

# 資料同化對台灣地區颱風和梅雨模擬之影響

黃清勇 莊嘉欣

國立中央大學大氣物理研究所

## 摘要

本篇研究使用WRF模式和三維變分資料同化方法，選取2008年6月兩個梅雨事件與三個颱風個案進行模擬。模擬中分別同化FORMOSAT-3 GPS RO 折射率資料、追風計畫的投落送資料(dropsonde)、SSM/I、QuikSCAT衛星觀測資料和CWB提供的傳統觀測資料(GTS)，並探討五種不同的觀測資料對模式初始場與數值天氣預報的影響。

觀測資料對模式初始場的修正結果顯示，同化SSM/I或GTS的濕度修正量比同化其他觀測資料大，溫度修正量方面則是同化GPS或GTS修正量較多，同化dropsondes或QuikSCAT在風速修正量值最為顯著。由梅雨與颱風個案模擬結果顯示，同化GTS或SSM/I資料對模擬結果改善最多，同化QuikSCAT資料對颱風預報也有正面的影響，同化GPS對颱風路徑改善並不明顯，而同化投落送資料模擬的天氣系統移速較快。降雨模擬方面，累積降雨預報中同化GPS或SSM/I結果最佳，沒有同化任何觀測資料的控制組降雨預報較差，以上結果顯示水氣和風場的修正對天氣預報的模擬很重要。

GPS 和其他觀測資料結合模擬結果方面，同時同化 GPS 和 dropsondes 時，可發現同化 dropsondes 資料對於模式模擬的影響較大。GPS 和其他觀測資料同化之結果顯示，有同化 GPS 會有明顯的改善。GPS cycling run 實驗中，同時同化多種資料對模擬有顯著的改善。針對 GPS 資料點位置的敏感度實驗，結果顯示颱風環流附近的單一 GPS 資料點，對於模式模擬結果有很大的影響。

## 一. 前言

目前主要用來改善數值天氣預報準確度，除了減少模式本身誤差與增進參數化方法，改善模式初始場亦為一項重要的研究。資料同化是改善初使場公認有效的方法之一，期望同化多種觀測資料改進模式的初始場，使其更接近於真實大氣狀態，進而提升數值天氣預報之準確度。

早期，關於同化折射率的研究中，Zou et al. (1995)和Kuo et al. (1997)發現若將大氣折射率同化至模式中，有助於模式對溫、溼度的掌握，對預報結果有相當正面的影響。近期，Huang et al. (2005)同化數點CHAMP折射率資料，陳(2008)、Kueh et al. (2009)、黃與王(2008)同化數點至數十點COSMIC GPS RO 折射率資料，結果顯示對侵台颱風路徑及雨量預報皆有正面的影響。簡與謝(2008)利用3DVAR進行同化投落送和QuikCAT實驗，模擬2006年碧利斯颱風(Bilis)和凱米(Kaemi)颱風對於路徑預報和雷達回波強度亦有所改善。

過去研究多針對一種觀測資料或是單一颱風個案進行模擬討論，較少研究整合所有觀測資料以及多種個案進行討論，本文研究目的在於綜合多種觀測資料模擬的結果進行討論，以同化GPS折射率資料為

主，模擬2008年梅雨和颱風個案。本文使用WRF 3DVAR (Three-Dimensional Variational Data Assimilation)方法，同化GTS傳統資料(探空、船舶等)、GPS折射率資料、SSM/I海平面風速與水氣資料、QuikSCAT風向與風速資料、飛機投擲投落送(dropsonde)觀測資料，討論同化不同資料對於台灣地區颱風和梅雨模擬預報的改善程度。

## 二. 研究方法

### 2.1 WRF 3DVAR 簡介

WRF 3DVAR 是由NCAR所設計用於WRF模式加入的三維變分資料同化系統，此系統可同化多種觀測資料進而改進模式的初始場(Huang et al. 2002)。WRF 3DVAR 是透過價值函數(cost function)的極小化來調整分析場，價值函數的定義為：

$$J = \frac{1}{2} \{ (x - x_b)^T B^{-1} (x - x_b) + [y_{obs} - H(x)]^T O^{-1} [y_{obs} - H(x)] \} \quad (1)$$

當函數 $J$ 極小值可以使分析變數 $x$ 與背景變數 $x_b$ 的誤差在引進觀測資訊 $y_{obs}$ 時有最佳的調整。

### 2.2 資料來源

FORMOSAT-3 GPS RO 資料來自於2006年台灣與美國共同合作的FORMOSAT-3/COSMIC計畫，於美國加州成功發射。因為大氣層的密度不同，造成電磁波偏折以及速度的改變，使得LEO上GPS的接收器接收電磁波

的相位發生改變，在GPS和LED這兩顆衛星之間傳送的所發生的相位延遲稱做相位超出量(phase excess)，藉由這些相位超出量，透過都卜勒平移來求得偏折角(bending angle)，再利用Abel inversion(假設折射指數為球對稱分佈)：

$$\ln(n(x)) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\alpha(a)}{\sqrt{a^2 - x^2}} da \quad (2)$$

來計算得大氣折射指數  $n$  (refractive index)的垂直分佈，接下來利用  $N = (n-1) \times 10^6$  求出折射率  $N$ ，折射率與氣壓  $P$ 、溫度  $T$ 、水汽壓  $P_w$  之間存在一關係式：

$$N = 77.6 \times \left(\frac{P}{T}\right) + 3.73 \times 10^4 \left(\frac{P_w}{T^2}\right) \quad (3)$$

為局地(local)折射率公式(Thayer, 1974)，若已知折射率可反演出相對應的氣壓、溫度、與溼度場，得出在近地點的溫度和水汽含量的垂直變化。本文使用非局地(nonlocal)運算子。

本文使用的SSM/I衛星資料是由美國國家海洋大氣總署NOAA所提供，選取DMSP F-13和F-14兩顆衛星所觀測反演的海平面風場和可降水量資料。QuikSCAT資料是由NCAR GTS 資料中所截取出，利用搭載在QuikSCAT 衛星上的SeaWinds 散射計，能在各種天氣狀況下反演出二維近海面風場資訊。投落送資料為侵台颱風之飛機偵察及投落送觀測實驗DOTSTAR投擲之投落送，取得天氣現象周圍關鍵區域的大氣環境資料。

### 2.3 實驗設計

本文採用數值天氣預報模式為WRF 2.2版，共選取2008年6月13日和6月25日兩個梅雨個案，三個颱風個案，7月卡玫基(Kalmaegi)颱風、鳳凰(Fung-Wong)颱風以及9月薔蜜(Jangmi)颱風分別做討論。初始分析場和邊界場皆使用NCEP/AVN的再分析資料，其解析度為 $1^\circ \times 1^\circ$ 。模式設定為三層槽狀網格，解析度分別為45km、15km、5km，水平網格數皆為 $151 \times 151$ ，垂直分層皆為35層，積分時間為180秒。WRF 3DVAR的方法中，同化窗區時間選擇初始時間前後三小時。

本研究之實驗設計如表1，五個個案分別同化了15~43個GPS RO 折射率資料點。

## 三. 模式模擬結果討論

### 3.1 初始場增益量

首先將討論在同化各種資料後的實驗組初始場與控制組None初始場之間的差異。初始場增益量受到每種資料的觀測位置所影響，修正量值的大小也因不同觀測資料而有所不同。GPS資料點不固定，dropsondes 資料局限於台灣地區附近，SSM/I和QuikSCAT在海面上才有資料，GTS資料種類多分佈範圍廣，造成修正量的分佈上有很大的不同。濕度增益

量方面，模式低層因同化GPS、GTS、dropsondes資料皆較無同化資料乾，同化SSM/I資料則有台灣以北較濕、以南台灣較乾之現象，其中以同化SSM/I或GTS資料所修正的量值最大。溫度增益量方面，同化GPS資料在低、高層有增溫，中層則是降溫的現象，同化GTS資料在陸地上也有增溫的現象，同化其他觀測資料則因個案不同而異，以同化GPS或GTS修正量值最大。風速增益量方面則是同化dropsondes或QuikSCAT的修正量值最大。

表 1. 模擬實驗設計

Experiments	Assimilated data
None	No assimilation
EPH	Assimilated with FORMOSAT-3 GPS RO by using the nonlocal operator
Drop	Assimilated with dropsondes data
CGTS	Assimilated with the conventional data from CWB
SSMI	Assimilated with SSM/I data (wind speeds and total column water vapor)
QSCAT	Assimilated with QuikSCAT data (wind speeds and directions)

### 3.2 個案模擬結果

個案模擬結果，0613梅雨個案和卡玫基颱風模式模擬結果不佳，同化觀測資料後改善並不明顯。推論造成0613梅雨個案模擬結果(圖略)不佳的原因，在於上層季風槽的模擬結果不佳，槽線移動較真實觀測快許多。卡玫基颱風(圖1)，推論造成此個案模擬結果不佳的原因，在於模式所模擬出的副高位置和伸展與SSMI和QSCAT皆較None結果佳，EPH和Drop則較None差，就登陸位置而言，各個實驗都比None佳，本個案None本身結果不錯，同化實驗路徑結果差異並不大，主要的差益在於降雨的預報和颱風登陸的位置。薔蜜颱風(圖3)除了EPH結果較差外，其他實驗在颱風登陸台灣之前的模擬都稍偏南，Drop模擬路徑預報最佳，但移速較真實路徑快6小時，其次是同化GTS，EPH誤差很大將會在本文第四章進行討論。

降雨模擬方面，只針對模擬結果較佳的個案，0625梅雨模擬第二天的累積雨量EPH和SSMI最佳，第三天累積雨量CGTS和SSMI最佳。鳳凰颱風模擬第二天的累積雨量EPH和QSCAT最佳，第三天累積雨量SSMI最佳。薔蜜颱風模擬第二、三天的累積雨量都是Drop最佳。綜合來看，將三個個案的所有實驗計算RMS(圖4)可看出在以EPH和SSMI的降雨模擬較佳None的模擬結

果則較差，顯示同化水氣的觀測資料有改善模式預報降雨的模擬。

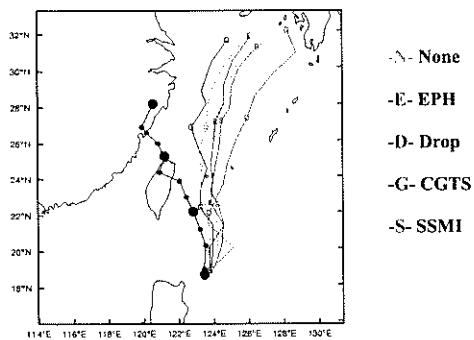


圖1. 卡玫基颱風最佳路徑(圓點)與模擬實驗之路徑圖。

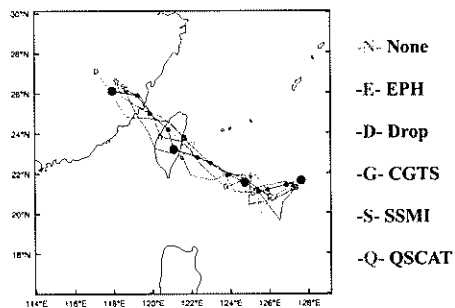


圖2. 鳳凰颱風最佳路徑(圓點)與模擬實驗之路徑圖。

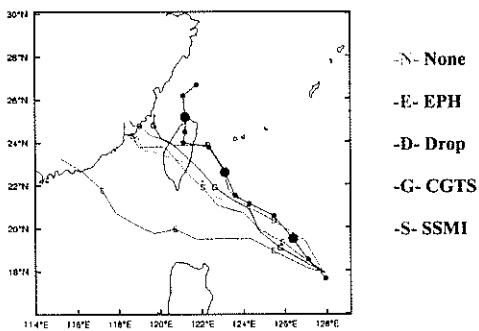


圖3. 蕃蜜颱風最佳路徑(圓點)與模擬實驗之路徑圖。

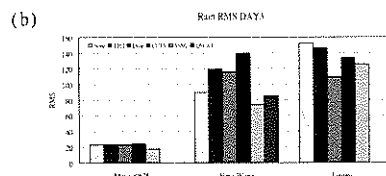
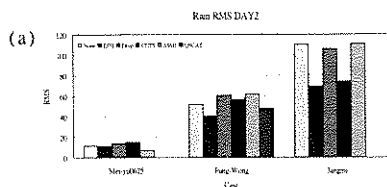
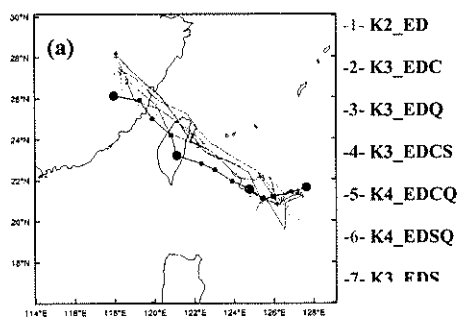


圖4. 0625 梅雨、鳳凰颱風、蕃蜜颱風每個實驗模擬累積降雨預報的RMS。(a)第二天，(b)第三天。

#### 四. FORMOSAT-3 GPS RO 觀測資料測試

前述的模擬都為同化單一觀測資料的實驗，為了更了解 FORMOSAT-3 GPS RO 觀測資料對於模擬的影響，將進行其他資料與 GPS 資料結合的實驗，以及增加 GPS 資料點數的模擬實驗，選取模擬結果最佳的個案鳳凰颱風進行模擬討論。在先前個案模擬結果中發現蕃蜜颱風 EPH 實驗的結果很差，接下來將進行 GPS 觀測點位置敏感度的測試，希望可以了解誤差的來源為何。

首先以 GPS 資料為主，分別同時同化兩種至五種的觀測資料，舉例來說 K2\_ED 表示同化表 1 中 EPH 和 Drop 的資料，即同時同化 GPS 折射率資料和 dropsondes 資料，以此類推共有 15 組實驗。模擬第一天南北震盪現象仍存在，顯示對於颱風中心強度模擬並無改善。模擬第二天之後可將模擬結果大致上分為兩類，第一類(圖 5(a))為有同化 dropsondes 資料實驗個案，可看出只要同時同化 GPS 和 dropsondes 的實驗結果都較最佳路徑來的偏北，發現同化 dropsondes 資料對於模式模擬的影響大於同化 GPS 資料。第二類(圖 5(b))為沒有同化 dropsondes 資料實驗個案，有同化 GPS 和其他觀測資料則有明顯的改善，其中 K2\_EC 和 K4\_ECSQ 模擬結果最佳。



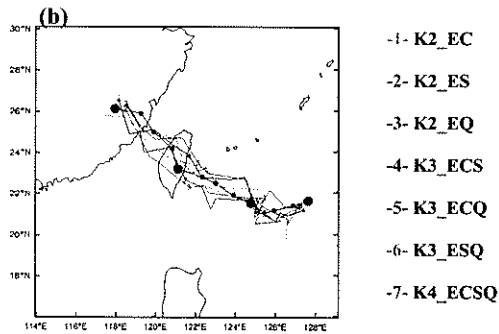


圖 5. 鳳凰颱風最佳路徑(圓點)與 GPS 與其他觀測資料結合模擬實驗之路徑圖。(a)有同化 dropsondes 資料, (b)無同化 dropsondes 資料。

利用 cycling 的方法在 00、06、12 時分別同化 43、20、31 點 GPS 觀測資料, 只同化 GPS 資料的 cycling 實驗稱為 EPH\_CYC, 將模擬結果最佳的 K2\_EC 和 K4\_ECSQ 作 GPS cycling 的實驗, 分別簡稱為 K2\_EC\_CYC 和 K4\_ECSQ\_CYC。GPS cycling run 模擬實驗之路徑圖(圖 6), 可知模擬第一天得誤差仍存在, 但在第二天之後 K2\_EC\_CYC 和 K4\_ECSQ\_CYC 與最佳路徑相似, 兩模擬結果皆優於原本沒有 GPS cycling 實驗的模擬, 但 EPH\_CYC 模擬的結果反而比 EPH 結果差。

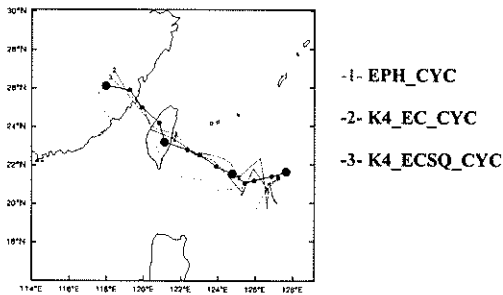


圖 6. 鳳凰颱風 cycling run 模擬實驗之路徑圖。

由蕃蜜颱風模擬路徑圖(圖 3)顯示, EPH 模擬結果誤差很大, 由風場增益量可知台灣附近的 GPS 資料點應該是影響模擬誤差的主因。蕃蜜颱風同化 GPS 資料點之分佈圖(圖 7), 其中台灣附近四點分別標記為 1、2、3、4。敏感度測試實驗分別去除四點中三點、除去四點中兩點、除去四點中一點、四點皆去除的實驗, 以此類推共有 15 組實驗, 藉此可了解這四點觀測對於模式模擬結果的影響。

綜合模擬結果(圖 8)顯示去除四點所模擬出的結果最佳, 其中只要有同化點 4 結果都會變很差, 所造成的誤差幅度很大, 其次是點 2, 都是對於模擬有負面的影響, 當不同化點 2、4 則有很明顯的改善。GPS 觀測點 4 在此模擬實驗主宰了整個模式的結果, 與附近

的 dropsonde 觀測點作比較, 此點在觀測值上並無問題, 可能的因素為經過 WRF 3DVAR 的同化調整使此觀測點有負面的影響, 此方面的影響因素有很多, 同化資料系統和觀測資料之間的調整, 觀測誤差以及背景誤差的設定, 都會產生誤差, 同時此點為颱風上游距離颱風最近的一觀測點, 直接影響了模式的預報, 但真正的主要原因尚未釐清, 能確定的是同化系統調整後增強了此點的負面影響, 但當去除掉會造成誤差的點後, 同化 GPS 資料對於模式預報仍有正面的影響。

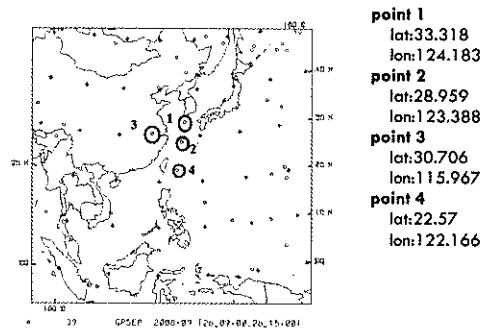


圖 7. 蕃蜜颱風同化 GPS 資料點之分佈圖。

## 五. 總結與未來展望

本篇研究使用 WRF 模式和 3DVAR 資料同化方法進行模擬。選取 2008 年兩個梅雨事件(0613、0625)和侵襲台灣的三個颱風個案(卡玫基、鳳凰、蕃蜜), 分別同化 FORMOSAT-3 GPS RO 折射率資料、追風計畫投擲的 dropsondes 資料、SSM/I、QuikSCAT 衛星觀測資料與 CWB 提供的傳統觀測資料 GTS, 探討五種不同觀測資料對模式初始場和數值天氣預報的影響, 比較分析初始場增益量、個案模擬結果和降雨的預報, 最後針對 GPS RO 折射率資料作敏感度測試。

觀測資料對模式初始場的修正結果顯示, 同化 SSM/I 或 GTS 的濕度修正量比同化其他觀測資料大, 溫度修正量方面則是同化 GPS 或 GTS 修正量較多, 同化 dropsondes 或 QuikSCAT 在風速修正量值最為顯著。個案模擬結果, 同化 GTS 或 SSM/I 資料模擬結果最佳, 同化 QuikSCAT 資料也有改善路徑預報, 同化 GPS 對路徑改善並不明顯, 同化 dropsonde 天氣系統的移速都比其他實驗來的快。降雨模擬方面, 累積降雨預報中同化 GPS 或 SSM/I 結果較佳, 上述結果顯示觀測資料點的分佈和水氣、風場的修正對模擬結果很重要。此外 GPS 資料分佈位置和數量不固定, 影響模擬結果的程度也不同, 不過在水氣修正方面對模式有正面的影響。

GPS 和其他觀測資料結合模擬結果方面, 比較發現同化 dropsondes 資料對於模式模擬的影響大於同

化 GPS 資料，不過在與其他資料結合模擬結果，有同化 GPS 則有明顯的改善，其中 K2\_EC 和 K4\_ECSQ 模擬結果最佳。利用 cycling run 的方法增加 GPS 資料點數，在同時同化多種資料時卻有明顯的改善。針對 GPS 資料點位置的敏感度實驗，GPS 觀測點 4 在此模擬實驗主宰了整個模式的結果，對於模式有負面的影響，但當去除掉會造成誤差的點後，同化 GPS 資料對於模

式預報是有正面的影響，顯示颱風附近觀測點對於模式模擬結果有很大的影響，一個 GPS 資料點能對模式模擬的結果產生很顯著的影響。關於 GPS 資料點敏感度實驗中的結果，在未來將會嘗試其他方面的測試，如：使用局地運算子或將 GPS 資料分層同化，尤其是點 4 對整個模式的影響，增益量如何改變、傳送、移動等動力方面的變化值得未來繼續探討。

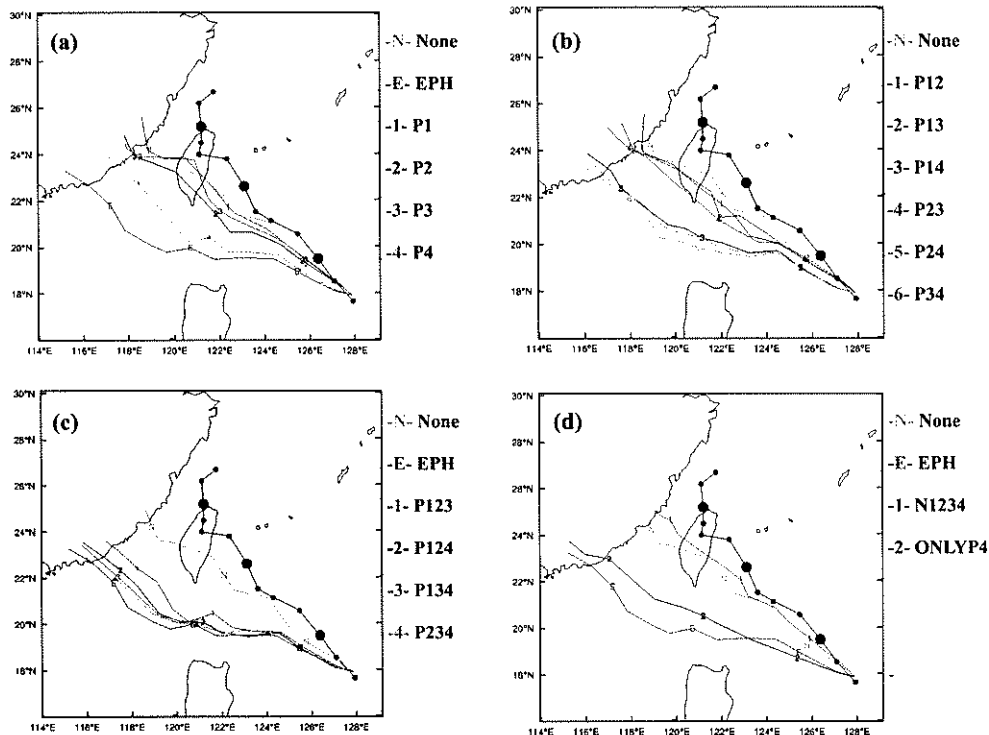


圖 8. 薔蜜颱風最佳路徑(圓點)與 GPS 資料點敏感度模擬實驗之路徑圖。標記 N 為模擬實驗 None、E 為 EPH，(a) 去除 3 點的模擬實驗，(b) 去除 2 點的模擬實驗，(c) 去除 1 點的模擬實驗，(d) 去除 4 點以及只有同化 point 4 的模擬實驗，每天 00 時標記符號。

### 參考文獻

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

簡芳菁、謝章眉，2008：投落送與 QuikSCAT 資料同化對 WRF 模擬之影響。大氣科學，36，217-248。

黃清勇、王潔如，2008：衛星遙測資料三維變分同化對於颱風模擬的影響。大氣科學，36，249-274。

Huang, C.-Y., Y.-H. Kuo, S.-H. Chen and F. Vandenberghe, 2005: Improvements on typhoon forecast with assimilated GPS occultation refractivity. *Weather and Forecasting*, 20, 931 - 953.

Kueh, M.-T., C.-Y. Huang, S.-Y. Chen, S.-H. Chen and C.-J. Wang, 2008: Impact of GPS radio occultation soundings on prediction of Typhoon Bilis (2006) landfalling Taiwan. *Terr. Atmos. Oceanic Sci.*, in press.

Kuo, Y.-H., X. Zou, and W. Huang, 1997: The impact of GPS data on the prediction of an extratropical cyclone: An observing system simulation experiment. *J. Dyn. Atmos. Ocean*, 27, 413-439

Tuleya, R. E., and S. J. Lord, 1997: The impact of dropwindsonde data on GFDL hurricane model forecasts using global analyses. *Wea. Forecasting*, 12, 307-323.

Ware, R., and Co-authors, 1996: GPS soundings of the atmosphere from low earth orbit: Preliminary results. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 19-40.