

# 追風計畫(DOTSTAR)投落送資料對康森颱風 (2004) 路徑數值模擬的影響探討

黃葳凡 吳俊傑\* 林博雄  
國立台灣大學大氣科學系

## 摘要

在國科會的資助下台灣地區於 2003 年正式展開侵台颱風之 GPS 投落送飛機偵察觀測實驗「追風計畫」(DOTSTAR)，累積至今已完 16 個觀測個案。本研究選取 2004 年預報路徑變異性較高的康森(Conson)颱風為探討個案，以 MM5 3DVAR 資料同化方法進行投落送資料對模式初始場及後續路徑模擬的影響評估。

研究結果顯示，針對康森颱風在加入投落送資料進行資料同化後對模擬路徑的整體改進為 56%。由初始場的深層平均(925-200 hPa)差異則可發現有無同化投落送資料風場的量值差異可達 7 m/s，可見投落送資料的影響相當顯著。本研究亦針對康森颱風進行影響實驗研究(impact study)，目的在於瞭解投落送資料水平及垂直分佈對颱風運動的影響、台灣地形扮演的角色、渦旋植入以及資料同化系統的影響。結果顯示，康森颱風之 16 枚投落送資料中分佈於南邊的 6 枚投落送資料的影響較北邊 10 枚投落送資料略大，且由於模擬之颱風強度較弱因此投落送之中低層的資料對路徑模擬的正面影響較顯著。至於台灣地形在此個案中相較於投落送資料對颱風路徑造成的改變程度則小了許多，顯示台灣地形在此個案中並不是造成颱風移動方向改變的重要因子。如為改進初始渦旋結構加上渦旋植入(bogus)則可使模擬路徑更加改進至 70%。除此之外，不同資料同化方法的影響也相當顯著，如使用較為簡單的 Cressman 方法同化相同之資料，整體改進就只有 13%。由此可見欲得到較佳之數值模擬結果除觀測資料的增加外，所採用的資料同化方法也是重要的關鍵之一。

關鍵字：投落送、資料同化、MM5 3DVAR、康森颱風、渦旋植入、Cressman

## 一、前言

颱風的形成與發展主要發生於海洋上，但由於海面上缺乏傳統觀測資料，過去在颱風研究上無論是進行資料分析或是數值模擬皆面臨資料不足的問題。美國海洋大氣總署(NOAA)的颶風研究中心(HRD)自 1982 年開始利用飛機投擲 Omega 投落送(ODWs)對颱風進行觀測，以獲得颱風附近飛行高度至地面的風、溫度及溼度的垂直剖面資料。至 1997 年美國國家颶風中心(TPC)開始使用新添購的 G-IV 噴射機執行颱風之觀測任務，同時 NCAR 也研發出 GPS 投落送取代原先之 Omega 投落送，如此可以提升水平風場觀測之準確度。Aberson and Franklin (1999)針對 1997 年個案的研究結果顯示，GFDL 颱風預報系統之路徑預報相較於沒有同化投落送資料的預報改進 32%；而另一動力熱帶氣旋模式 VICBAR 在同化投落送資料後路徑預報亦有 20%的改進。

基於上述 GPS 投落送資料的潛在價值，為有效增加西北太平洋地區颱風周遭環境大氣資料之觀測，在國科會的資助下台灣地區於 2003 年正式展開侵台颱風之 GPS 投落送飛機偵察觀測實驗「追風計畫」(Dropwindsonde Observations for Typhoon Surveillance near the Taiwan Region, DOTSTAR) (Wu et al. 2005)之先

驅研究，累積至今已完 16 個觀測個案。本文選取 2004 年中預報路徑變異性較高的康森(Conson)颱風為探討個案，進行投落送資料的影響評估。

## 二、研究方法

本研究採用 NCEP (National Centers for Environmental Prediction) GFS (Global Forecasting System) 沒有同化投落送資料的全球分析場當作背景場，並使用 MM5 (Fifth-generation NCAR/Penn. State Mesoscale Model) 3DVAR (three-dimensional variational) (Barker et al. 2003, 2004)系統進行投落送資料的同化，以得到模式初始場。其原理是在極小化代價函數(cost function):

$$J(x) = \frac{1}{2}(x - x^b)^T B^{-1}(x - x^b) + \frac{1}{2}(Hx - y^o)^T O^{-1}(Hx - y^o)$$

其中  $O$  是觀測誤差協方差矩陣； $B$  是背景誤差協方差矩陣； $x^b$  是背景場； $X$  是所求之分析場； $y$  是觀測變數； $H$  則是將模式變數轉換至觀測變數換線性操作子。接下再使用 MM5 中尺度預報模式並採用及 NCEP GFS 的分析場作為預報之邊界條件進行後續 72 小時的模擬。

## 三、結果

### (一) 有無同化投落送資料之實驗比較

#### 1. 初始場之改變及路徑模擬結果

為檢視同化投落送資料的影響，使用 MM5 3DVAR 加入投落送資料進行資料同化的實驗簡稱為「實驗 3DVAR」，未進行資料同化之實驗則簡稱為「實驗

\*Corresponding author address: Chun-Chieh, Wu, Dept. of Atmospheric Sciences, National Taiwan University, No. 1, Sec. 4, Roosevelt Rd., Taipei, 106, Taiwan. e-mail: cwu@typhoon.as.ntu.edu.tw

CTL”。由兩實驗初始場的深層平均(925-200 hPa)風場差異(圖1)可發現,風場改變最大處是在分佈於南邊的投落送附近,即在菲律賓附近海面上,量值改變可達 $7 \text{ m s}^{-1}$ 。改變次大的地區則是分佈於台灣東北方海面附近,改變量為 $3 \text{ m s}^{-1}$ 。由此可見投落送資料對於初始場的影響相當顯著。至於對模擬路徑的影響則由圖2可見,開始模擬6小時後就可發現兩者路徑之明顯差別:CTL實驗的颱風仍緩慢往北,至18小時轉往西移動,與最佳路徑相比兩者差異甚大。3DVAR實驗則在6小時後就有明顯往東北方移動的趨勢,與最佳路徑相似,不過移速上較為緩慢。由圖3的路徑誤差及誤差改進百分比可發現,從一開始模擬實驗3DVAR的誤差就較實驗CTL為小,整個模擬期間實驗3DVAR的改進都為正值,平均誤差改進值達56%。

## 2. 位渦診斷

為進一步瞭解影響颱風運動改變的因子為何,在此採用位渦反求方法(Wu et al. 2003, 2004)進行診斷分析。由於實驗3DVAR及實驗CTL的差異是出現於模擬6小時後,所以在此將實驗3DVAR與實驗CTL模擬6小時的位渦差異視為位渦反求之擾動場。圖4為兩實驗此時之深層平均(925-200 hPa)位渦差異分佈,可發現由於同化投落送資料造成在颱風周圍環境不同之位渦距平(PV anomaly)分佈。為瞭解不同區域之渦距平對颱風移動造成的影響,在此將其區分為編號1至編號5,再利用片段位渦反求方法針對各個距平進行反演。結果由圖5可看出各個位渦距平對颱風駛流(950-700 hPa)的貢獻,其中造成實驗3DVAR的颱風較實驗CTL的颱風往東北方偏移貢獻最大的是編號1呈東北-西南走向的位渦距平,另外如編號5的位渦距平則對颱風駛流有往西北移動的貢獻,其他三個位渦距平的影響則較小。

### (二) 影響實驗

#### 1. 實驗設計

本研究亦針對康森個案進行投落送資料的影響實驗研究(impact study),目的是為了瞭解投落送資料水平及垂直分佈如何影響颱風運動、3DVAR中觀測誤差的敏感性、不同資料同化方法的變異、台灣地形扮演的角色以及渦旋植入的影響,因此設計6組實驗進行探討,詳細說明如表1。

#### 2. 實驗結果

##### (1) 投落送資料水平分佈的影響探討

第一組實驗在於測試投落送資料水平分佈的影響。在此將康森颱風個案共16枚的投落送分為兩組作測試,一組是在初始場影響較大處附近的6枚(實驗3DVAR-S6);另一組則是其他10枚(實驗3DVAR-N10)(圖6)。路徑模擬結果由圖7可見,無論3DVAR-S6或是3DVAR-N10的颱風皆會由台灣東方海面北上,兩組資料對颱風轉往東北的影響都很重要。不過就影響程度大小而言,由圖8之誤差統計可看出3DVAR-S6雖然只包含6枚投落送資料但其較3DVAR-N10的改進程度為大。

##### (2) 投落送資料垂直分佈的影響探討

第二組實驗的目的則在探討不同垂直層的投落送資料對颱風路徑模擬改進的影響。模擬路徑結果如圖9

顯示,除了僅同化高層(300-200 hPa)的模擬路徑與實驗CTL類似之外,其他的實驗大致上可反映出往東北移動的趨勢。此可能是因為模擬之颱風為強度比較弱的颱風,因此中低層資料對駛流較有正面影響。其中特別是同化850-300 hPa的投落送資料相較於同化所有層的資料已可包含到大部分的訊息,因此路徑模擬與同化全部資料相當類似。

##### (3) 3DVAR中觀測誤差的敏感性

原本實驗CTL中MM5 3DVAR系統的O是根據NCEP統計所得的Raob觀測誤差(Parrish and Derber 1992),實際上追風計畫所使用的投落送RD93較傳統探空觀測更為精準,因此在本實驗中根據RD93儀器說明文件之儀器誤差將各觀測場的誤差重新定義。同化後的模擬結果如圖10所示,使用新定義的誤差(實驗3DVAR-OBSERR)進行同化後模擬路徑及誤差的差異並不大。

##### (4) 不同資料同化方法影響評估

由前述結果已可看出使用MM5 3DVAR配合投落送資料可有效改進颱風路徑模擬,但同化方法本身的影響程度值得深入探討。在此使用早期較為簡單的Cressman方法(Cressman 1959)進行投落送資料的同化(實驗CRSSMN)。同化後初使場改變量如圖11b所示,可發現使用Cressman方法之改變最大區域雖然也是在南邊的投落送附近,但是改變的範圍及極值皆較小,與使用3DVAR方法造成初始場差異(圖11a)十分不同。圖12為後續的路徑模擬的結果,顯示實驗CRSSMN相較於實驗CTL雖然略好一些,但是卻較實驗3DVAR的結果差了許多,平均路徑模擬改進只有13%。由此可見資料同化方法對同化結果影響之重要性。

##### (5) 台灣地形的角色

此部分增加兩個實驗,一為去除台灣地形且未同化投落送資料的實驗(CTL-nTW);另一為去除台灣地形有同化投落送資料的實驗(3DVAR-nTW)。目的在於測試實驗3DVAR與實驗CTL中台灣地形對如此大差異的模擬路徑是否也扮演重要角色。結果由圖13可明顯看出有無台灣地形的影響並不大,造成模擬颱風往東北方移動的主因是投落送資料改變颱風駛流所致。

##### (6) 渦旋植入的影響探討

實驗3DVAR雖然可以使模擬颱風路徑達到56%的改進,但是相較最佳路徑的移速仍偏慢。本實驗加入渦旋植入程序,希望藉由對初始渦旋結構描述的增進來改善對颱風駛流之解析。結果由圖14及圖15顯示,加入渦旋植入但不進行投落送資料同化(實驗CTL-BG)就可以有平均42%的改進。如果結合投落送資料同化及渦旋植入(實驗3DVAR-BG)則可有高達70%的改進。此可能是因為在這段期間颱風往東北移動主要是受到中高層槽線的牽引,經由渦旋植入可更凸顯中高層氣流對颱風的牽引作用。

## 四、結語

由前述的結果發現在康森颱風的個案中使用MM5 3DVAR系統同化投落送資料可以使得0-48小時的路徑模擬改進56%,結果相當顯著。如果再配合上渦旋植

入方法增進對颱風初始結構之描述，則可對颱風駛流有更正確的解析。此外，經由影響實驗測試可發現，在此個案中北邊 10 枚投落送與南邊 6 枚投落送皆對於颱風有往東北邊移動的影響，特別是後者的影響更為顯著。且由於此模擬颱風的強度較弱，所以中低層的投落送資料對於颱風往東北移動的貢獻較為明顯。至於在同化系統方面，合理地改變 MM5 3DVAR 中觀測誤差對於模擬結果來看敏感性並不高，但如果將使用之同化系統由 MM5 改為較為簡單之 Cressman 同化方法，則會使得路徑改進由 56% 降為 13%，由此可見欲改進颱風路徑預報除了觀測資料的增加外，所採用之資料同化方法也扮演著重要的角色。

本研究希望藉由對投落送資料、同化系統及其他相關因素之探討以瞭解如何將投落送資料的訊息完整地反應至數值模擬之初始場，以得到更佳之預報結果。相信此一研究對於投落送資料之影響可以提供更精確的評估，並可以驗證策略性觀測之成效，對於追風計畫及相關研究可以有很大助益。

#### 參考文獻

Aberson, S. D., and J. L. Franklin, 1999: Impact on hurricane track and intensity forecasts of GPS dropwindsonde observations from the first-season flights of the NOAA gulfstream-IV Jet Aircraft. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 421-427.

Barker, D. M., W. Huang, Y.-R. Guo, and A. Bourgeois, 2003: A three-dimensional variational (3DVAR) data assimilation system for use with MM5. NCAR Tech. Note NCAR/TN-453+STR, 68 pp. [Available from

UCAR Communications, P.O. Box 3000, Boulder, CO 80307.]

Barker, D. M., W. Huang, Y.-R. Guo, and Q. N. Xiao, 2004: A three-dimensional variational data assimilation system for MM5: Implementation and initial results. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 897-914.

Cressman, G. P., 1959: An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, 87, 367-374.

Parrish, D. F., and J. C. Derber, 1992: The National Meteorological Center's spectral statistical-interpolation analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, 120, 1747-1763.

Wu, C.-C., T.-S. Huang, W.-P. Huang, and K.-H. Chou, 2003: A new look at the binary interaction: Potential vorticity diagnosis of the unusual southward movement of Tropical Storm Bopha (2000) and its interaction with Supertyphoon Saomai (2000). *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1289-1300.

Wu, C.-C., T.-S. Huang, and K.-H. Chou, 2004: Potential vorticity diagnosis of the key factors affecting the motion of Typhoon Sinlaku (2002). *Mon. Wea. Rev.*, 132, 2084-2093.

Wu, C.-C., P.-H. Lin, S. Aberson, T.-C. Yeh, W.-P. Huang, J.-S. Hong, G.-C. Lu, K.-C. Hsu, I.-I. Lin, K.-H. Chou, P.-L. Lin, and C.-H. Liu, 2005: Dropwindsonde Observations for Typhoon Surveillance near the Taiwan Region (DOTSTAR): An Overview. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86, 787-789.

表 1 康森颱風個案所有實驗說明。

EXP.	Dropsonde data	Data assimilation scheme	Obs. Error of 3DVAR	Taiwan terrain	TC bogus
CTL	None	X	-----	O	X
3DVAR	All	3DVAR	Raob	O	X
3DVAR-N10	Northern 10 drops	3DVAR	Raob	O	X
3DVAR-S6	Southern 6 drops	3DVAR	Raob	O	X
3DVAR-1000850	1000-850 hPa	3DVAR	Raob	O	X
3DVAR-700400	700-400 hPa	3DVAR	Raob	O	X
3DVAR-300200	300-200 hPa	3DVAR	Raob	O	X
3DVAR-850300	850-300 hPa	3DVAR	Raob	O	X
3DVAR-OBSERR	All	3DVAR	Dropsonde	O	X
CRSSMN	All	Cressman	-----	O	X
CTL-nTW	None	X	-----	X	X
3DVAR-nTW	All	3DVAR	Raob	X	X
CTL-BG	None	X	-----	O	O
3DVAR-BG	All	3DVAR	Raob	O	O

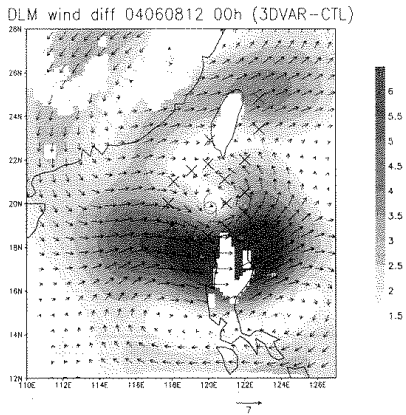


圖 1 初始時間(6月8日1200UTC)實驗 3DVAR 與實驗 CTL 深層平均風場之差異(箭頭代表風向量;陰影代表風之量值)。

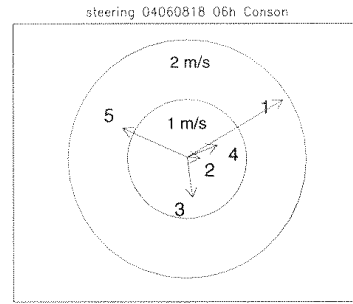


圖 5 6月8日1800UTC 編號1-5位渦擾動對康森颱風駛流(950-700 hPa)的貢獻。

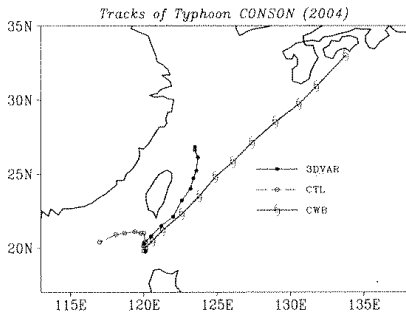


圖 2 實驗 3DVAR、實驗 CTL 模擬路徑與最佳路徑(CWB)之比較。

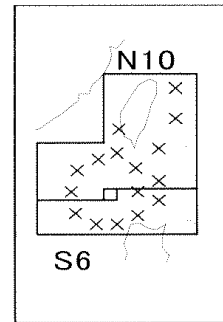


圖 6 實驗 3DVAR-N10 及實驗 3DVAR-S6 之投落送分佈圖。

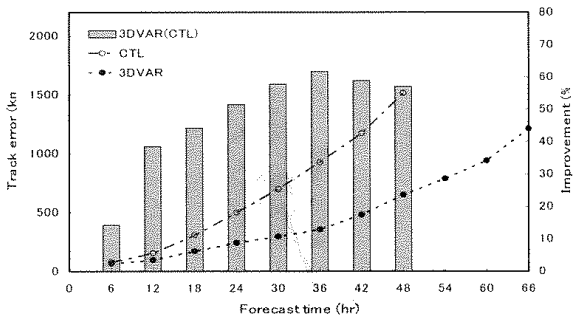


圖 3 實驗 3DVAR 與實驗 CTL 的模擬路徑誤差比較。折線代表誤差大小(單位: km);直條代表實驗 3DVAR 相較於實驗 CTL 的改進(單位: %)。

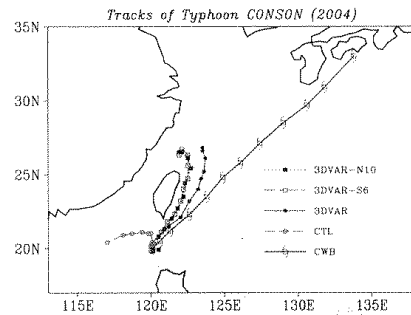


圖 7 實驗 3DVAR-N10、實驗 3DVAR-S6、實驗 3DVAR 及實驗 CTL 模擬路徑與最佳路徑(CWB)之比較。

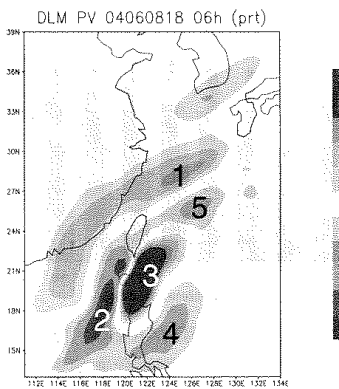


圖 4 模擬 6 小時(6月8日1800UTC)深層平均之位渦擾動分佈圖。單位為 PVU\*10<sup>2</sup>。

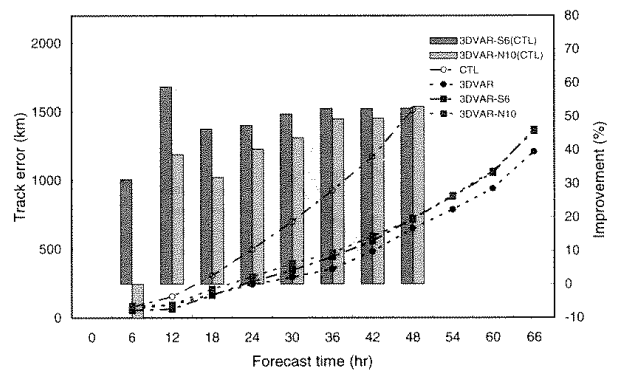


圖 8 實驗 3DVAR-S6、實驗 3DVAR-N10、實驗 3DVAR 與實驗 CTL 的模擬路徑誤差比較。折線代表誤差大小(單位: km);直條代表實驗 3DVAR-S6 及實驗 3DVAR-N10 相較於實驗 CTL 的改進(單位: %)。

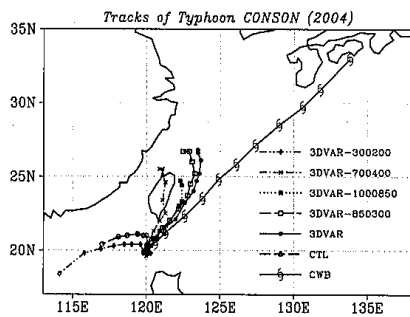


圖 9 實驗 3DVAR-300200、實驗 3DVAR-700400、實驗 3DVAR-1000850、實驗 3DVAR-850300、實驗 3DVAR 及實驗 CTL 模擬路徑與最佳路徑(CWB)之比較。

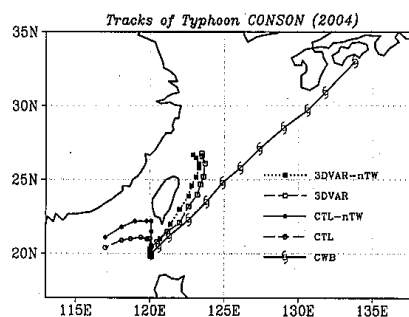


圖 13 實驗 3DVAR-nTW、實驗 3DVAR、實驗 CTL-nTW 及實驗 CTL 模擬路徑與最佳路徑(CWB)之比較。

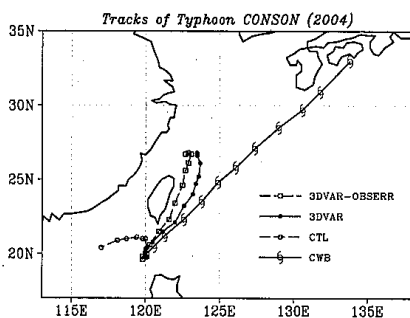


圖 10 實驗 3DVAR-OBSERR、實驗 3DVAR 及實驗 CTL 模擬路徑與最佳路徑(CWB)之比較。

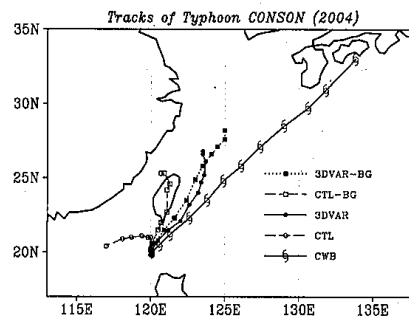


圖 14 實驗 3DVAR-BG、實驗 CTL-BG、實驗 3DVAR 及實驗 CTL 模擬路徑與最佳路徑(CWB)之比較。

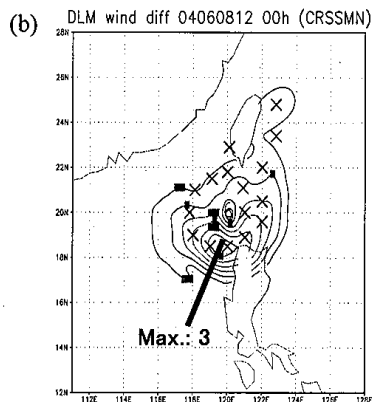
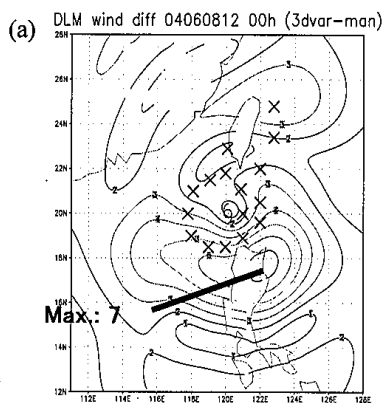


圖 11 初始時間(6月8日 1200UTC) (a)實驗 3DVAR ; (b)實驗 CRSSMN 與實驗 CTL 深層平均風場大小之差異。

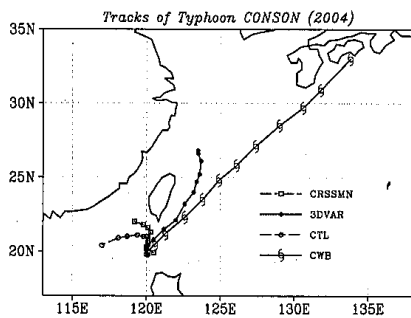


圖 12 實驗 CRSSMN、實驗 3DVAR 及實驗 CTL 模擬路徑與最佳路徑(CWB)之比較。

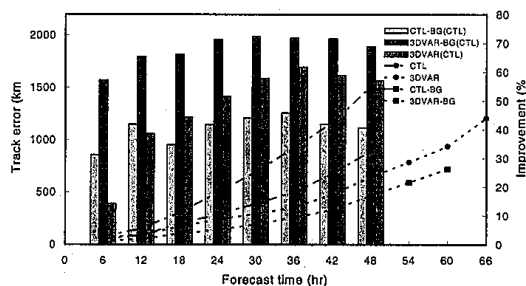


圖 15 實驗 CTL-BG、實驗 3DVAR-BG、實驗 3DVAR 與實驗 CTL 的模擬路徑誤差比較。折線代表誤差大小(單位: km); 直條代表實驗 CTL-BG、實驗 3DVAR-BG 及實驗 3DVAR 相較於實驗 CTL 的改進(單位: %)。