

# 南海季風實驗期間加密探空對MM5模式模擬之影響

簡芳菁 羅靜瑜

國立台灣師範大學地球科學系

## 摘要

本文使用國際南海季風觀測實驗計畫(SCSMEX)在1998年6月5日至6月24日期間的加密探空資料(0600UTC及1800UTC)，探討該資料對於中尺度模式MM5在梅雨期間豪/大雨預報的影響。

研究結果發現，透過客觀分析及四維資料同化(FDDA)的方法把加密探空加入MM5模擬中時，風場的預報有顯著的改進，溫度、壓力、及溼度的預報也有幫助，不過僅在較低層之大氣及較長的預報時其效益才較明顯。當校驗的範圍縮小至僅包括華南及台灣地區時，加密探空資料有更明顯的效益，原來預報改進較不明顯的溫度場、海平面氣壓、相對溼度，甚至重力位高度，在模式預報36小時可以得到較正面幫助。

當我們把所有個案區分成多雨期(梅雨期間)及少雨期(梅雨結束後)進行分析時，發現加密探空資料對於模式在多雨期的預報，較少雨期的預報更能顯現其對各個氣象場預報的改善。另外，當我們僅針對初始時間為1200UTC的個案進行分析時，加密探空資料對於模式預報結果的貢獻比初始時間為0000UTC的個案之貢獻為明顯。在降水預報方面，全期的三組實驗在12~24小時降水預報以含有加密探空則表現最佳，最差的是有四維資料同化者。但是，當預報時間增長至24~36小時，四維資料同化對於模式的降水預測能力有了實質的幫助，為三者中最好的。當我們將全期所有個案分成以0000UTC或1200UTC為初始時間兩組分別討論，我們進一步發現，加密探空資料及四維資料同化對於模式在夜間降水的預測有較大的貢獻，但是，對於日間的降水預報的幫助有限。

## 一、前言

台灣地處歐亞大陸與西太平洋交界，又位於中、低緯過渡的副熱帶地區，再加上島內中央山脈高聳，獨特的地理位置與地形使得島內天氣多變。一般最常影響台灣地區進而造成災害的天氣型態以颱風及梅雨鋒面所伴隨之豪/大雨為主。根據中央氣象局統計，最近15年來，因氣象災害在台灣地區所造成的直接財物損失，平均每年高達新台幣157億元(葉，1998)。梅雨雖不及颱風破壞力之強大，不過當有豪/大雨的形成時，往往伴隨山洪及土石流之災害。例如1981年5月28日的豪雨個案，及1984年6月3日、6月10日的豪雨個案等，均造成四十~六十億美元的損失(Chen, 1992)。

以往對於梅雨季在台灣地區所造成的豪/大雨現象所知相當有限，因此預報能力也偏低。丘等(1993)針對1992年5~6月進行的Post-TAMEX(陳與謝，1992)期間發生的豪/大雨個案進行預報準確率之評估，他們發現對此期間內的豪/大雨個案中，屬於伴隨鋒面類型之

豪/大雨預報之準確率已提升至48%，可見對於強綜觀強迫所導致的豪/大雨已有較深入的認知；但是，對無強綜觀強迫的豪/大雨預報準確率則僅有25%(葉，1998)。顯示中小尺度天氣系統所引致之降水，至今仍是國內預報作業最不易掌握而亟待進一步突破的課題。

Chen et al. (1998a)使用中尺度模式MM5成功地模擬1991年6月12~13日長江下游地區之暴雨個案，模擬的雨帶大小與強度和觀測結果相當接近。Chen et al. (1998b)也使用MM5模擬1991年6月21~25日在台灣中央山脈西側造成豪/大雨的梅雨鋒個案，其中尺度對流系統的發展及低層噴流加強的過程均能在模式中清楚顯現。另外，Yang et al. (2000)對1998年6月4~5日的梅雨鋒，使用MM5進行一系列數值模擬實驗，並評估了模式中不同的微物理過程與次網格積雲參數化對於梅雨鋒降水模擬的成效。

由過去的研究可見，如果能確切地掌握梅雨季節常見的中、小尺度系統，並進一步了解這些系統發生的機制，充分利用各種觀測資料，配合數值模式高解析的數值模擬(例如，

MM5)，將可提高我們對於豪/大雨的預報能力。然而，台灣因四周環海，鄰近洋面上的觀測資料相當稀疏，對數值模式資料的初始化造成很大的限制。此種觀測資料不足的情形，若能透過觀測實驗的進行來加以改善，以獲致更多的觀測資料，期能提昇模式模擬的能力，並進一步了解真正影響模擬成效的因子。

南海季風觀測實驗(South China Sea Monsoon Experiment, SCSMEX)為東亞、東南亞及其鄰近國家和地區合作完成的一項大型計劃(王等, 1999; Lau et al. 2000)。此實驗研究的核心內容之一是進行為期四個月(1998年5月~8月)的外場觀測，使能更瞭解在南海周邊，包括東南亞、台灣及大陸等地區季風的肇始、維持和變化的主要物理過程，進而能改進春夏季風或東南亞及東亞的短期氣候預報。在SCSMEX的IOP期間於華南及台灣地區共有37個探空站執行每天四次的觀測，本論文即使用此加密資料來測試MM5模式對於梅雨季豪/大雨的預報能力，並研究加密探空對模式之模擬有何影響。同時，我們也將使用這些資料來測試及評估四維資料同化(Four-Dimensional Data Assimilation, FDDA)是否有助於數值模式對於豪/大雨的預報。

## 二、模式、資料與研究方法

為了瞭解加密探空對數值模式的影響，我們使用中尺度模式MM5(全名為PSU/NCAR Mesoscale Model Version 5)來進行模擬。模式設計包括有兩個網格，水平方向的解析度分別為45km及15km(圖1)。垂直方向，使用 $\sigma$ 座標，共27層。模式中使用的物理過程包括：Simple Ice雲物理參數化法，即不考慮過冷水及雪的瞬間融化；MRF邊界層參數化法；雲輻射法(Cloud-Radiation Scheme)，足以解釋長、短波輻射與雲、大氣間的交互作用，以及描述大氣的溫度趨勢，同時提供地面輻射通量；KF(Kain-Fritsch)積雲參數化法(Grell et al., 1994)等。

本研究使用的初始資料有兩組：第1組為傳統的觀測資料經中央氣象局的全球模式所得的分析場，每六小時一筆，一天共有四筆，時間為0000 UTC、0600 UTC、1200 UTC、及1800 UTC。第2組同第1組，但再加入前述IOP期間的加密探空資料於0600 UTC及1800 UTC兩個時間。第1組因未含加密探空，故在0600 UTC及1800 UTC的分析場大多以全球模式的預報結

果為主，而第2組則有探空資料加入該兩時段之客觀分析中。

本研究共進行三組實驗，分別是Exp1、Exp2、及Exp3。Exp1使用前述的第1組資料，不含加密探空資料在內，不進行四維資料同化。Exp2使用前述的第2組資料，所以含有加密探空資料，而Exp3除了使用加密之探空資料外，在模擬過程中也加入FDDA nudging的功能，期望把觀測資料同化至模式中，使模式的預報結果更接近於觀測。以上每組實驗各進行了39個模擬，初始時間包括1998年6月5日0000 UTC ~ 6月24日0000 UTC期間每日的0000 UTC及1200 UTC，每一個模擬的長度皆為36小時，總計三組實驗共有117個模擬。

我們針對各組實驗第二層網格在模式預報12、24及36h於四個不同等壓面(1000、850、700及500 hPa)的氣象場，包括：風場(U、V)、溫度場(T)、重力位高度(H)、相對濕度(RH)及海平面氣壓(SLP)計算其RMSE。我們以Exp2實驗每12h的分析場當作近似實際的觀測場，而各組實驗的MM5模擬結果則為預報場。當RMSE值越小，表示模式模擬的結果越好，亦即預報越接近分析場。

為瞭解加密探空資料在數值模式中對於不同區域的影響，我們也將細網格(D2)分成二個不同範圍的校驗區域：ALL及SCTW，分別求取各區域內所有網格點之氣象場的RMSE，並比較兩者的RMSE有何異同。其中，ALL區域的範圍包含整個D2的網格點；SCTW僅包括台灣及華南地區鄰近的網格點(如圖2)。

因為1998年梅雨季的降水主要集中在6月5日0000 UTC ~ 6月10日1200 UTC期間，因此，我們除了討論整個模擬期間(全期，6月5日0000 UTC ~ 6月24日0000 UTC)所計算的RMSE之外，更進一步把計算分成多雨期(6月5日0000 UTC ~ 6月10日1200 UTC)及少雨期(6月11日0000 UTC ~ 6月24日0000 UTC)兩個時期，以探討加密探空資料對此兩個不同降雨特性時期的影響(參見表一)。同時，為了探討模式初始時間不同時，加密探空資料是否對於預報結果會有不同的影響，我們也將各組實驗的模擬分成兩組，一組是以0000 UTC為初始時間的所有個案(以下簡稱為0000 UTC runs)，另一組是以1200 UTC為初始時間的所有個案(以下簡稱為1200 UTC runs)，分別求取其RMSE(參見表一)。

在雨量預報的校驗方面，我們將各組實驗在台灣地區陸地上的預報降雨與全省自動雨量站的觀測值作比較，分別計算6月5日0000 UTC ~ 6月24日0000 UTC期間各組實驗的所有個案

在臺灣地區降水預報的公正預兆得分(Equitable Threat Score, Black 1994, 簡稱ETS)。

### 三、各氣象場的均方根誤差

本節我們將探討並比較當加密探空加入中尺度模式及使用四維資料同化時，對模擬的結果有何影響，我們選擇低層大氣(500mb以下)為主要討論範圍。

#### (一) 全期的均方根誤差

圖3為全期的所有個案在ALL區域的RMSE，其中共有20個小圖。第一列至第五列依次為東西向風速(U)、南北向風速(V)、溫度(T)、重力位高度(H)<sup>1</sup>、相對溼度(RH)。第一行至第四行依序為1000hPa、850 hPa、700 hPa、及500 hPa。由Exp1(斜線)與Exp2(網狀)的風場預報(U及V)顯示，在12h時，Exp2的RMSE都比Exp1大，但在預報24h及36h時，除了500 hPa較不明顯外，Exp2的RMSE大部分皆比Exp1小，顯示在進行MM5模式的模擬之前，加入加密探空資料，將使預報風場隨預報時間的增長而有所改進。

比較Exp2與Exp3(黑色)可以發現，除了少數時間及高度(例如，850 hPa)外，Exp3的RMSE均比Exp2低，尤其在36h時，可以清楚地顯現Exp3的預報誤差比Exp2小的多。因此，在模式模擬的過程中，充分利用加密探空資料，並且進行四維資料同化，把觀測資料同化至模式中，可以改善模式的風場預報，且在36h的預報達到最顯著之效果。同時，由這八個小圖我們也發現，Exp1及Exp2的RMSE皆隨著預報時間的增長而明顯變大，而Exp3則否。亦即，就長時間的預報而言，四維資料同化的技術能有效地抑制模式在預報上誤差的成長。

比較各組實驗在溫度場(T)的預報表現，可見三組實驗的RMSE皆非常接近，加密探空資料及四維資料同化的效益僅在850 hPa或36h時有稍微顯現出來，不過總體而言，其幫助仍然有限。顯見加密探空資料或四維資料同化對於模式在溫度場的預報上並沒有太大的助益，僅在36h的預報中略有幫助。

在海平面氣壓(SLP)的表現上，Exp2在三個預報時段皆比Exp1的預報結果為佳，同時，加入FDDA可以進一步降低其RMSE(Exp3)。在850hPa、700hPa、及500hPa重力位高度(H)的預

報方面，我們發現，Exp2與Exp1的RMSE差距並不大，而且FDDA只有在36h時較有正面的效益，不過對500hPa的重力位高度而言，即使在12及24h時，Exp3的RMSE就已明顯較小。顯見加密探空資料對於重力位高度的預報並無明顯助益，但加入FDDA之後，對於較長的預報，重力位高度的誤差可顯著降低。至於相對濕度(RH)的預報，僅在36h時可見Exp2表現較Exp1為好的結果，其餘大多是較差的結果，而Exp3的RMSE則均較Exp2為大。

綜而言之，針對三組實驗於全期在ALL區域的預報結果我們發現，使用加密探空資料，以及在模式模擬的過程中使用四維資料同化，對於模式在風場的預報有顯著改進，尤其是在模式預報36h時，改進的情形最明顯。但是，溫度場的預報僅在預報36h略有改善；海平面氣壓的預報顯示加密探空對模擬有正面幫助，若再加上FDDA的功能，進步就更明顯了。至於重力位高度，則僅在預報時間較長時有明顯助益。在相對溼度的預報上，加密探空資料有助於預報結果，特別是在預報長度增長時。

若僅針對華南及台灣地區(SCTW區域)的網格點進行平均，可見SCTW區域在1000 hPa的風場與ALL區域幾乎一樣(圖略)，但在其它三個高度，隨著預報時間加長，各組實驗的RMSE均比ALL大，尤其以Exp1增大最多，而Exp2次之，Exp3最少。換句話說，當校驗點大多落在陸地上時加密探空資料與四維資料同化技術對風場預報的改進更為明顯。類似的結果也發生在溫度的預報上，雖然，差異並不大，但是在預報36h時，可以看到SCTW中的RMSE分布有更明顯地Exp3 < Exp2 < Exp1的分布。

相較於ALL區域，四維資料同化的方法在SCTW區域對於海平面氣壓預報的正面影響較顯著，特別是在模式預報36h時。至於重力位高度的預報，我們發現Exp3的RMSE減小了，尤其是36h的預報。而其它二組實驗的RMSE卻增大了，相對地，顯現出FDDA對於模式在預報36h的貢獻。

另外，SCTW區域與ALL在相對溼度的差異也是在預報36h較明顯。除了850 hPa之外，原本在ALL區域，Exp3有最大的RMSE，在SCTW區域則出現較小的結果。亦即，使用四維資料同化方法的優點在此時顯現出來了。可見在ALL區域中，因含有許多洋面，FDDA的結果可能強迫模式改變其水氣的預報到不良的分析上，因此造成較大的誤差。

綜合以上SCTW區域與ALL的比較我們發現，加密探空資料或四維資料同化在SCTW區

<sup>1</sup> 第四列第一行例外，該圖為海平面氣壓(SLP)的均方根誤差。

域的結果，除了保留而且加大在ALL區域時對風場的預報的改進之外，對於在ALL區域預報原改進較不明顯的溫度場、海平面氣壓、相對溼度，甚至重力位高度，在SCTW區域於模式預報36h時均可以看到較正面的幫助。此結果正充分說明了前面針對ALL區域有關FDDA分析場可能含有不良資料的推斷，當我們把分析的範圍縮小至SCTW區域時，洋面的網格點大大地減少了，因此，FDDA的模擬便顯示出正面的貢獻。

## (二) 多雨期與少雨期均方根誤差的比較

若僅針對多雨期在ALL區域計算的RMSE，可見Exp1風場預報在24及36h的RMSE，變得比全期的為大(圖略)，尤其是在預報36h時。因此Exp2與Exp3相對應於Exp1分別顯著降低了RMSE。也就是說，在多雨期間，加密探空資料及四維資料同化更明顯地改善模式風場的預報結果。

溫度場的預報與全期的結果差異不大。不過，在預報36h時，多雨期可以較明顯地看到Exp3的預報結果比其它二組實驗好。同樣地，FDDA及加密探空對於模式在36h海平面氣壓的預報結果在多雨期有較大的幫助。重力位高度也有類似的結果；至於相對溼度的表現，則與全期沒有太大的差別。

由少雨期各個氣象場在ALL區域的RMSE，可見在風場的預報上，不但Exp2的RMSE增大了(圖略)，甚至出現比Exp1大的結果，類似的情況也發生在其他的氣象場上。

換言之，由以上多雨期與全期及少雨期與全期的比較我們得知：平均而言，加密探空資料與四維資料同化對於模式在多雨期的預報，較能凸顯其對各個氣象場預報的改善。這顯然對災害天氣預報而言是個好消息，因為加密探空對於提昇豪／大雨的預報有正面的效益，無疑對於改進數值模擬技術而言提供了一個可行的方向。

## (三) 不同初始時間(0000 UTC或1200 UTC)均方根誤差的比較

我們進一步把全期各組實驗的模擬分成兩組，分別為0000 UTC runs及1200 UTC runs，並對兩組實驗求取各氣象場之RMSE，以探討模式中不同之初始時間對於預報結果有何不同之影響，並進而探討模式對日、夜間降水預報之能力有何差異。

平均而言，加密探空與四維資料同化對於1200 UTC runs的貢獻比0000 UTC runs為大。例

如風場(U、V)在24h及36h之預報，1200UTC runs的預報均更明顯顯現Exp3的RMSE比Exp2小，且Exp2又比Exp1要小的結果(有少數例外)。海平面氣壓與重力位高度也大致有上述類似的結果；不過，溫度及相對溼度則沒有。

總之，當我們針對初始時間為1200 UTC的個案進行分析時，我們發現，加密探空資料或四維資料同化對於模式預報結果的貢獻比初始時間為0000 UTC的個案為明顯。因為在東亞地區0000 UTC是早上八點，而1200 UTC是晚上八點，故一般而言，觀測資料的質與量在0000 UTC均比1200 UTC為優，導致0000 UTC的初始資料優於1200 UTC。因此，MM5一般可以在0000 UTC runs中獲得優於1200 UTC runs的模擬。所以，1200 UTC runs在沒有加密探空資料或四維資料同化的協助下會有較大的誤差，故更能顯現當加入加密探空或四維資料同化後所得的正面效益。

## 四、降水預報的比較

由各組模擬的雨量預報結果裡，可獲得台灣地區所有網格點上預報的12h累積降水量；同時，我們以每一網格點為中心，取邊長約為15公里正方形範圍內的所有自動雨量站之觀測值的算數平均值作為觀測之雨量，兩者相互比較，以求得公正預兆得分(ETS)。以下我們分別就三組實驗所計算的ETS來探討加密探空資料及四維資料同化對於台灣地區降水預報是否有正面的幫助。

圖4a、b分別為全期三組實驗在台灣地區12~24h及24~36h降水預報的ETS，用來判別有無降水之門檻(threshold)包括有0.3、2.5、5.0、10.0、15.0、25.0、35.0、50.0 mm。ETS越大，表示降水預報越準確。首先，由圖中可見，當降水門檻越大時，三組實驗的降水預報之ETS越小，換句話說，模式對於大雨的預報能力較低。

對12~24h累積降水的預報(圖4a)而言，在所有降水門檻皆以Exp2的降水預報結果最好，其次為Exp1，最差的是使用四維資料同化技術的Exp3。可見加入加密探空資料有助於提昇台灣地區降水之預報能力，而FDDA對12~24h之降水預報似乎沒有正面之幫助。不過，在預報24~36h之降水時(圖4b)，降水門檻小於10 mm的預報結果以Exp3最接近觀測值，次佳為Exp2，最差的是Exp1。亦即，當預報時間增長時，四維資料同化對於模式的降水預測能力有了實質的幫助，同時，加密探空資料在24~36h仍然對於模式的預報有不錯的改善。降水門檻大於

10mm時，Exp3的得分略為下降，不過仍然比Exp1要高。可見使用四維資料同化的方法把加密探空資料輸入模式對於降水的長期預報能力會有明顯的貢獻。

圖4c,e分別為初始時間0000 UTC及1200 UTC個案之平均12~24h降水預報的ETS，由圖可見0000 UTC runs降水預報的得分一般皆比1200 UTC高，同時加密探空對降水模擬的正面影響也在0000 UTC runs中最明顯(Exp2的分數遠高於Exp1)。圖4d及f則分別為000UTC runs與1200UTC runs在24~36h降水預報之ETS，比較可見Exp2與Exp1的得分仍是0000 UTC runs較1200 UTC runs略高，而加密探空的幫助則以1200 UTC runs的結果較明顯(不過兩者得分皆不高)。至於四維資料同化的效應則對1200 UTC runs的貢獻要遠大於0000 UTC runs。綜合言之，我們看到加密探空與四維資料同化對於台灣地區夜間降水的模擬有比日間降水更顯著的正面幫助。

## 五、結論

本文使用國際南海季風觀測實驗計劃在1998年6月5日0000 UTC~6月24日0000 UTC期間的加密探空資料及全省自動雨量站的觀測資料，經由三組不同的實驗設計，探討加密探空資料及四維資料同化對於中尺度模式MM5在梅雨期間豪/大雨預報的影響。

在各個氣象預報場的RMSE方面，我們將6月5日0000 UTC~6月24日0000 UTC(全期)的所有個案，針對各個氣象預報場與其相對應之分析場求其RMSE。同時，將全期的個案進一步分成多雨期(6月5日0000 UTC~6月10日1200 UTC)及少雨期(6月11日0000 UTC~6月24日0000 UTC)兩個階段以了解三組實驗在不同氣候狀態下之預報能力有何不同。另外，我們也將全期各組實驗的模擬分成兩組，分別為以0000 UTC及1200 UTC為初始時間的個案求其RMSE，以探討模式中使用不同初始時間對於預報結果的差異。

整體而言，三組實驗於全期在整個細網格的預報結果顯示，在MM5模式模擬之中加入加密探空資料，對於模式在風場的預報有顯著改進，應用四維資料同化(FDDA)之技術可進一步降低風場模擬之誤差，尤其是在模式預報36小時，改進的情形最明顯。但是，溫度場的預報僅在36小時的預報中略有幫助，其他時間則幾乎沒有幫助。至於海平面氣壓的預報，當加入加密探空時，模擬顯示RMSE會降低，若再加上FDDA，則可進一步改進預報之誤差。而重

力位高度之預報則僅在預報時間較長時會有正面之幫助。在相對濕度的預報上，加密探空資料有助於預報之結果，特別是在預報長度增長時，但FDDA卻大都造成誤差更大的結果，可能是四維資料同化使用的分析場含有不良的資料(尤其在資料稀少的洋面上)，導致模擬結果反而更差。

同樣期間，加密探空資料及四維資料同化在華南台灣(SCTW)區域的預報結果，除了保留在ALL區域時對風場的預報有明顯的改進之外，對於在ALL區域預報改進較不明顯的溫度場、海平面氣壓、相對溼度，甚至重力位高度，在SCTW區域於模式預報36小時可以看到較正面的幫助。此結果正充分說明了針對ALL區域有關FDDA分析場可能在洋面上含有不良資料的推斷，當我們把分析的範圍縮小至SCTW區域時，洋面的網格點大大地減少了，因此，有FDDA的模擬便顯示出正面的貢獻。即密集探空對模式的模擬有其貢獻，在加入FDDA時，其幫助就更明顯了。

針對多雨期與少雨期個案所得的RMSE顯示，加密探空資料與四維資料同化對於模式在多雨期的預報，平均而言，比少雨期更能凸顯其對各個氣象場預報的改善。這顯然對災害天氣預報而言是個好消息，因為加密探空對於提昇豪/大雨的預報有正面的效益，無疑對於改進數值模擬技術而言提供一個可行的方向。

另外，由不同初始時間的所有個案之RMSE得知，當我們針對初始時間為1200 UTC的個案來分析時，加密探空資料的客觀分析或四維資料同化對於模式預報結果的貢獻比全期明顯，但是，對於初始時間為0000 UTC的個案之貢獻則不如全期的預報結果。換言之，對於初始時間為1200 UTC的個案在各個氣象場的預報之改善程度，平均而言較優於初始時間為0000 UTC的個案。此乃因在東亞地區0000 UTC是早上八點，而1200 UTC是晚上八點，故一般而言，觀測資料的質與量在0000 UTC均比1200 UTC為優，導致0000 UTC的初始資料優於1200 UTC。因此，MM5一般可以在0000 UTC runs中獲得優於1200 UTC runs的模擬。所以，1200 UTC runs更能顯見加密探空或四維資料同化的正面效益。

在降水預報方面，我們將模式預測所得在台灣地區的降水量與全省自動雨量站每12小時的累積降水量做比較，採用ETS校驗方法。結果顯示，全期的三組實驗中在12~24h降水預報以Exp2表現最佳，其次為Exp1，最差的是Exp3。可見加入加密探空資料有助於提昇台灣

地區降水之預報能力，而四維資料同化對12~24h之降水預報似乎沒有正面之幫助。不過，當預報時間增長為24~36時，四維資料同化對於模式的降水預測能力有了實質的幫助，同時，有加密探空的模擬仍然比不含加密探空的模擬要好。可見，雖然大部份的加密探空位於上游地區，不過，其對台灣地區降水之模擬仍有正面之幫助。因為，當對於上游大、中尺度環流有較正確之模擬時，模式對於其下游地區之降水必然會有較好之掌握。至於四維資料同化則僅在模擬時間較長時才對台灣地區之降水預報有正面之幫助。

當我們將全期所有個案分成以0000 UTC或1200 UTC為初始時間兩組分別討論時，我們進一步發現，加密探空資料、客觀分析及四維資料同化對於模式在夜間降水的預測有很實質的貢獻，但是，對於日間的降水預報的幫助有限。推測其原因應與前述觀測資料的質與量在0000 UTC(早上八點)均比1200 UTC(晚上八點)為優，導致0000 UTC的初始資料優於1200 UTC有關。因此，MM5一般可以在0000 UTC runs中獲得優於1200 UTC runs的模擬，故加密探空資料及四維資料同化對於夜間個案的降水預測幫助較大。

此外，在美國西岸，由於主要的天氣系統均在太平洋上形成並向東移至陸地，因此天氣預報非常仰賴其上游太平洋上的觀測資料。但是，受限於海洋上觀測資料相當稀少的事實，數值模擬及天氣預報的技術仍有改進的空間；因此，美國氣象學家未來將嘗試在當有天氣系統靠近時，利用P3飛機進行觀測或釋放Dropsonde在太平洋上空，期望能獲得更多的觀測資料，藉此來改進中尺度數值預報模式的預報能力。台灣四面環海，天氣預報上所遭遇的難題——觀測資料有限——與美西的情形類似。因此，本文利用SCSMEX在華南地區的加密探空資料進行研究，已瞭解這些資料的確對中尺度模式的模擬及豪/大雨的預報有所幫助。故期望此研究的結果所提供的訊息不但有助於提昇台灣地區數值模式預報之技術，也能有助於世界上其他類似地區的相關研究。

#### 致謝

本研究在國科會自然處研究計劃NSC89-2111-M-003-003-AP7 及 NSC89-2111-M-003-007-AP7支助下完成。感謝中央氣象局提供研究期間所需之資料，以及王作台教授、周仲島教授、及鄒治華教授提供許多建

議，使得本文得以順利完成。也感謝鄭婷華小姐在本文備稿時提供之協助。

#### 參考文獻

- 王作台，謝信良，莊文思，1999：南海季風實驗計劃國際合作研究成果。科學發展月刊，**27**，1031-1044。
- 丘台光、謝信良與林民生，1993：梅雨季中尺度對流系統預報作業化之研究。國家科學委員會防災科技研究報告82~39號，37頁。
- 陳泰然與謝信良，1992：台灣地區中尺度實驗計劃1992年預報實驗之規劃與執行計劃：預報實驗計劃辦公室(二)。國家科學委員會防災科技研究報告81~12號，60頁。
- Black, T. L., 1994: The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. *Weather and Forecasting*, **9**, 265-278.
- Chen, G. T.-J., 1992: Mesoscale features observed in the Taiwan Mei-Yu season. *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 497-516.
- Chen, S. J., Y. H. Kuo, W. Wang, Z. Y. Tao, and B. Cui, 1998a: A modeling case study of heavy rainstorms along the Mei-Yu front. *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 2330-2351.
- Chen, C., W. K. Tao, P. L. Lin, G. S. Lai, S.-F. Tseng, and T. C. Chen Wang, 1998b: The intensification of the Low-Level Jet during the development of mesoscale convective systems on a Mei-Yu front. *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 349-371.
- Grell, G. A., J. Dudhia, and D. R. Stauffer, 1994: A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale modeling(MM5). *NCAR Tech Note*, NCAR/TN-398+STR, 138 PP.
- Lau, K. M., Y. Ding, J. T. Wang, R. Johnson, T. Keenan, R. Cifelli, J. Gerlach, O. Thiele, T. Rickenbach, S.-C. Tsay, and P.-H.
- Lin, 2000: A report of the field operations and early results of the South China Sea Monsoon Experiment (SCSMEX). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **81**, 1261-1270.
- Yang, M.-J., F.-C. Chien, and M.-D. Cheng, 2000: Precipitation parameterization in a simulated Mei-Yu front. *TAO*, **11**, 393-422.

表一：計算RMSE的各種組合。

計算 RMSE 之 個案組合	6/5~6/10		6/11~6/24	
	0000UTC	1200UTC	0000UTC	1200UTC
全期	√	√	√	√
多雨期	√	√		
少雨期			√	√
0000 UTC runs	√		√	
1200 UTC runs		√		√

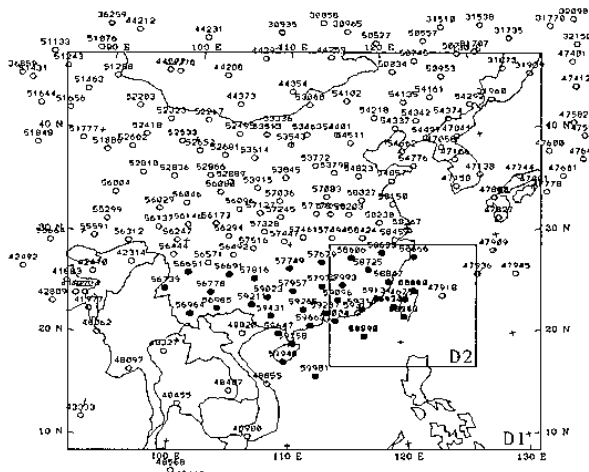


圖1：MMS模式使用的網格設定，D1及D2分別表示粗網格 (Domain 1) 及細網格 (Domain 2)，其水平分辨率分別為45km及15km。模擬範圍內的探空測站也標示在圖中，其中有黑點者表示在SCSMEX期間一天釋放四次探空之測站。

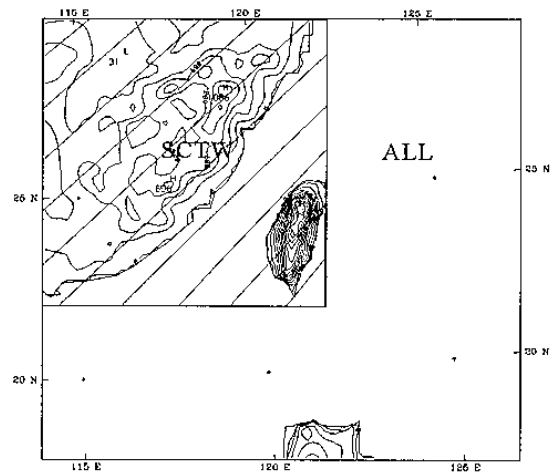


圖2：細網格 (D2) 的地形高度，等值線間距為200m。RMSE計算之二個不同的區域也標示在圖中，ALL包含整個細網格的網格點，SCTW則只包含圖中右上-左下斜線所示之區域。

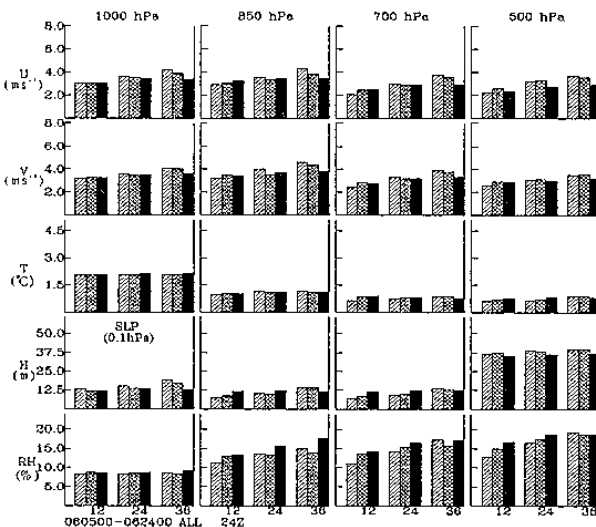


圖3：1998年6月5日0000UTC-6月24日0000UTC (全期) 所有個案在ALL區域之各種氣象變量的RMSE。第一行至第五列的從左起分別代表U、V、T、H、及RH的RMSE (例外：第四列第一行的圖為SLP)。第一行至第四行的圖分別對應1000、850、700及500 hPa四個高度，每個小圖的橫座標代表預報12、24及36小時。斜線、網狀及黑色的長條圖分別代表Exp1、Exp2、及Exp3三組實驗的RMSE。

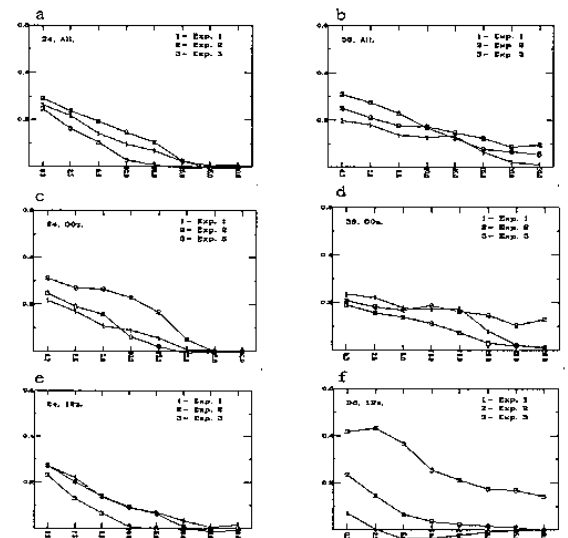


圖4：1998年6月5日0000UTC-6月24日0000UTC期間，Exp1、Exp2、及Exp3實驗之模式降水預報的ETS。縱座標代表ETS，橫座標表示不同的降水時間 (00h、3及6分別為全期12、24h及24、36h之降水預報)。圖中a及b，僅僅取初始時間為0000UTC之個案，c及d則僅取初始時間為1200UTC之個案。