

# 衛星資料與虛擬渦旋四維變分同化對颱風數值模擬的影響

蔡金成 黃清勇

國立中央大學大氣物理研究所

## 一、前言

### 1.1 動機

台灣地形錯綜複雜，颱風所帶來的降水與強風，在分布上受到地形與颱風路徑影響相當明顯。一個颱風的生命期，從初生、發展到成熟階段，多數時間是在海面上獲取水氣與能量，但除了少數飛機觀測，洋面上的天氣資訊普遍較為缺乏。然而，隨著衛星科技發展，藉由遙測方式進行觀測，能夠獲得海面上的觀測資料。對於大氣也能有更多認識，亦希望藉由在模式中同化不同衛星觀測資料能改善數值模擬結果。此外，亦可利用假想的虛擬渦旋資料，改善模式初始場颱風結構，使其在模式初始場中更具代表性。

### 1.2 文獻回顧與研究目的

颱風數值模擬研究中，除了改善模式本身誤差與增進參數化方法，初始場所扮演的角色更是重要。Zou and Xiao (2000)和Xiao et al.(2000)提出虛擬資料同化(Bogus Data Assimilation, 簡稱: BDA)方法。此方法利用少許觀測及估計參數給予颱風中心海平面氣壓，並經由四維變分資料同化方法(4DVAR)(詳請見2.1)以預報的模式為約束條件，結合模式初始場，使得經4DVAR調整過後，在模式初始場中有較佳的颱風結構。Xiao et al.(2000)研究中，以4DVAR方法同化海平面氣壓，也同化由梯度風平衡關係式所計算得到的風場資料。其結果顯示BDA方法能非常有效地運用少數觀測資訊，在模式初始場中重新建立出颱風結構。Wu et al.(2006)根據四維變分資料同化，研究熱帶氣旋的初始化和預報。其研究探討虛擬資料同化(BDA)方法中的重要參數及使用方式，研究結果顯示，同化不同變數的影響，以同化風場比氣壓場可以更成功地改進颱風在模式初始時間的結構及模擬結果。

除了同化虛擬渦旋，亦有許多學者藉由同化衛星資料來改善模擬結果。Zou et al. (1995)在觀測系統模擬實驗(Observing System Simulation Experiment, 簡稱: OSSE)架構下，研究發現同化衛星折射率資料可以改善反演的大氣溫度與水氣場。Huang et al. (2005)使用MM5並以3DVAR方法同化CHAMP與SAC-C掩星觀測折射率資料，模擬侵襲台灣的納莉(2001)及娜克莉(2002)颱風，研究結果顯示，同化折射率資料對於降水模擬有所改善。吳(2007)以4DVAR方法同化CHAMP與COSMIC掩星觀測折射率資料，模擬杜鵑(2003)與珊瑚(2006)颱風。研究結果顯示，同化折射率資料能對環境場有所修正，但對於颱風的路徑模擬影響較小。

本研究希望藉由同化虛擬渦旋，並加上SSM/I垂直水氣積分、海面風速及COSMIC折射率資料等，來改

善颱風在路徑、強度及降水的模擬。第二章介紹本篇研究使用的模式系統與同化的觀測資料，實驗設計與模擬結果於第三章呈現，第四章則針對同化虛擬渦旋進行敏感度實驗，本研究的總結與未來展望在第五章。

## 二、模式系統與資料處理

### 2.1 模式系統

本研究中使用的第3.7.4版MM5，分析場資料來源為NCEP AVN(1°×1°)。模式進行資料同化主要目的是希望藉由觀測資料、觀測誤差、背景場與背景誤差，調整模式的初始場得到最佳初始狀態。本文所使用的四維變分資料同化(4DVAR)方法，主要特點在於觀測資料隨時間、空間變化皆可同化到模式中。4DVAR為藉由極小化一個價值函數的過程來求得模式最佳初始場，價值函數( $J$ )包含兩個貢獻項，(2-1式): 背景項( $J_B$ )與觀測項( $J_O$ )。本研究進行4DVAR同化過程，選取第20次疊代結果。若模擬中有同化折射率資料，則選擇第15次疊代結果。

$$J = J_B + J_O \\ = \frac{1}{2}(X_0 - X_0)^T B^{-1}(X_0 - X_0) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N [H(X_i) - Y_i]^T O^{-1} [H(X_i) - Y_i] \quad (2-1)$$

### 2.2 SSM/I 垂直水氣積分與海面風速

SSM/I搭載於美國海軍DMSP衛星，繞極週期約為102分鐘，傾角約53度，平均衛星高度在830公里左右，觀測刈幅(swath)約一千四百公里。其觀測資料不受陰、晴影響，唯在強降水區域有較明顯之誤差。本研究同化DMSP F13與F14所反演出來的垂直水氣積分(Integrated Water Vapor)與海面風速(Ocean Wind Speed)，資料解析度約25公里。垂直水氣積分與海面風速是利用微波所觀測到的亮溫，先經過資料品質控制後，再以Wentz's演算法(1993)計算得到垂直水氣積分與海面風速。本研究參考Chen et al. (2004)與Chen et al. (2007)給定的觀測誤差: 垂直水氣積分為2mm，海面風速資料則給定較小，誤差值為2(m/s)。同化窗區為4個小時，觀測資料時間間格為1小時。

### 2.3 GPS 折射率

由Abel變換( Abel transform)可說明折射指數與偏折角的關係，如2-3式:

$$\alpha(a) = -2a \int_{r_0}^{\infty} \frac{d(\ln n)/dx}{\sqrt{x^2 - a^2}} dx \quad (2-3)$$

其中 $x = nr$ 為折射半徑， $r_0$ 為大氣層頂高度， $a$ 為影響參數。每一次的掩星事件，包含了多條射線，LEO衛星每接收一次訊號就有一條射線，因此可得到偏折

角隨影響參數 ( $a$ ) 變化的垂直分布, 即  $\alpha(a)$ 。若已知偏折角垂直分布, 則可利用Abel逆變換(2-4式)決定大氣折射指數分布(詳細內容請參考曾, 2006, 第11章):

$$\ln n(x) = \frac{1}{\pi} \int_x^{\alpha_0} \frac{\alpha(a)}{\sqrt{a^2 - x^2}} da \quad (2-4)$$

一般折射指數由地表隨高度呈指數遞減, 至真空處其值為1, 因為折射指數絕對變化量小, 因此通常採用折射率(refractivity,  $N$ )代替。折射率與折射指數關係式, 如2-5式。

$$N = (n-1) \times 10^6 \quad (2-5)$$

折射率觀測資料誤差, 給定一個隨高度指數遞減的函數, 從地面到高空20公里左右其誤差約由10遞減到2, 此誤差的給定主要使得觀測項與背景項在價值函數中的貢獻量相近。在模式中, 利用Boudouris (1963), 可由氣壓 ( $P$ )、溫度 ( $T$ ) 與水氣壓 ( $P_w$ ), 計算模式的折射率 ( $N$ ), 如2-6式。

$$N = 77.6 \frac{P}{T} + 3.73 \times 10^5 \frac{P_w}{T^2} \quad (2-6)$$

## 2.4 虛擬渦旋

虛擬資料同化(BDA)的方法, 使用 Fujita(1952)離颱風中心徑向距離的氣壓分布經驗公式(2-7式)與 Park and Zou (2004) 風速半徑的線性關係(2-8式), 來導入虛擬的海平面氣壓, 其定義如下:

$$P_0(r) = P_c + \Delta P \left\{ 1 - \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{r}{R_0} \right)^2 \right]^{-1/2} \right\} \quad (2-7)$$

$$\Delta P = P_\infty - P_c$$

$$P_\infty = \frac{P_{out}(R_{out}) \left[ 1 + \left( \frac{R_{out}}{\sqrt{2}R_0} \right)^2 \right]^{1/2} - P_c}{\left[ 1 + \left( \frac{R_{out}}{\sqrt{2}R_0} \right)^2 \right]^{1/2} - 1}$$

$$R_0 = 0.38R_{34kt} - 3.8 \quad (2-8)$$

(2-8式)中  $R_{34kt}$  為34(knots)等風速線到颱風中心距離, 可由觀測值得到  $R_{34kt}$ , 再來推估  $R_0$ 。本研究參考中央氣象局發布之颱風警報單, 由颱風七級風暴風半徑來設定  $R_{34kt}$  參數。決定海平面氣壓以後, 藉由梯度風平衡關係式(2-9式), 得到純旋轉風場, 其中  $r$  為離颱風中心的距離。

$$V_{GR}(r) = \left( \frac{r}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} + \frac{f^2 r^2}{4} \right)^{1/2} - \frac{r|f|}{2} \quad (2-9)$$

## 三、實驗設計與模擬結果

### 3.1 個案介紹

2008年7月17日晚間9點40分左右, 卡玫基颱風在台灣宜蘭縣登陸。卡玫基颱風所帶來的風災不

多, 但是在降雨方面, 卻為台灣帶來突破歷史紀錄的累積雨量。台中地區於當地時間, 7月18日上午8點到9點(071800-071801UTC)累積雨量達到149毫米打破百年時雨量紀錄! 卡玫基颱風在侵襲台灣的過程, 同時引進旺盛的西南氣流並且為台灣西南部山區帶來超過1000毫米的三天總雨量。約在卡玫基颱風登陸台灣前30小時(071606UTC), 包括台灣中央氣象局、日本氣象廳與美國海軍等作業中心, 對卡玫基颱風中心位置在未來3天的預報結果較偏向不直接登陸台灣。然而, 卡玫基颱風實際路徑卻於30個小時之後(071714UTC)登陸台灣。

### 3.2 實驗設計

本研究模擬真實個案卡玫基颱風(2008)侵襲台灣3天過程, 模擬時間為2008071606-071906UTC。由NCEP AVN分析資料獲得模式初始場, 以四維變分資料同化的方法同化衛星與虛擬渦旋資料, 實驗設計如表3-1。

第一組實驗, 同化單一衛星資料, 並討論其對颱風模擬的影響。實驗共包含: IWV、OWS與REF等3組模擬, 分別同化SSM/I垂直水氣積分(IWV)、海面風速(OWS)與COSMIC折射率(REF)等3種衛星資料, 同化窗區皆為4小時。以1小時為一個單位, 同化SSM/I與COSMIC衛星資料。在同化垂直水氣積分的模擬中, 共有31,292點觀測資料(圖3-1), 而同化海面風速的模擬中, 觀測資料總數為29,763(圖3-2), 同化折射率的模擬, 其觀測的折射率探空資料共有23點(圖3-3)。

第二組實驗, 以不同虛擬渦旋中心氣壓強度 ( $P_c$ )、大小 ( $R_{out}$ ) 與強風半徑 ( $R_{34kt}$ ), 討論虛擬渦旋對颱風模擬的影響。實驗結果主要討論: X、A與D等3組不同渦旋中心氣壓的模擬, 其渦旋中心氣壓分別為: 990hPa(X)、980hPa(A)與970hPa(D)。  $R_{out}$  與  $R_{34kt}$  於X、A與D等3組模擬皆相同, 分別為250公里與100公里。在30分鐘的同化窗區中, 每3分鐘同化一次虛擬渦旋的海面氣壓與三維風場。

第三組實驗共有4組模擬, 分別由同化虛擬渦旋(D)再加入SSM/I垂直水氣積分(D+IWV)與海面風速(D+OWS)、COSMIC折射率資料(D+REF)、SSM/I海面風速與COSMIC折射率資料(D+OWS+REF), 同化窗區為4小時。此4組模擬, 以第二組實驗D模擬為基礎再加入相同於第一組實驗的衛星觀測資料, 並討論虛擬渦旋與衛星資料結合使用對颱風模擬的影響。

### 3.3 同化衛星資料模擬結果

第一組實驗為單獨同化垂直水氣積分(IWV)、海面風速(OWS)或折射率資料(REF)。實驗結果顯示, 單獨同化衛星資料比起控制實驗(NONE), 對於颱風強度與路徑模擬皆無顯著改善, 甚至於同化垂直水氣積分(IWV), 在路徑的模擬誤差比起控制實驗(NONE)要更大。由模擬的颱風強度可以發現, 單獨同化垂直水氣積分(IWV), 其颱風強度在模擬的第2天之後都較控制實驗(NONE)要弱。同化折射率(REF)與同化海面風速(OWS)模擬, 雖然無法掌握颱風的真實強度變化, 但對於颱風強度的掌握相較於控制實驗(NONE)有微幅的改善, 也因此模擬路徑誤差有些微降低。第一組實驗3

天平均模擬路徑誤差，分別為：292公里(NONE)、402公里(IWV)、279公里(OWS)、247公里(REF)。

### 3.4 同化虛擬渦旋模擬結果

針對卡玫基颱風，以同化不同虛擬渦旋中心氣壓強度( $P_c$ )、大小( $R_{out}$ )以及強風半徑( $R_{34kt}$ )進行模擬。3個變數當中，調整虛擬渦旋大小( $R_{out}$ )或調整強風半徑( $R_{34kt}$ )對於路徑模擬產生之差異相較於調整渦旋氣壓要來的小。D與G模擬分別同化虛擬渦旋大小( $R_{out}$ )為250與300公里，其模擬路徑差異不大，3天平均的模擬路徑誤差分別為136與145公里，以 $R_{out}$ 為250公里模擬結果較佳。改變不同強風半徑( $R_{34kt}$ )的虛擬渦旋，首先以中央氣象局颱風警報單之颱風七級暴風半徑100公里，設定D模擬中 $R_{34kt}$ 為100公里。此外，同化較大(130公里)或較小(70公里)強風半徑，包括：D、E與F等3組模擬，3天平均的路徑誤差分別為：136(D)、133(E)與134(F)公里。

針對渦旋中心氣壓的設定，由X、A與D等3組模擬結果作討論。3組模擬的虛擬渦旋強度，分別為990hPa(X)、980hPa(A)與970hPa(D)。當虛擬渦旋中心氣壓降低到970hPa，其風場、溫度場與水氣場有最顯著修正，由颱風中心東西方向剖面，可以明顯看見颱風結構，眼牆區域風速最大值在45(m/s)以上。溫度場分布於中高層出現明顯暖心結構，500到300hPa增溫8到10度，低層1000到900hPa增溫2到4度。水氣場的部份，經模式調整後在颱風中心低層有水氣聚集，其增量為2到4(g/kg)，水氣增量最多在700到600hPa，約增加6(g/kg)。同化較弱虛擬渦旋，如X與A模擬，對於氣象場的修正量較弱。

模式初始時間(2008071606UTC)觀測資料顯示颱風中心氣壓只有990hPa，但模式中同化中心氣壓為990hPa之虛擬渦旋(X模擬)，無論是風場結構或溫、濕度場修正量都偏小。模擬颱風發展最強時刻以D模擬掌握最好，雖有時間延遲，但模擬登陸前的颱風中心氣壓(969hPa)較接近實際登陸前颱風中心氣壓(970hPa)，而能夠獲得一個較佳模擬路徑，如圖3-4。3天平均模擬路徑誤差分別為213公里(X)、138公里(A)與136公里(D)。

### 3.5 同化虛擬渦旋與衛星資料模擬結果

#### 3.5.1 初始場差異

經4DVAR調整後，各模擬因同化不同類型觀測資料，對模式變數亦造成不同之修正量。同化虛擬渦旋與折射率之模擬(D+REF)，除了虛擬渦旋資料對風場有很強的修正，在折射率觀測點上風場修正量相對很小。但因同化折射率資料在300hPa溫度場與850hPa水氣場有較強的修正，第15次疊代結果的溫度場修正量為-2到5度，水氣場修正量為-2到16(g/kg)。當同化垂直水氣積分量，則以水氣場修正量最為顯著，第20次疊代結果水氣修正量約-7到6(g/kg)且大面積減少水氣量，僅在菲律賓西側海面水氣增多。同化垂直水氣積分對於溫度場的修正量較少，風速的修正則更微弱。當同化海面風速資料，對於水氣與溫度場修正則較少，但對1000hPa風速的修正則能大面積提升底層風

速，在虛擬渦旋修正的範圍之外，約可以修正風速值-3到10(m/s)。整體而言，衛星資料確實達到範圍修正模式變數，在4小時的同化窗區中，觀測資料的修正範圍主要仍集中於觀測點附近，並無顯著擴大修正範圍。

當模擬中加入虛擬渦旋(D)資料，對於初始時間的駛流場(0.96至0.2的sigma層垂直平均)相較於控制實驗(NONE)修正量主要都鄰近於虛擬渦旋資料點，距離渦旋較遠處之風速修正量漸小，僅有些微風向調整(圖3-5a)。對於駛流場的修正量值，以同化折射率之模擬(D+REF)有較大修正量，如圖3-5b，扣除同化虛擬渦旋(D)的修正量，颱風外圍最大修正量約2.4(m/s)。若同時同化海面風速與折射率(D+OWS+REF)，則最大修正量值增加為2.9(m/s)。駛流場修正量較大的D+REF與D+OWS+REF，也因而影響到颱風路徑與移速。若單只同化垂直水氣積分(D+IWV)或海面風速(D+OWS)，對於駛流場修正量則皆小於1(m/s)。

初始時間的颱風風場，在有同化折射率之模擬中，包含：D+REF與D+OWS+REF可使颱風最大風速達到50(m/s)左右且1000hPa風速增益量分別為38.3與40.3(m/s)。D+IWV或D+OWS模擬颱風的風場與D模擬相近，最大風速約45(m/s)，1000hPa風速增益量為38(m/s)。D+IWV對水氣在垂直與水平結構的修正最為明顯，在初始颱風環流的西側與北側因同化垂直水氣積分，使得水氣場受到較大範圍修正，減少約2(g/kg)，而颱風環流東側水氣量則略為增多。水氣場、溫度場的修正量與風場修正量值有相似結果，以同化折射率的模擬有最大之修正量。與控制實驗(NONE)比較，同化折射率之模擬在700到600hPa水氣場有8到10(g/kg)的修正量，溫度場的修正量，則在500到300hPa有10度左右增溫。同化海面風速(D+OWS)之模擬，其修正量值在初始時間與D模擬較為接近。

#### 3.5.2 颱風結構

初始時間風場較強的D+OWS+REF，在第3個小時，最大風速值位於颱風東側且仍維持40(m/s)以上。各模擬之西側風速較東側弱，尤其以D+IWV模擬颱風西側風速較其他同化觀測資料之模擬要弱5到10(m/s)，而D+IWV模擬第3小時颱風東側的風速較大，亦維持在40(m/s)以上，在風速結構D+IWV呈現較強不對稱。此可能因素來自D+IWV模擬之水氣場於初始時間在颱風第二象限受到修正，減少水氣可能帶來的潛熱，造成颱風西側風速較弱，反之，東側因水氣量略增，有助於風場增強。

由低層風場引起大氣與海洋交互作用之潛熱通量分布，同化衛星資料的模擬皆有增強底層風場進而加強潛熱通量，存在一個潛熱通量量值大於 $600(\frac{W}{m^2})$ 的颱風環流結構。唯D+IWV於模擬第三個小時，在颱風中心東側出現極大值，西側則出現潛熱通量缺口，此原因除了颱風西側風場偏弱，水氣場在垂直與水平結構於初始時間受到修正也扮演重要角色。此不對稱潛熱通量與風速場以及缺乏颱風結構的輻合場，可能是造成颱風模擬後期無法維持其強度與

結構的原因。

### 3.5.3 路徑與強度模擬

當D模擬再加入折射率(D+REF)或同時再加折射率與海面風速(D+OWS+REF)之後，模擬路徑誤差又再降低，三天平均模擬路徑誤差分別為103與111公里。雖然D+REF與D+OWS+REF有最小路徑誤差，但兩模擬結果當颱風靠近台灣時，路徑較為偏北且中心由北海岸通過無直接登陸陸地。雖然D+OWS三天平均路徑誤差較D模擬大，但其模擬路徑在颱風登陸前最為接近最佳路徑。同化SSM/I垂直水氣積分在此個案模擬無法進一步改善路徑模擬，反而因同化垂直水氣積分而較D模擬出現更大路徑誤差，三天平均的模擬路徑誤差為198公里。各模擬在第一天的路徑誤差約100公里左右(圖3-6)。對應颱風中心氣壓模擬結果，0-6小時各模擬的颱風強度維持一定，表示颱風結構經4DVAR極小化後，渦旋與模式之間達到相當平衡。

當模擬到第30個小時，在颱風即將登陸台灣之前，D+IWV在近地面1000hPa的低層風場仍比起其他模擬較弱，風速比控制實驗增強26.2(m/s)且陰影區的輻合場呈現較為分散之扁圓結構。D+REF模擬，1000hPa風場較控制實驗強29.3(m/s)，D+OWS雖然在初始時間與D或D+IWV差異不大，但模擬到第30個小時，同化海面風速的模擬(D+OWS)低層風速增量維持在34.1(m/s)，D+OWS+REF低層風速增量則為27.9(m/s)。對應模擬第30小時的潛熱通量，D+IWV其潛熱通量分布仍較不對稱，主要集中在颱風中心東側，而各模擬之潛熱通量仍維持一個量值大於 $600(W/m^2)$ 的颱風環流結構。

### 3.5.4 降水模擬與雷達回波

從模式第三層槽狀網格模擬之降水分布可以發現，不同資料類型對於降水模擬的改善程度。D模擬單獨同化虛擬渦旋，無法模擬出台灣西南部山區的強降水，當虛擬渦旋與折射率同時同化(D+REF)，則可以模擬出西南部山區約300毫米左右的降水量。當虛擬渦旋再加入海面風速(D+OWS)，模擬路徑在颱風登陸前最貼近觀測最佳路徑，而可以大幅改善西南部山區降雨量，但仍無法模擬出台中地區的強降水。D+OWS模擬降水量最高達到635毫米，仍不足於觀測最大累積雨量904.5毫米(1706UTC-1806UTC)。整體雨量不足的原因，主要來自於模擬颱風路徑大約較真實觀測路徑要延遲6小時，且模擬颱風通過台灣陸地的時間較實際觀測時間要短。

比較模擬與觀測的雷達回波，卡玫基颱風在本身主結構南方到西南方有很強降雨帶存在。同化虛擬渦旋與海面風速資料(D+OWS)能夠模擬出颱風主環流南側大於40dBZ的降雨帶，較只同化虛擬渦旋更能夠掌握颱風南側的兩帶，對於強降水模擬也有所改善。計算ETS(Equitable Threat Score)得分，D+OWS在大於50毫米的強降水有更好模擬能力，可提高約0.1得分(圖3-7a)。BIAS得分顯示，對於小雨的模擬模式普遍高估雨量，模擬強降水則有低估的情況。當同化海面風速資料(D+OWS)，則可以改善強降水模擬的低估，使BIAS得分更接近理想值1(圖3-7b)。

## 四、總結與未來展望

### 4.1 總結

本研究使用MM5模式以四維變分資料同化技術，將虛擬渦旋的海面氣壓、三維風場及SSM/I垂直水氣積分、海面風速與COSMIC折射率等衛星資料同化到模式中。藉由修正模式初始場，期望對颱風路徑、強度與降水模擬能有所改善。

第一組實驗，在模擬中單獨同化一種衛星資料，其模擬結果並無法有效改善卡玫基颱風在路徑與強度的模擬，此結果與Zhang et al.(2007)之研究有類似結果。然而，單獨同化折射率(REF)或海面風速(OWS)模擬卡玫基颱風，對於颱風強度與模擬路徑較控制實驗(NONE)稍有改善，但其結果與觀測的颱風路徑及強度仍有相當誤差。

以同化虛擬渦旋為主的第二組實驗，設定不同虛擬渦旋中心氣壓、渦旋大小與強風半徑進行模擬。結果顯示，調整渦旋大小或強風半徑，對於路徑模擬結果較不敏感。調整不同虛擬渦旋中心氣壓所進行的3組實驗，包括：X、A與D，其模擬路徑之差異較為明顯。其中以模擬強度接近實際觀測颱風發展最強時刻的實驗組(D)，可以得到最佳模擬路徑。雖然單獨同化虛擬渦旋能增進颱風路徑模擬之準確度，但對於降水模擬仍有待改善。

第三組實驗中，同時同化虛擬渦旋與衛星資料進行模擬，並討論衛星資料與虛擬渦旋結合使用所帶來的影響。比較單獨同化虛擬渦旋與同化虛擬渦旋加衛星資料的模擬結果，同化衛星資料可以更進一步降低模擬之路徑誤差，此外，模擬路徑之時間延遲，也因同化折射率資料對駛流場有較大之修正而獲得改善(D+REF與D+OWS+REF)。

同化海面風速資料，使得低層風場較強而增加海氣交互作用，進一步引起適當的潛熱通量分布，得以在颱風移動過程中維持其結構而不至於減弱。D+OWS模擬颱風降雨量，因登陸台灣前模擬路徑與觀測之最佳路徑接近，對於降水分布與強度之模擬最佳。同化垂直水氣積分(D+IWV)之模擬，在卡玫基颱風中心西側與東側之水氣場受到較多修正，產生風速與潛熱通量不對稱結構而影響颱風後期的發展。

### 4.2 未來展望

未來希望由觀測系統模擬實驗進一步了解在較理想的大氣條件之下，每一種觀測資料對颱風數值模擬所產生的影響，更期望在實際個案研究進行時，可以提供針對不同觀測資料特性而有不同的同化策略。除了四維變分資料同化外，系集卡曼濾波為一項新的資料同化技術，此方法比起四維變分資料同化在運算上較不耗費計算資源。未來如有機會將運用系集卡曼濾波的技術同化虛擬渦旋與觀測資料，並研究其對颱風模擬的影響。

## 參考文獻

吳俊澤，2007：利用MM5 4DVAR 模式同化掩星折射率資料及虛擬渦旋探討颱風數值模擬之影響。國立

- 中央大學，大氣物理研究所，碩士論文，70 頁。
- 周昆炫，2003：颱風渦旋初始化之觀測系統模擬實驗研究。國立台灣大學，大氣科學系，博士論文，120 頁。
- 陳舒雅，2008：GPS掩星觀測資料同化及對區域天氣預報模擬之影響。國立中央大學，大氣物理研究所，博士論文，137頁
- Chen, S.-H., 2007: The impact of assimilating SSM/I and QuikSCAT satellite winds on hurricane Isidore simulations. *Mon. Wea. Rev.*, **135**, 549–566.
- Park, K., and X. Zou, 2004: Toward developing an objective 4DVAR BDA scheme for hurricane initialization based on TPC observed parameters. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 2054–2069.
- Wu, C.-C., K.-H. Chou, Y. Wang and Y.-H. Kuo, 2006: Tropical cyclone initialization and prediction based on four-dimensional variational data assimilation. *J. Atmos. Sci.*, **63**, 2383–2395.
- Xiao, Q., X. Zou, and B. Wang, 2000: Initialization and simulation of a landing hurricane using a variational bogus data assimilation scheme. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 2252–2269.
- Zhang, X., Q. Xiao, and P.J. Fitzpatrick, 2007: The impact of multisatellite data on the initialization and simulation of Hurricane Lili's (2002) rapid weakening phase. *Mon. Wea. Rev.*, **135**, 526–548.
- Zou, X., Y.-H. Kuo, and Y.-R. Guo, 1995: Assimilation of atmospheric radiorefractivity using a nonhydrostatic adjoint model. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 2229–2249.
- Zou, X., and Q. Xiao, 2000: Studies on the initialization and simulation of a mature hurricane using a variational bogus data assimilation scheme. *J. Atmos. Sci.*, **57**, 836–860.

表 3-1、實驗設計總表

Experiment	Assimilated data type	Assimilated data	Assimilated time window
NONE			
IWV	SSM/I Integrated Water Vapor	31,292 points (interval=1h*)	4h
OWS	SSM/I Ocean Wind Speed	29,763 points (interval=1h)	4h
REF	COSMIC Refractivity Profile	23 refractivity soundings (interval=1h)	4h
X	Bogus vortex (with SLP and 3D wind)	CSLP=990 $R_{out}=250$ $R_{34kt}=100$	30 min
A	Bogus vortex (with SLP and 3D wind)	CSLP=980 $R_{out}=250$ $R_{34kt}=100$	30 min
D	Bogus vortex (with SLP and 3D wind)	CSLP=970 $R_{out}=250$ $R_{34kt}=100$	30 min
E	Bogus vortex (with SLP and 3D wind)	CSLP=970 $R_{out}=250$ $R_{34kt}=130$	30 min
F	Bogus vortex (with SLP and 3D wind)	CSLP=970 $R_{out}=250$ $R_{34kt}=70$	30 min
G	Bogus vortex (with SLP and 3D wind)	CSLP=970 $R_{out}=300$ $R_{34kt}=100$	30 min
D+IWV	Bogus vortex and Experiment IWV		4h
D+OWS	Bogus vortex and Experiment OWS		4h
D+REF	Bogus vortex and Experiment REF		4h
D+OWS+RWF	Bogus vortex and Experiment OWS and REF		4h

\*interval=1h: assimilating observational data within one hour at the beginning of the hour

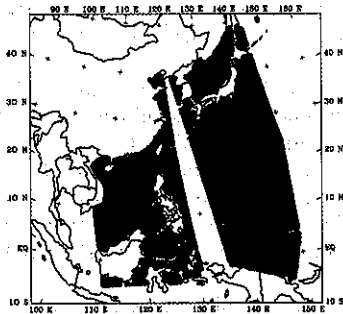


圖 3-1、SSM/I 垂直水氣積分觀測資料分布示意圖，同化窗區 071606-11UTC 共有 31,292 點(空心圓形)。

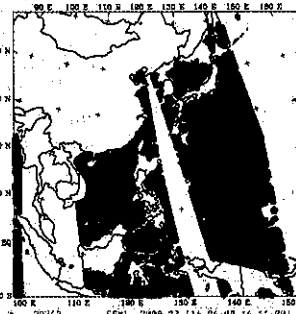


圖 3-2、SSM/I 海面風速觀測資料分布示意圖，同化窗區 071606-11UTC 共有 29,763 點(空心圓形)。

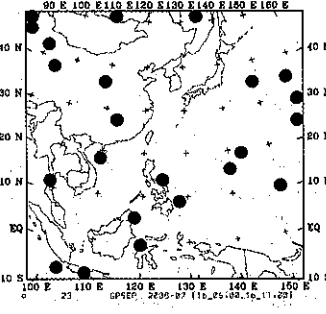


圖 3-3、COSMIC 折射率觀測資料分布圖，同化窗區 071606-11UTC 共有 23 點(實心圓形)掩星觀測的折射率探空資料。

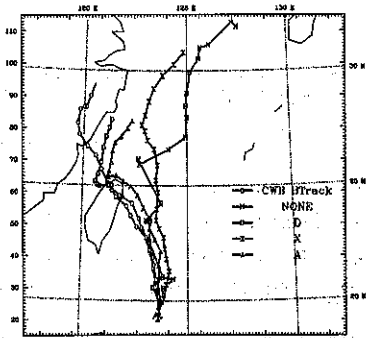


圖 3-4、X(中心氣壓 990hPa)、A(中心氣壓 980hPa)與 D(中心氣壓 970hPa)，模擬颱風路徑圖。CWB\_BTrack 為中央氣象局觀測最佳路徑、NONE 為控制實驗。X、A 與 D 模擬，分別標記為 X、A 與 D。

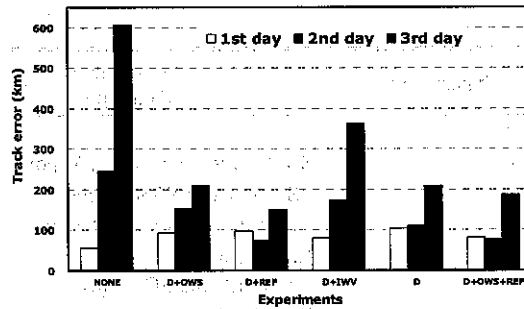


圖 3-6、各模擬在第一(白色)、二(灰色)、三天(黑色)的平均路徑誤差。控制實驗(NONE)，D+REF 為虛擬渦旋加折射率、D+OWS 為虛擬渦旋加海面風速、D+1WV 為虛擬渦旋加垂直水氣積分、D+OWS+REF 為虛擬渦旋加海面風速與折射率。

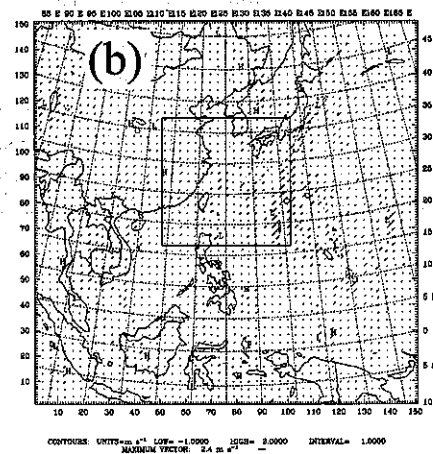
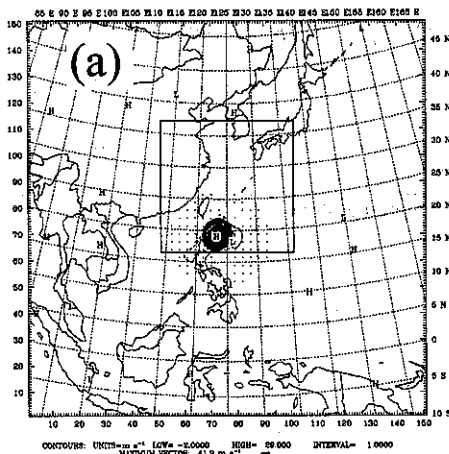


圖3-5、sigma層0.96到0.2垂直平均之風速(等值線)與風向(箭頭)差異量，虛線為負值，實線為正值，黑色方框為第二層網格範圍。(a)為同化虛擬渦旋(D)與控制實驗(NONE)之差異量，(b)為D+REF與D之差異量。

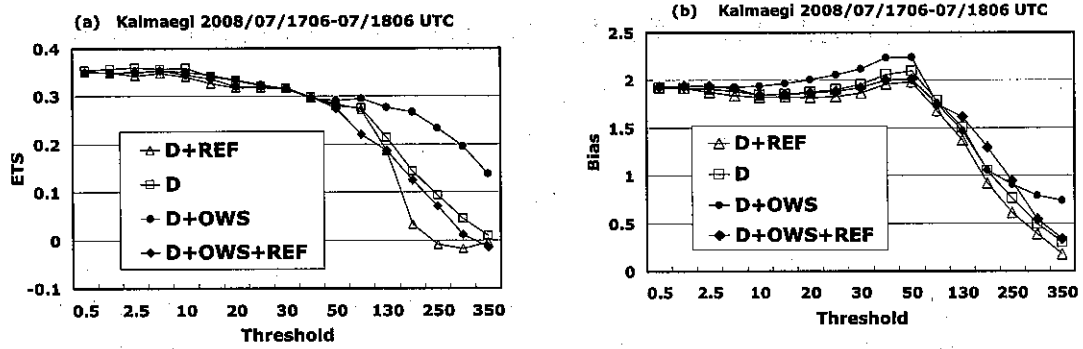


圖3-7、(a) ETS預報得分，其數值等於1為完美預報。(b)BIAS，代表模式預報的雨量為高估或低估，數值為1代表最佳預報。D為虛擬渦旋(空心方形)，D+REF為虛擬渦旋加折射率(空心三角形)、D+OWS為虛擬渦旋加海面風速(實心圓形)、D+OWS+REF為虛擬渦旋加海面風速與折射率(實心菱形)。