每小時同化進模式中，使得模式能夠向著觀測逐漸逼近。

1) High frequency AMV data

藉由專線傳送，中央氣象局可由日本氣象協會(JWA)直接即時取得向日葵8號衛星的衛星風觀測資料，向日葵8號衛星位於東經140度上空，相較於其取代的MTSAT衛星，它具有16個波段的頻道(3個可見光、3個近紅外光、10個紅外光頻道)，可見光波段的空間解析度為0.5公里、1公里，而紅外光為2公里，時間解析度方面最大可達10分鐘，中央氣象局可取得的是每小時一筆的資料。觀測資料採用高解析度的雲導風資料(AMVs)作為動力場，同化方法則使用WRF FDDA，在進行同化之前我們必須先進行資料格式的轉換、資料的稀化(thinning)。圖1為向日葵8號衛星在2017/9/11 1210~1310 UTC的雲導風風場，表1則為向日葵8號衛星雲導風的統計資料，可以發現在400百帕以上的高度有較多的雲導風資料，600~800百帕則比較少。

2) FDDA

DDA 為一種四維資料同化，使用名為納進 (nudging) 的數值方法，將觀測資料加入模式當中，其特性為簡單快速且使用計算資源少，不需要使用如 3DVAR 的 Error covariance，由於其方便性，FDDA 可作為一種即時的 (real time) 四維資料同化，意即將觀測資料隨每個模式預報時間步階將資料加進模式當中，增加同化的頻率而又不會過度使用電腦資源。

Nudging 方法一共分為兩種 (Anthes 1974; Hoke and Anthes 1976; Stauffer and Seaman 1990; 1994; Liu et al. 2006)，一種為網格點 nudging，另一種為觀測點 nudging，前者將網格點資料 nudge 進模式，後者將觀測點資料 nudge 進模式。WRF FDDA 能夠使用兩種 nudging 方式，nudging 基本上使用於模式預報初始化的階段，約 6~12 小時。Nudging 能使用於風、溫度或是水氣壓，在本文的實驗中，我們只使用衛星雲導風資料作為 FDDA 的觀測，FDDA 所使用的公式為：

$$\frac{\partial q\mu}{\partial t}(x, y, z, t) = F_q(x, y, z, t) + \mu G_q \frac{\sum_{j=1}^N W_q^2(i, x, y, z, t) [q_o(i) - q_m(x, y, z, t)]}{\sum_{i=1}^N W_q(i, x, y, z, t)}$$

上式左邊為 nudging 趨勢項， q 為要被 nudging 的變數， μ 為乾的靜水壓力， F_q 為 q 的模式物理的趨勢項， G_q 為 nudging strength 項， N 為觀測的總數， W_q 為時間及空間上的權重函數，是基於觀測與模式點的時間空間距離而得， q_o 為該變數的觀測值， q_m 為該變數在模式中位於觀測點位置之內插值， $q_o - q_m$ 為 innovation，innovation 值會隨時間改變而更新，nudging 趨勢項也會隨靠近觀測愈來愈小。(WRF Observation Nudging Guide, 2016)

利用 WRF 內建的 FDDA 系統，其設定項目的部分內建在 namelist 當中的 \$fdda，欲使用 fdda 的各種控制選項，需先設定 obs_nudge_opt = 1，obs_rinxy 為水平的影響半徑，代表一個觀測點在水平方向上所能影響的極限範圍是多少，在範圍內的權重函數為 $W_{xy} = (RIN^2 - DIST^2) / (RIN^2 + DIST^2)$ ，RIN 為設定的水平影響半徑，DIST 為某一影響半徑內的模式點與觀測點的距離，垂直方面雖然 namelist 當中有 obs_rinsig 這

個表面上控制垂直影響半徑的變數，但實際上其為無效變數，由 WRF Observation Nudging Guide，垂直影響半徑設定為 75hPa，意即一個非地表、非探空的觀測點只會影響其上下 75hPa 內的資料，其權重由與觀測點同氣壓層的 1 線性遞減到距觀測 75hPa 的 0。除了空間上的影響項目外，WRF FDDA 也內建了 obs_twindo 決定觀測資料的時間影響窗區，代表觀測資料時間上能夠影響的範圍，在觀測資料半個窗區內，權重函數為 1，半個窗區至一個窗區的資料，則向外線性遞減至 0，本實驗設定為 40 分鐘。

另外，obs_ionf 則是控制 nudging 項的更新頻率，值愈小代表更新愈頻繁，nudging term 會隨著模式值與觀測值愈接近而愈變愈小。更新的愈頻繁則會使 nudging 作用對模式影響更平滑，但會增加電腦資源的使用，但是若設定值過大，則會使模式的不穩定增加，因為這代表積分過程中，nudging 項的作用長期不變，即使模式值已經與觀測值很接近，但 nudging term 還是之前模式值與觀測差異很大時的狀態，造成過度修正。本實驗使用的 obs_ionf 為 6，代表每 6 個粗網格時間步階更新一次 nudging 項，設為 6 時，因粗網格時間步階為 1.5s，1.5*6 代表 nudging 項每 9 分鐘更新一次。

2. 實驗設計

1) 單點測試

為確認 FDDA 正確無誤的執行，並了解 FDDA 的一些特性，首先我們進行一系列的測試。測試進行方式主要會以一個或多個人工決定其值的觀測風資料點，將其放在特定的位置上，本實驗使用的測試模式為 TWRF2.0 版本，為前年的上線版本，在不做任何其他資料同化情形下，進行模式預報 6 小時，並分析其結果。

第一個測試為單點的測試，先做出一個與初始環境場有一定差異的風觀測資料，該點位置示意圖如圖 2，該觀測的數據為 $U=15\text{m/s}$ ， $V=-10\text{m/s}$ ，位置在 25°N ， 130°E ，垂直位置 700hPa，接著模式開始預報，並在開始預報之後每一小時，利用 FDDA 同化進該觀測風

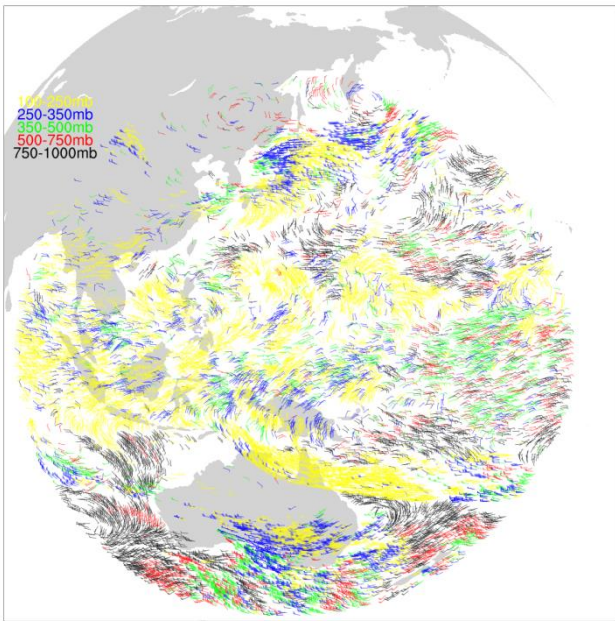


圖 1.2017/09/11 1210~1310UTC 的向日葵 8 號衛星的雲導風(AMVs), 圖中包含不同頻道(紅外、水氣、可見光)及不同高度, 不同顏色的風標代表不同高度

2017/09/11	12Z	13Z	14Z	16Z	17Z	18Z
100-250hPa	6867	6901	7470	6704	6527	6653
250-350hPa	3002	3134	3432	3272	3250	3378
350-500hPa	2337	2401	2263	2419	2355	2306
500-750hPa	1588	1621	1357	1721	1684	1733
750-1000hPa	3586	3598	1872	3621	3825	4198

表 1. 向日葵 8 號衛星雲導風資料在不同高度的分布, 縱列表式不同時間, 橫列表式不同高度

資料, 該觀測資料的位置、風向及風速值保持不變, 接著同時進行另一組未進行 FDDA 的對照組實驗, 這個實驗主要是要確認 FDDA 的作用是否有發揮。預報 6 小時後, 將它們的預報場相減(FDDA-NOFDDA), 結果如圖 3 所示, 在第 1 個小時即可看出明顯的差異, 由同化資料的點向外 3 個經度的半徑內, 可以發現西北風的差異量, 圖中箭頭為風速大於 0.05m/s 的地方, shaded 為溫度差異量, 而此時的溫度差異量還很小, 但已經可以看出在觀測周圍有明顯的冷平流(圖 3 中觀測點的西北方有冷差異量)。接著隨時間的推進, 到了第 4、第 5 小時, 風的差異量越來越明顯, 溫度差

異量也越來越大, 可以看出觀測點東南區域出現了 0.5 度以上的差異。

表 2 則表示了每小時在模式中與觀測點最接近位置網格點輸出的風速值, 可以看到輸出的結果向著觀測接近的趨勢, 可以看到初始場 U 大約為 10.7m/s, V 大約-6.7m/s, 隨著積分過程, 風速值也和觀測越來越近, 在 5 小時過後, U=14.7m/s, V=-9.3m/s, 值得注意的是, V 值在第 3 小時後, 已經達到-9.5m/s, 在第 4 小時, 值反而退回(遠離觀測)到-9.2m/s, 在第 5 小時又來到-9.3m/s, 這可能和模式場的變化有關係, 可以看到在第 3 小時的 NOFDDA, 其值相對於第 2 小時是偏離觀測點的, 第 4 小時偏得更遠, 這可能也是為什麼 FDDA 值會偏離觀測值的原因, 可以看到 U 直到第 5 小時也並沒有與觀測完全吻合, 而是差了 0.3m/s, 主要是因為模式的物理機制仍然對結果有一定程度之影響。

另一個測試為多點的測試, 先選定一個 0.6°x0.6° 範圍, 在範圍內分別等距離放置 9 個觀測點與 49 個觀測點, 放置 9 個觀測點的實驗其以 3x3 放置觀測點, 與相鄰觀測點相距 0.3°, 49 個觀測點的實驗則以 7x7 放置, 相鄰觀測點距 0.1°, 這些觀測點的風速資料及放置高度及時間都和前個實驗相同, 水平位置則是將選定範圍的中心點放置在和前個實驗相同的位置, 其構成如圖 4, 這個實驗設置的目的主要在於了解觀測點密度差異是否對模式結果影響很大, 也會影響之後我們對於 QC 及資料稀化方法採用的決策。結果如圖 5 所示, 這張圖為兩個實驗(9 點與 49 點)第 5 小時預報結果的差異量, 圖中顯示無論是溫度差異量, 或是風的差異量, 都十分的小, 表示兩者的結果差異並不大, 因此, 即使暫時不做額外的資料稀化, 也不會對結果造成很大的差異。

2) 實際個案測試

在真實案例測試的部分, 我們先以 2017 年 9 月的泰利颱風做為測試的個案, 氣象局對於泰利颱風的最佳路徑分析如圖 6 所示。各家氣象機構在一開始時, 原本預測會直向西北登陸台灣, 然而颱風最後在台灣東部外海時發生路徑偏轉, 轉向東北往日本前進, 氣

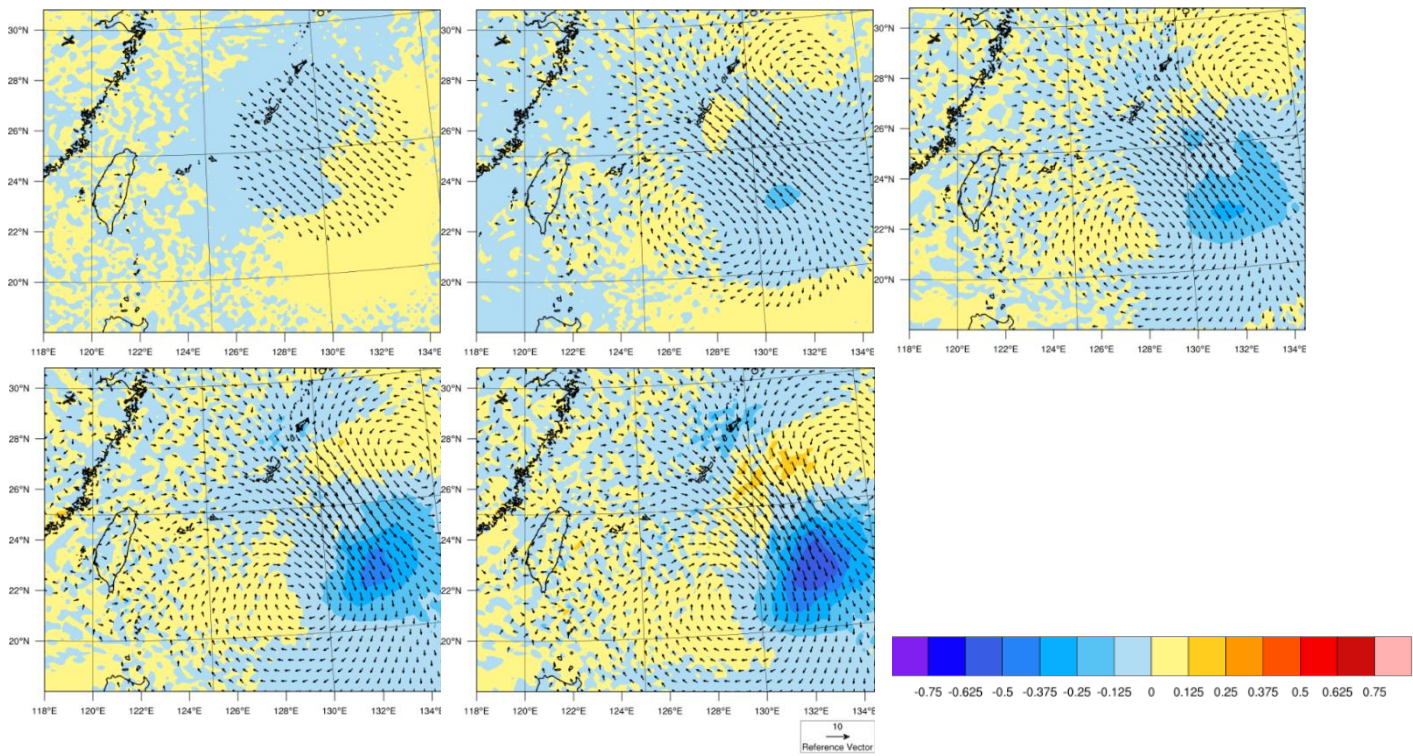


圖3.單點測試結果差異變化時序圖，圖中為FDDA與CTL輸出值的差，由左上依序為預報後第1、第2、第3、第4、第5小時的700hPa輸出風場差及溫度場差，向量為風場差，參考風標單位為(m/s)，只顯示風速差值0.05m/s以上的值，shaded為溫度場差，xy座標為經緯度。

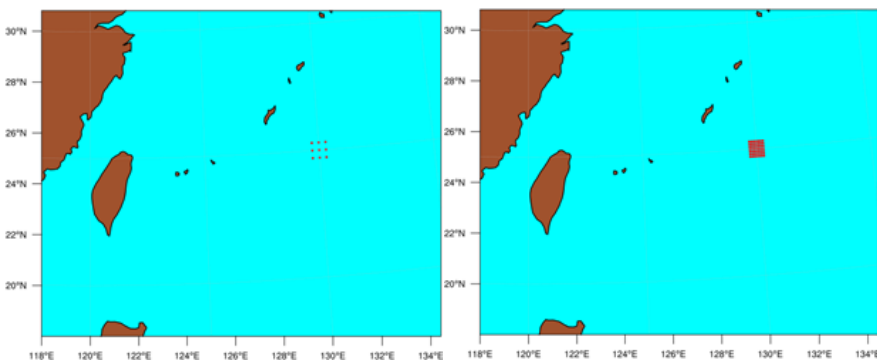


圖4.多點測試觀測資料位置示意圖，紅點為放置觀測的位置，左圖為9點實驗，右圖為49點實驗。

u 風速	FDDA	CTL	v 風速	FDDA	CTL
0	10.7346m/s	10.7346m/s	0	-6.77772m/s	-6.77769m/s
1	11.7062m/s	10.2663m/s	1	-7.52101m/s	-6.5586m/s
2	13.5637m/s	9.81963m/s	2	-9.31248m/s	-6.23865m/s
3	14.0523m/s	9.79587m/s	3	-9.55678m/s	-5.99846m/s
4	14.1502m/s	9.79568m/s	4	-9.23695m/s	-5.31761m/s
5	14.6973m/s	10.5945m/s	5	-9.33467m/s	-5.33614m/s

表 2. 單點測試放置觀測點位置的模式值，左表格為 u 風速，右表格為 v 風速，左邊數來第一欄表示開始預報後第幾小時，第二欄為 FDDA 之輸出值，第三欄表示 CTL 輸出值。

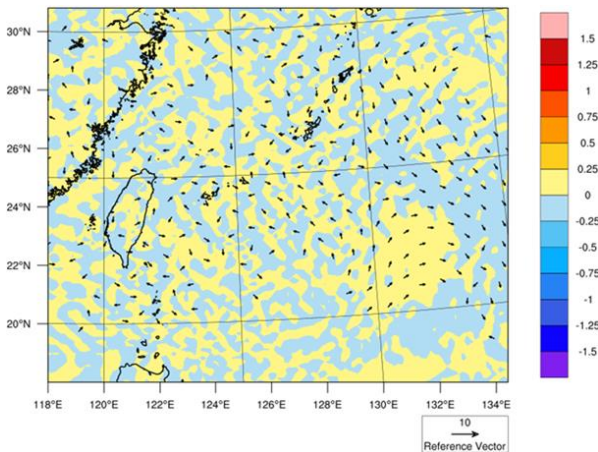


圖 5. 多點測試第 5 小時結果差異圖，其結果為 9 點測試與 49 點測試輸出值的 700hPa 風場及溫度場差，向量為風場差，參考風標單位為(m/s)，只顯示風速差值 0.05m/s 以上的值，shaded 為溫度場差，xy 座標為經緯度。

象局的區域模式颱風預報系統首先預測出向日本的路徑，最後各家機構也紛紛修正。本個案在不同模式預報有一定分歧度，很適合作為本實驗的測試個案，以評斷此方法對於預報能力的改進為何。

本實驗的作法，參考本部門的模式預報作業流程標準，模式的使用為今年 TWRP 的上線版本 TWRP2.2，先進行兩次 partial run，在進行 major run，每一 run 開始前，都會先用 Hybrid 同化觀測資料進初始場，第一次 partial run 為 6 小時的 cold start，初始場為 NCEP GFS，開始預報後，每小時以 FDDA 同化進 AMVs 的衛星風觀測資料，接著第二次 partial run 亦為 6 小時，初始場由前 cold start 的 wrf 輸出作為初始場，同樣在開始預報後，以 FDDA 每小時同化進 AMVs 的衛星風資料，最後再以其 wrf 輸出作為 major run 的初始場，預報 120 小時。同樣地，本次實驗也會有一個未做 FDDA 的對照組作為參考，在以下內容稱該個案為 CTL，而有做 FDDA 的個案則稱之為 FDDA。

為了瞭解做 FDDA 在實際個案測試中的效果如何，我們擷取了泰利颱風 2017/09/11 06Z 這個 case，想觀察 FDDA 相比於 CTL 的預報初始場到底靠近觀測有多少程度，我們將其初始場幾個主要高度的風場拿出來看，做了比對如圖 7，從圖中我們可以發現，在高

層的衛星風資料(200hPa)是最多的，圖中尤其颱風西北方的部分，可以看出有無 FDDA 的差異，FDDA 的結果被 FDDA 修正得更靠近觀測，且仍然保持模式風場的平滑，但是仍有部分區域受到觀測的影響較小，如圖中最東側中間的部分，可以看出該部分的觀測資料和模式風場差異是比較大的，500hPa 和 850hPa 的部分，觀測相比於 200hPa 少了很多，但仍可看出 FDDA 與 CTL 之間有不小的差異，這是因為環流的垂直層間的互相影響造成的，可以看出即使觀測資料並非均勻分布於整個模式，其影響仍可藉由模式積分與 FDDA 過程擴散到整個模式當中，造成結果的差異。

接著，分析預報後的結果，並將之與中央氣象局的 best track 分析(best track)如圖 6，結果顯示，CTL 與 FDDA(圖 8)預報路徑十分相似，惟到了預報 100 小時以後，開始出現一些的分歧，相比於 best track，CTL 登陸日本九州地區的位置比較偏南，FDDA 比較偏北，在預報 120 小時(2017/9/17/00UTC)的位置來看，CTL 和 FDDA 兩者都有移動速度預報過快的趨勢，但以一般模式預報 120 小時(5 天)的長期結果來看，還算是很準確的路徑預報。另外，泰利颱風在 14 日 6~12UTC 由原本偏西北轉為偏東北方向行進，CTL 和 FDDA 都很好地模擬出了轉向的時間點。強度的預報方面，中央氣象局的 best track 強度分析中，颱風最強時發生在約 13 日 18 時至 15 日 0 時，中心氣壓為 935hPa，CTL 的預報強度，在圖 7 右上方，可以看出最強時在預報 42 小時，也就是 13 日 18 時，為 922.3hPa，6 小時後變為 928hPa，並維持差不多的強度到 14 日 20 時，到了 16 日 08 時，中心氣壓還是低於 935hPa。FDDA 強度標示在圖 11 右上方，最強時在預報 54 小時(14 日 6 時)，和 best track 比較接近，中心氣壓為 929.5hPa，並維持差不多的強度直到 15 日 18 時，以最強強度的預報來看，FDDA 有較好的結果，但以整個預報時間的強度預報來說，兩者在前期都預報得較弱，後期都預報得較強。

由以上單一個案的結果，可以看出 FDDA 與 CTL 結果的差異，藉由 FDDA，我們得到相比於 CTL 更接

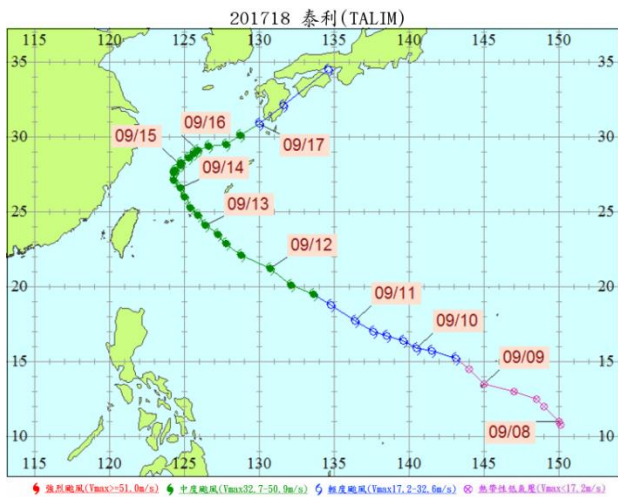


圖 6. 泰利颱風(201718)最佳路徑分析圖，由中央氣象局提供，每點間隔 6 小時，有標籤標示的時間為該日國際標準時間的 0 時。

近觀測的初始場，照理來說，FDDA 後的初始場較接近於觀測，應當能夠藉由較好的初始場得到較好的預報結果，因為只單由一個個案不能代表什麼，所以接著我們來看多個個案統計的結果。

表 3 是由共 14 個泰利颱風個案在 domain 1 和 domain 2 所統計出的平均路徑誤差，所有的設定與 2017/09/10 06Z 的測試個案相同，表中可以看出 FDDA 的結果平均而言較 CTL 為差，於是我們回到問題的起點，我們所想要 FDDA 改善的是颱風的結構，但我們卻取了整個 domain 的雲導風資料，於是我把颱風附近以外的雲導風資料去除，只擷取颱風周圍 8 度以內正方形區域的雲導風資料進行同化(圖 9)，並重新作預報，結果如表.3 的第三列所示，可以看出它的結果比起原本的 FDDA 好很多，與 CTL 很接近。

最後，我們使用擷取小範圍的 FDDA 做更多不同颱風個案的預報，除了 2017 年的泰利颱風外，又做了 2018 年的巴比倫、瑪麗亞、魔羯、山竹和潭美的預報，一共蒐集了 43 個個案，在這段時間，因為模式有作小更新，所以模式的設定可能不完全相同，但大致的設定不會改變。所有實際個案個案的路徑在表.4 表示，在 domain 1，FDDA(這裡和之後 FDDA 都代表小範圍的 FDDA)的表現整體而言在三天內的預報其實表現差異很小，在三天至五天的預報 FDDA 較 CTL 還要好一點，domain 2 兩者則幾乎沒有差異，由此可

知，FDDA 的作用對 TWRP 模式的改善有限，尤其在 domain 2 的部分。

3. 結論及未來工作

而本實驗目的在於，試驗及了解 WRF FDDA 的效能，最終目標是希望能夠藉由在預報前期以 FDDA 方案得到更好的初始場颱風結構，增加預報的準確度，在做 FDDA 前，必須先了解用 FDDA 同化進的向日葵 8 號衛星資料的分布，由圖 1 及表 1 可知，AMVs 資料以高層最多，低層次之，中層最少。

為了解 FDDA，由最初的單點測試可以知道，FDDA 的確能夠使得模式結果的風場向觀測風場趨近，並且其變異量也會隨著模式的積分逐漸向外擴散，模式 5 小時後結果雖然沒有與觀測完全相同，但也十分接近，其風速值在很接近觀測點風速值時，會發生震盪的現象，之所以無法完全相等於觀測值，可能和模式本身物理造成的 forcing term 有關(Function1 等號右側第 2 項)。由多點測試，我們發現即使在相同的一小塊區域(0.6°x0.6°)將其衛星風觀測資料由 9 筆增加為 49 筆，對其結果的影響似乎不大。

真實個案的測試，我們先以 2017 年的泰利颱風做測試，從圖 8 可以看出兩者在路徑預報方面皆與 best track 差異不大，強度預報方面則是差異較明顯，模式都有預報後期有過強，初期有過弱的趨勢，而 FDDA 強度預報的結果稍微比 CTL 好一點，其最強的強度預報得比較接近真實狀況，強度最強的時間也比較接近觀測，在實際個案測試上，我們有初步的好結果。然而，在多個真實個案的比較後我們發現，其實 FDDA 對於模式預報的精進能力有限，尤其是對細網格 domain 2。

從現階段的結果來看，雖然在颱風預報路徑誤差來看，domain1 的結果的確有些許的進步，但在 domain2 的結果則和沒有使用 FDDA 不相上下，使用 WRF FDDA 的結果並沒有達到我們所期望的目標—增進模式的預報能力，這可能是由於 TWRP 模式對於颱風的預報本來就算是很準確了，前人關於 FDDA 的文章其作為比較的圖通常都是用網格較粗的模式分析場作為對照組，能利用 FDDA 改善的程度自然較大，再者，我們使用 WRF FDDA 同化觀測資料的結果並

沒有達到完全趨近觀測的程度，或者說其對初始場改變的程度有限，然而調大 Nudging strength 的結果卻不盡理想，甚至可能會破壞原本模式的平衡。

在未來，我們會再利用 WRF FDDA 嘗試不同的同化策略，例如改變同化資料的頻率，例如可能每小時同化相同時間的資料，或是將 time window 加長，使

模式有更多的時間向觀測趨近，達到改善初始場，進而改善模式預報結果的目的，另外，由於雲導風主要資料在高層，我們也會藉由嘗試同化不同的資料型態，如雷達反演風場、追風計畫投落送資料等，希望能夠藉此改善初始場颱風在低層的結構，進而做出更好的颱風模式預報。

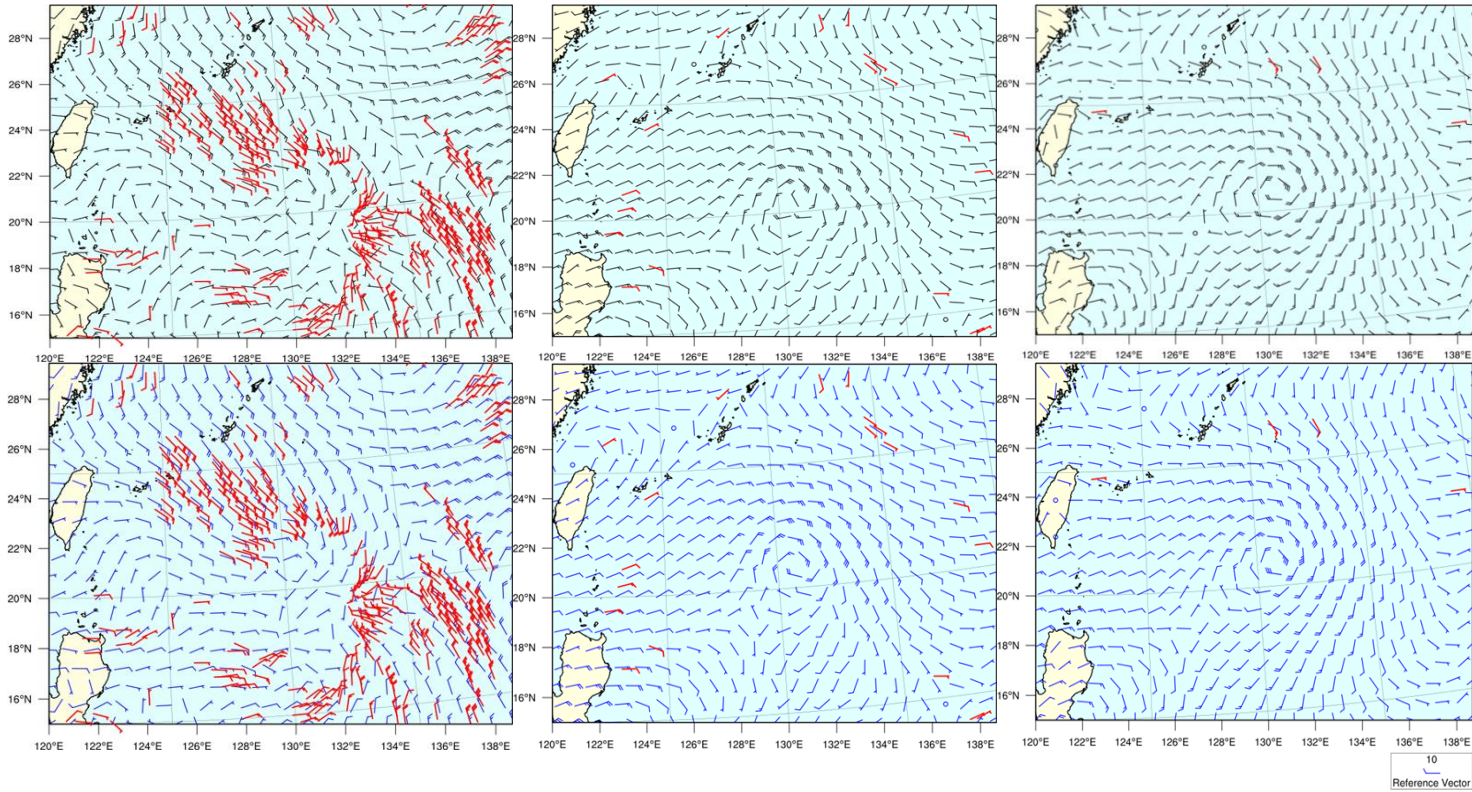


圖 7. 泰利颱風個案預報初始場風場圖，其時間為 2017/09/11 06Z，左邊三張為 FDDA，右邊三張為 CTL，由上而下分別為 200hPa、500hPa、850hPa，圖中藍色風標為 FDDA 的模式，黑色風標為 CTL，紅色風標為向日葵 8 號衛星的衛星雲導風觀測資料，參考風標單位為(m/s)，衛星風觀測資料垂直範圍為模式風場的上下 50hPa。

TALIM (d01)	0h	12h	24h	36h	48h	60h	72h	84h	96h	108h	120h
CTL	36. (14)	44. (14)	50. (14)	51. (14)	54. (14)	64. (14)	90. (14)	145. (14)	214. (14)	294. (14)	387. (13)
fdda	26. (14)	39. (14)	49. (14)	62. (14)	55. (14)	71. (14)	109. (14)	166. (14)	229. (14)	322. (14)	447. (13)
nearcenter fdda	21. (14)	45. (14)	52. (14)	57. (14)	59. (14)	72. (14)	94. (14)	144. (14)	213. (14)	281. (14)	372. (13)

TALIM (d02)	0h	12h	24h	36h	48h	60h	72h	84h	96h	108h	120h
CTL	26. (9)	24. (9)	50. (9)	58. (9)	61. (9)	65. (9)	77. (9)	127. (9)	186. (9)	280. (9)	345. (7)
fd da	25. (9)	30. (9)	52. (9)	58. (9)	60. (9)	66. (9)	83. (9)	142. (9)	214. (9)	306. (9)	359. (7)
nearcenter fd da	24. (9)	26. (9)	48. (9)	68. (9)	67. (9)	26. (9)	86. (9)	130. (9)	200. (9)	272. (9)	327. (7)

表 3. 泰利颱風個案預報 120h 路徑誤差統計平均值，其初始時間由 2017/09/10 06Z 至 2017/09/13 00Z，去除 2017/09/12 06Z 的問題個案，數字為路徑誤差，括弧內數字代表平均的個案數，因為前期個案颱風中心尚未進入 domain 2，故平均個案較少

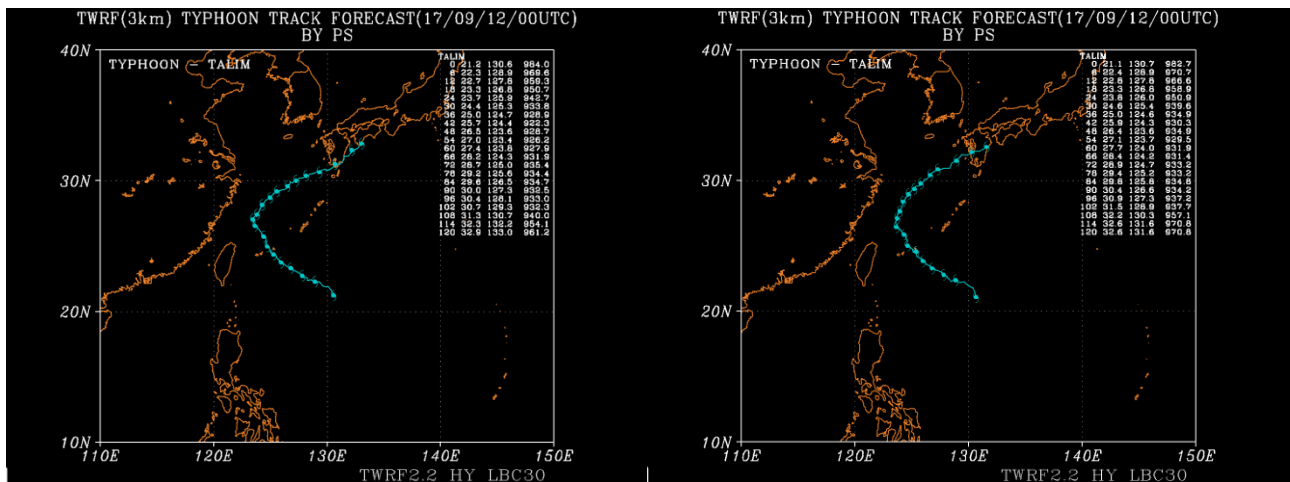


圖 8. 泰利颱風個案預報路徑及強度圖(左 CTL、右 FD DA)，圖中青色線為颱風預報路徑，每點間隔 6 小時，xy 座標為經緯度，右上的表第一欄為預報時間，每個時間都對應圖上路徑的點，第二欄為緯度，第三欄為經度，第四欄為颱風中心氣壓。

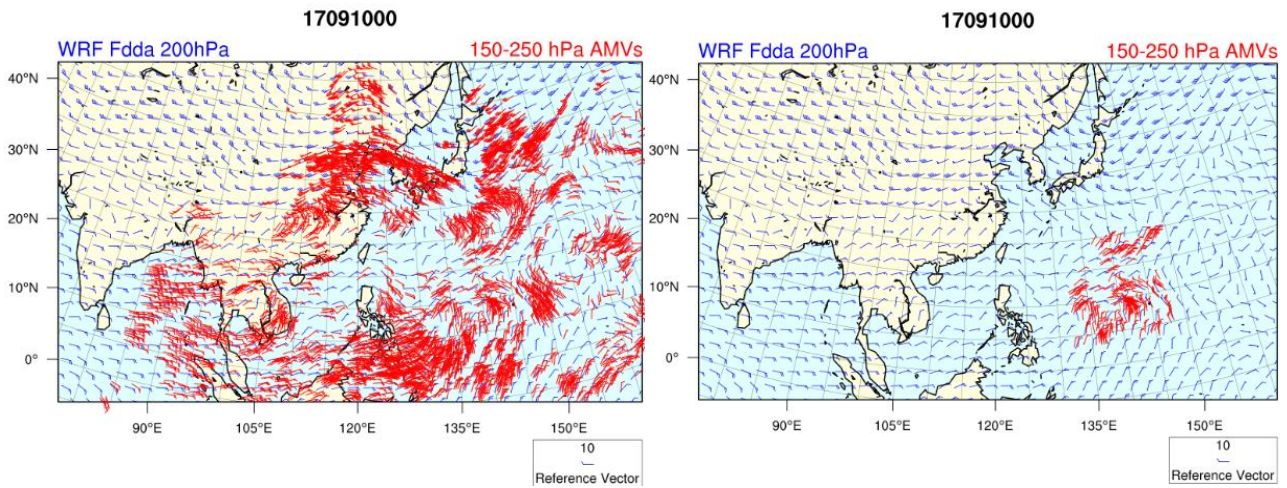


圖 9. 全 domain 範圍的 AMVs(左)與颱風中心 8°延伸的矩形範圍(右)的 AMVs 比較圖

ALL (d01)	0h	12h	24h	36h	48h	60h	72h	84h	96h	108h	120h
CTL	25. (43)	53. (43)	65. (43)	85. (43)	131. (43)	184. (40)	232. (35)	275. (29)	295. (26)	323. (24)	348. (20)
Near center fdda	33. (43)	62. (43)	64. (43)	87. (43)	130. (43)	182. (40)	233. (35)	261. (29)	283. (26)	312. (24)	337. (20)

ALL (d02)	0h	12h	24h	36h	48h	60h	72h	84h	96h	108h	120h
CTL	24. (38)	44. (38)	57. (38)	89. (38)	129. (38)	188. (35)	233. (30)	284. (24)	284. (21)	319. (19)	345. (15)
Near center fdda	28. (38)	56. (38)	60. (38)	89. (38)	136. (38)	192. (35)	239. (30)	279. (24)	298. (21)	288. (19)	349. (15)

表 4. 2017 年泰利颱風及 2018 年巴比倫、瑪麗亞、魔羯、山竹、潭美個案預報 120h 路徑誤差統計平均值