

交通部中央氣象局
委託研究計畫期末成果報告

西南氣流豪雨觀測及預報實驗計畫之格點資料重分析

計畫類別：☒氣象 ☐海象

計畫編號：MOTC-CWB-100-M-07

執行期間：100年03月08日至100年12月31日 計畫

主持人：王重傑

執行機構：國立台灣師範大學

本成果報告包括以下應繳交之附件(或附錄)：

- ☐赴國外出差或研習心得報告1份
- ☐赴大陸地區出差或研習心得報告1份
- ☐出席國際學術會議心得報告及發表之論文各1份

中華民國 100 年 11 月 30 日

政府研究計畫期末報告摘要資料表

計畫中文名稱	西南氣流豪雨觀測及預報實驗計畫之格點資料重分析		
計畫編號	MOTC-CWB-100-M-07		
主管機關	交通部中央氣象局		
執行機構	國立臺灣師範大學		
年度	99年度	執行期間	100/3/8~100/12/31
本期經費 (單位：千元)	661689 元		
執行進度	預定(%)	實際(%)	比較(%)
	100	100	
經費支出	預定(千元)	實際(千元)	支用率(%)
	662	662	100%
研究人員	計畫主持人	協同主持人	研究助理
	王重傑	簡芳菁	黃維平
報告頁數	29	使用語言	中文
中英文關鍵詞	梅雨季、數值模式、西南氣流實驗計畫 Meiyu season、numerical model、SoWMEX		
研究目的	梅雨季期間的豪大雨事件為台灣的四大災變天氣之一，常造成不少災情。由於造成豪大雨的中尺度對流系統快速演變的特性，以及科學家對其的認識尚不完備，現階段模式對於豪大雨的預報能力仍然有限，故有2008年西南氣流實驗計畫的進行並收集到許多寶貴資料，如機載投落送、船舶探空等等，增加模式初始場對西南氣流的觀測。本計畫使用西南氣流實驗期間在台灣附近及南海地區所蒐集到的觀測資料(包含地面觀測、探空、以及衛星資料...等)，使用美國天氣研究與預報(the weather Research & Forecasting Model, WRF)模式，加入各種實驗期間之觀測資料(其中探空資料經校正後)，使用三維變分資料同化方式，將資料納入模式初始場中，以取得一組高品質的格點化之分析資料(解析度為15公里及5公里，時間間隔為3小時)，除可進行分析研究外，亦可作為模擬研究之初始與邊界資料，因此，如何善用這些得之不易的資料以協助或促進後續之科學研究，為一項重要的任務，亦即本計畫的目的所在。		
研究成果	本計畫進行之格點資料重分析，將所得之觀測資料，利用3DVAR資料同化方式，將觀測所得資料同化至模式初始場中，並分別輸出分為兩種不同的解析度(15公里及5公里)，以增進全球模式資料的不足。本計畫研究之資料期間為2008年西南氣流實驗計畫期間，針對強降水時段作加密觀測所得的資料，時間範圍為2008年5月15日至2008年6月30日做分析比較，初始資料為EC		

	YOTC 0.5° X0.5°，將觀測期間所得之基礎測站觀測資料、QuikSCAT Oceanicwinds以及加密觀測所得之投落送(經Ciesielski 等人經QC校驗)之資料，利用WRF3DVAR(三維資料同化)方式，將上述方式與初始場資料做同化，在使用加密觀測期間之資料後，能使結果有更接近於觀測之效果。邊界層參數為YSU(Yonsei University)PBLscheme，積雲參數化法為NewGrellscheme，微物理過程使用Thompson graupel scheme。模式垂直層數為50層。由實驗結果可知，經過了資料同化後，在海面上的差異較為明顯，但在風速上也更為接近觀測。
具體落實應用情形	本研究主要產品為2008年5月15日至2008年6月30日之再分析資料，解析分為15km(182x138)及5km(261x213)，資料格式分為netcdf格式及轉換至等壓面binary格式二種，共四組資料，15km結果適合中尺度模擬及分析使用，5km結果適合島嶼環流及局細分析或模擬使用。
計畫變更說明	在計畫內容方面，有些微的變更，原計畫採用WRF 3.2 版以及WRFDA 3.2 版，但目前皆變更為3.3 版。研究助理方面，聘一碩士級助理。
落後原因	計畫經費並無落後情形。
檢討與建議 (變更或落後之因應對策)	

(以下接全文報告)

西南氣流豪雨觀測及預報實驗計畫之格點資料 重分析

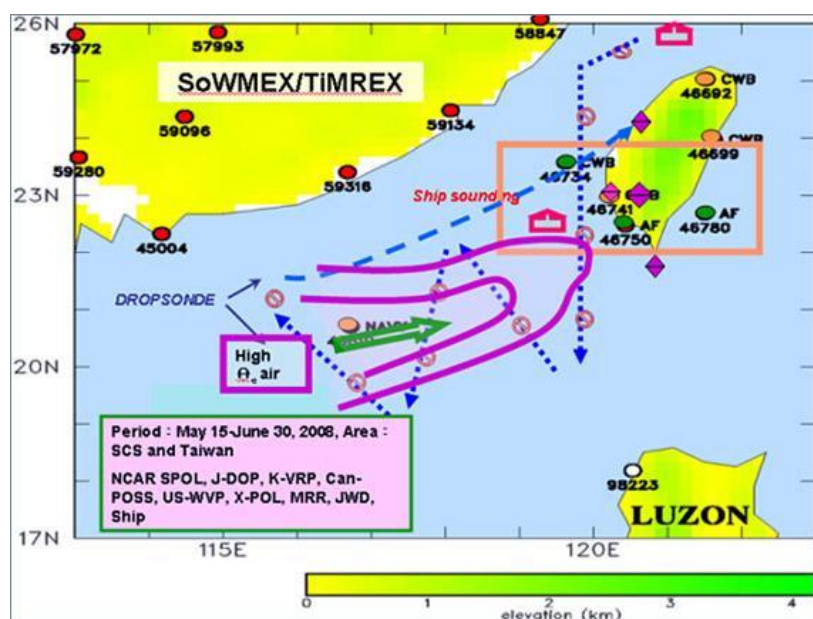
一、前言

暖季豪雨現象包含梅雨季鋒面豪雨天氣系統(5-6 月)以及颱風季豪雨天氣系統。每年梅雨季平均有 4~5 到鋒面影響台灣地區(Chen 1988; Chen and Chi 1978)，其所伴隨的豪大雨常常導致嚴重的災害(吳等 1984)，且它是由歐亞大陸中高緯度來的乾冷氣團和從亞洲南方熱帶海域來的暖濕氣團，在華南及台灣地區交互作用的結果。梅雨現象最主要的特徵，包括在地面天氣圖有一滯留鋒，伴隨顯著水汽梯度，在 850hPa 以風切線形式出現。伴隨此地面鋒在衛星雲圖常可觀測到明顯濃密雲帶，由日本南方海面往西南延伸經台灣至華南地區。此梅雨鋒雲帶內經常有組織良好的中尺度對流系統，伴隨顯著中尺度天氣現象，帶來劇烈豪雨，造成重大災害。影響台灣梅雨期之豪雨系統其結構與一般孤立之對流系統不同，主要表現在組織性中尺度對流系統或嵌在鋒面大尺度雲帶內，或位於鋒前暖區不斷的生成與發展，並常形成多條雨帶和多個大降水中心的結構。此種結構特徵顯示，台灣梅雨季之豪雨現象乃是多重尺度天氣系統交互作用的結果。

有利的大尺度環境條件是中尺度天氣系統發展的主要能量來源，而複雜之中尺度過程，尤其是台灣本島和鄰近之複雜地形，則決定豪雨發生的時間與位置。現有利用中尺度模式進行之 24 小時 QPF 預測，其預兆得分大約是 0.2。現有產品對於下游洪水預測的需求，尚有很大一段距離。Chien et al.(2009)利用 WRF 模式進行虛擬探空實驗 (Sounding nudging experiment)，在模式中加入四個虛擬的探空並且在低層加入額外多的水氣，結果發現降雨區有由山區轉往海上的情形。但是這樣簡單的模擬僅能提供資訊說改變大氣探空確實會顯著影響降雨預報結果，並無法進一步確定兩者的因果關係。這樣的敏感度測試說明中尺度高解析度數值模擬對於模式初始場的設定非常敏感，因此要正確模擬出豪大雨降雨區，較

為精確的西南氣流描述是不可或缺的條件。本計畫目的是經由機載投落送在南海進行密集觀測，增加模式初始場對西南氣流的觀測。或許可以獲得一組不錯的模擬結果，作為進一步分析診斷的資料庫。西南氣流實驗的目的即在改進台灣在西南氣流盛行季節，空間尺度為鄉鎮或集水區，時間尺度 0 至 36 小時不同時間間距之定量降雨估計和預報之能力，以滿足現有防救災急迫之需求。

西南氣流實驗計畫從 2008 年開始，每年的五、六月進行觀測，不僅有大量的台灣氣象科學家參與，更有許多全世界的各地的氣象專家參與實驗觀測，2008 年至今已有不少的觀測資料(如陸基探空、飛機投落送...等)。圖一為西南氣流實驗機載探空，船舶探空，以及地基探空線代表飛機規劃投擲探空儀路線和位置，紅色房舍代表船舶探空位置。西南氣流之熱動力性質為主要探空觀測重點。



圖一為西南氣流實驗機載探空，船舶探空，以及地基探空線代表飛機規劃投擲探空儀路線和位置，

紅色房舍代表船舶探空位置。西南氣流之熱動力性質為主要探空觀測重點。

不少學者，以三維變分同化方式(3DVAR)同化觀測資料，早期 Barker et al.(2003)使用 MM5 3DVAR 同化資料，近年來，Chen(2007)，加入 QuikSCAT 資料探討觀測資料對於模式初始資料的影響；Chien et al.(2009)加入虛擬探空資料後，發現降雨區有由山區移向海面的情形。Lin(2011)發現在加入雷達資料後，對於颱

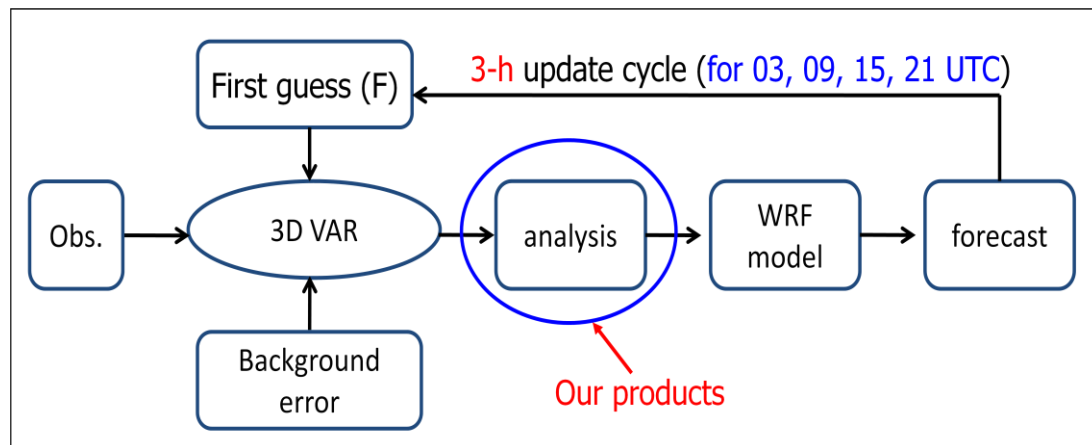
風降水量有相當的增加；Tuleya and Lord (1997)及 Burpee et al.(1996)發現在加入了投落送資料後，皆可降低模式的預報誤差。由上述可知，使用三維變分方式加入觀測資料，證明對於模式而言確實有相當的幫助，但所取得之觀測原始資料，必須經過校正，才具有可信度，其中研究所使用的探空資料，經由 Ciesielski et al.(2010)發現不同的探空資料在濕度場具有些許的誤差，經修正後，以 RS80 站為例，發現加入修正濕度場的探空資料後，使得對流可用位能增加約 500J kg^{-1} ，CIN 減少了約 80J kg^{-1} ...等，故本研究將使用 WRF 模式(Weather Reach and Forecast Model)，利用三維變分資料同化方式(3DVAR)，以 EC_YOTC 資料為初始場，再將實驗計畫期間觀測資料及經修正後的探空資料...等，加入 WRF 模式中，模式解析度將分為 15km 及 5km，垂直方向為 50 層，本計畫分別在兩種不同解析度的網格內，進行資料同化，以期在加入觀測資料後可得一組高解析之再分析資料，能夠增加模式模擬的定量降水評估能力，也期望此資料及處理方法日後對各研究單位在相關研究方面有益。

二、 研究方法

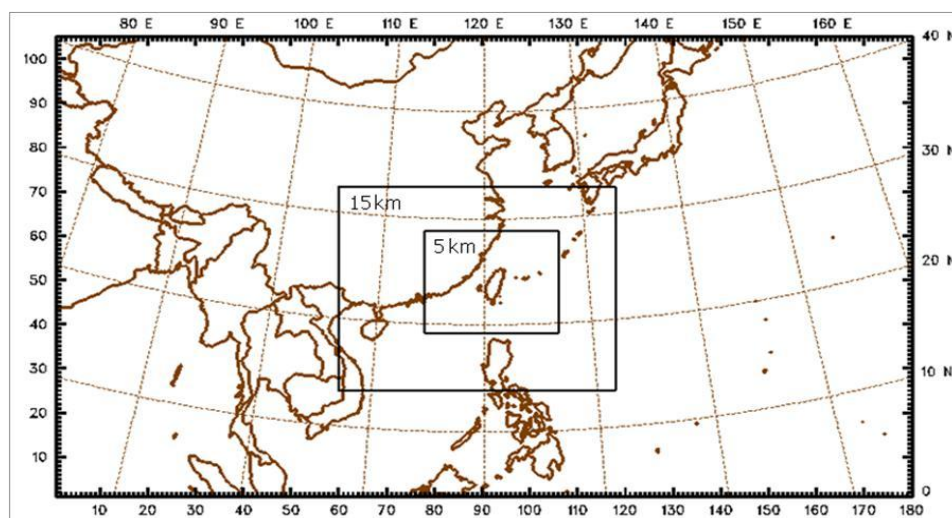
2008 年西南氣流實驗計畫期間，在南海地區及台灣鄰近地區投擲大量的探空儀器，之前的研究大多將觀測所得之資料透過資料同化方式，加入模式中進行模擬預報，但本研究將這些資料利用 3D VAR 資料同化的方式，把觀測資料加入初始場中，以期獲得一組高解析的再分析資料，希望加入觀測所得資料後，對於中尺度的系統能有更顯著的描述。

本研究使用 WRF 3.3 版，以及 WRF DA 3.3 版進行實驗，初始場資料為 EC YOTC $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ (每 6 小時一筆，垂直層數為 25 層：1000、950、925、900、850、800、700、600、500、400、300、250、200、150、100、70、50、30、20、10、7、5、3、2、1，單位：hPa)，針對 2008 年 5 月 15 日至 2008 年 6 月 30 日，將觀測期間所得之基礎測站觀測資料、QuikSCAT Oceanic winds 以及加密觀測所得之投落

送(經 Ciesielski 等人經 QC 校驗)之資料，利用 WRF3DVAR(三維資料同化)方式，將上述方式與初始場資料做同化，處理流程如圖二，步驟為二：一將 00UTC、06UTC、12UTC 及 18UTC 四個時間點使用 EC YOTC 為初始場(First guess)，利用 3D VAR 將觀測資料加入同化後產生新的分析場，並模擬三小時；步驟二為將 00UTC、06UTC、12UTC 及 18UTC 四個時間之三小時之模擬結果(03UTC、09UTC、15UTC 及 21UTC)當作是 03UTC、09UTC、15UTC 及 21UTC 的初始場，再使用 3D VAR 加入觀測資料同化產生新的分析場。此程序產生每三小時一筆之新分析場資料，以期使用加密觀測期間之資料後，能使結果有更接近於觀測之效果。



圖二 WRF3DVAR 處理流程。



圖三 兩個大小不同的 domain，解析度為 15 km 以及 5 km，將分別針對兩個不同的區域做資料的同化與分析。

為便利日後資料的使用，本研究採兩種不同的單一區域大小作資料同化(圖三)，分別為兩種解析度輸出：15km 與 5km；15km 解析度之分析資料可提供中尺度天氣系統之診斷分析或作為模式模擬初始場使用；5km 解析度之分析資料可針對中小尺度的天氣現象進行分析研究，對如島嶼環流等小尺度系統能有更明確的描述或對模式進行高解析度模擬研究作初始場天氣系統應用之。模式網格設定為 15km(182 X 138)、5 km(261 X 213)，邊界層參數為 YSU(Yonsei University)PBL scheme，積雲參數化法為 New Grell scheme，微物理過程使用 Thompson graupel scheme。資料格式為二種，一為 WRF 輸出之 netcdf 格式，可直接作為 WRF 模擬使用或繪圖；二為等壓面 Grid 格式，可做為分析研究式或其他模式應用。在垂直層數方面，為了獲得垂直方向高解析之分析資料及彌補原始分析資料垂直解析上之不足，底層採用較小間距，而高層大氣較穩定，故間距隨高度遞增，設定如表一。

表一 分析資料輸出之垂直分層及可能應用。

p 範圍	Δp	可能應用方向
1000~925hPa	6.25hPa	近地層大氣結構與演變
925~700hPa	12.5 hPa	邊界層、海陸氣流結構與特性、日夜變化、島嶼環流
700~500hPa	25 hPa	中低對流層，氣流
500~100hPa	50 hPa	對流層
100h~25hPa	25hPa	對流層頂與低平流層
	共 51(等壓面 50 層與地面層)層	

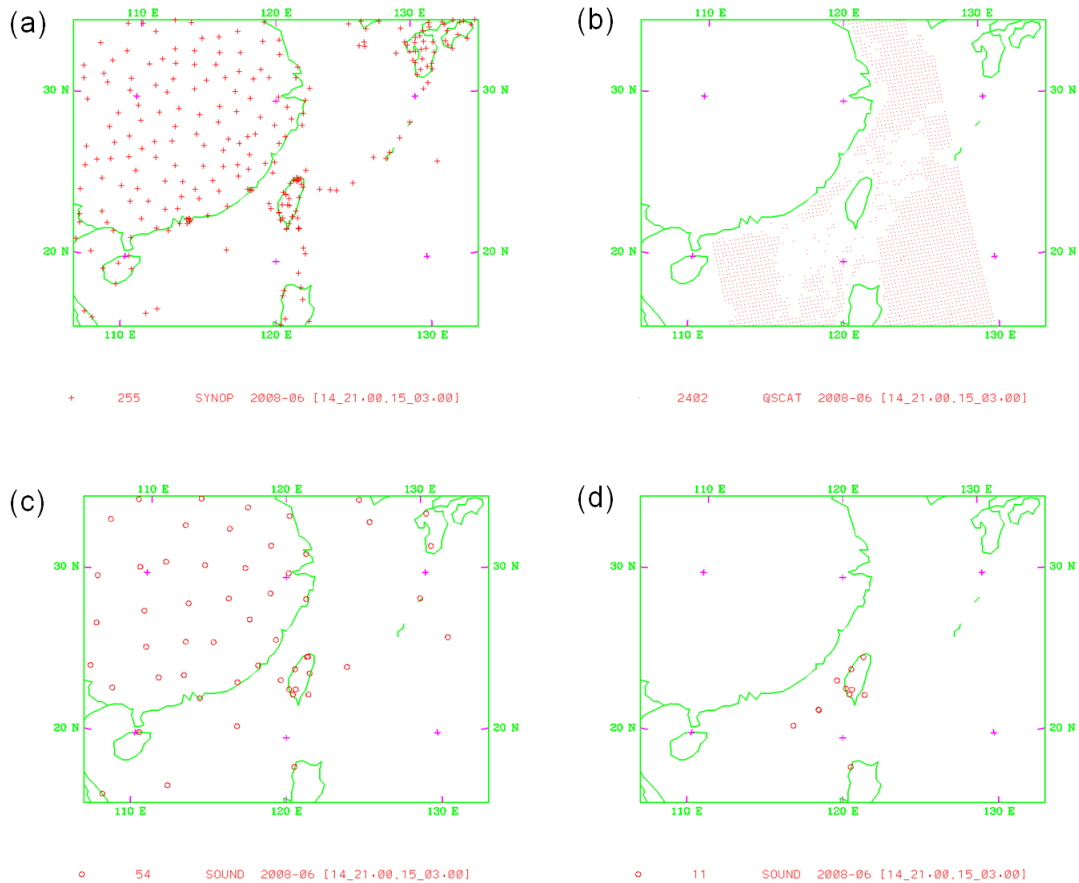
垂直層數為 50 層(1000、993.75、987.5、981.25、975、968.75、962.5、956.25、950、943.75、937.5、931.25、925、912.5、900、887.5、875、862.5、850、837.5、825、812.5、800、787.5、775、762.5、750、737.5、725、712.5、700、675、650、625、600、575、550、525、500、450、400、350、300、250、200、150、100、75、50、25，單位:hPa)與地面層共 51 層，使此資料在三維空間中針對不同尺度之天氣系統能有所對應之應用：在 925hPa 以下厚度間隔為 6.25hPa，可應用於近

地層大氣結構與演變；700 至 925hPa 間隔 12.5hPa，可應用於低對流層演變如海陸氣流結構、山谷風日夜變化等等小尺度系統進行高解析之分析；700 至 500hPa 間隔 25hPa，可應用於中低對流層之結構演變等等；500 至 100hPa 間隔 50hPa；25 至 100hPa 間隔 25hPa。本報告針對加入觀測資料同化的結果(以下稱為 3dvar)與未使用同化資料的結果(以下稱為 N)作比較。

由於模式初始資料及觀測時間的資料為每六小時一筆，在加密觀測期間為每三小時一筆，故本研究為三個小時模擬輸出，但在初始時間為 00、06、12、18 的初始場資料為 YOTC 資料，而在初始時間為 03、09、15、21 時，初始場資料則使用前三個小時的模式 3h 模擬結果(例如:初始時間為 03，其初始資料則使用初始時間為 00 的三小時模擬輸出)；另外在觀測資料的部分，由於加密觀測資料為三小時一筆，但基本觀測資料及衛星風場資料為每六小時一筆，故在初始時間為 03、09、15、21 時的模擬，僅加入探空資料，其他資料由於不足，在此無法加入資料同化。

三、具體成果

15km 及 5km 之資料同化的處理已完成，時間範圍為 2008 年 5 月 15 日至 2008 年 6 月 30 日，時間間隔為 3 小時一筆。將 2008 年 5 月 15 日至 2008 年 6 月 30 日期間，在西南氣流實驗計畫期間所得之觀測資料(基礎觀測站、探空資料以及 QuikSCAT 資料)，以 3dvar 資料同化方式，將初始場資料與觀測資料做結合。如圖四為 2008 年 6 月 15 日 0000UTC 之加入之觀測資料點數及位置，在綜觀觀測上有 255 點(圖四 a)，QuikSCAT 資料有 2402 點(圖四 b)，而探空資料共有 54 點(圖四 c)，其中有 11 點為 Ciesielski 等人經過 QC 後的資料位置(圖四 d)。



圖四 在 2008 年 6 月 16 日加入之觀測資料點數及位置，(a)SYNOP、(b) QuikSCAT、(c)探空 及(d)

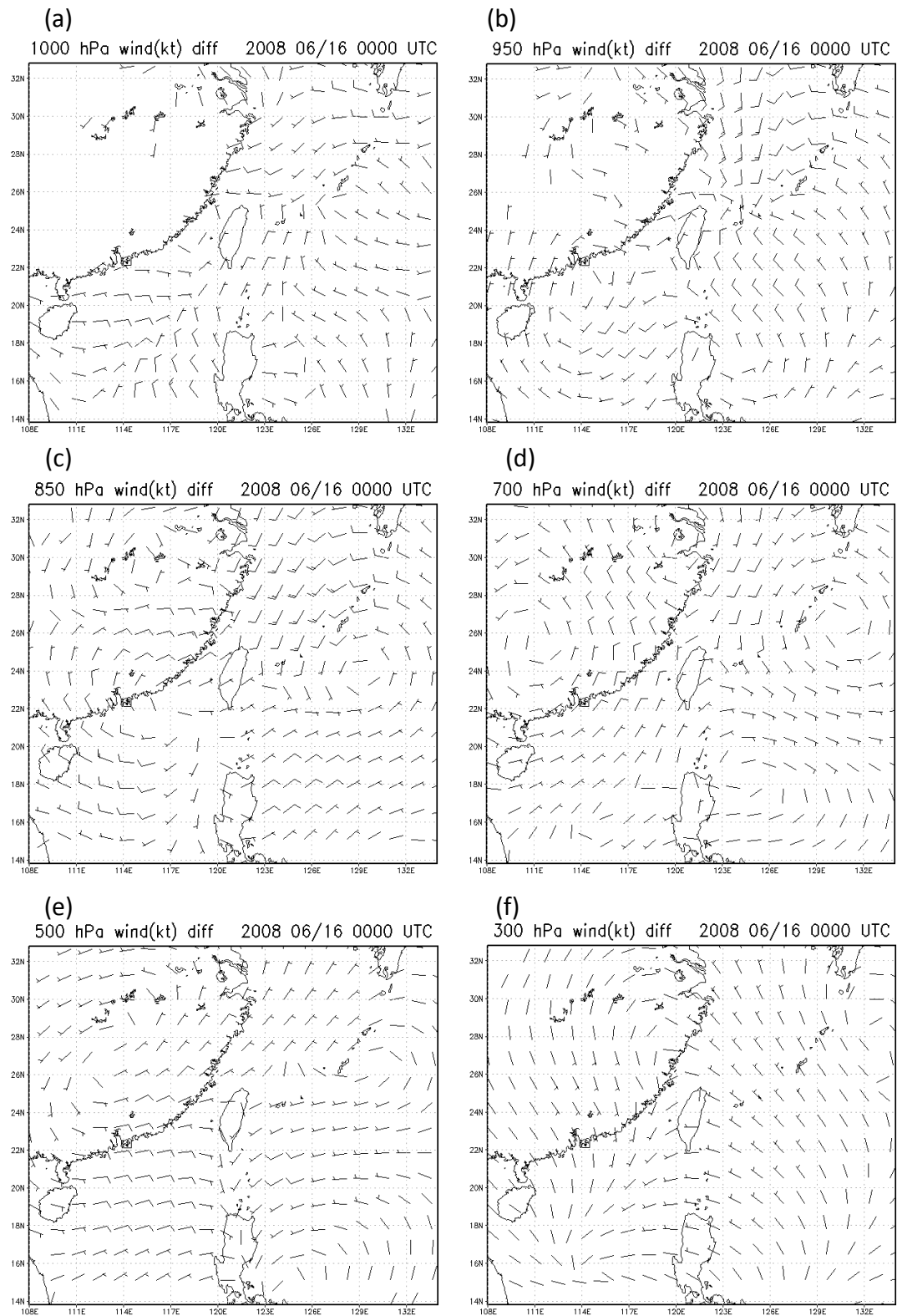
經過校驗之加密探空資料位置。

如圖五為 2008 年 6 月 16 日 00UTC 之 15km 解析度 3dvar 與 N 的差異。發現不同高度，3dvar 的結果與 N 的結果有明顯的差異(圖五)，由圖可知越往高層在海面上的資料有越大的差異，由此可知，同化觀測資料之後，風速有加強的現象。從重力位高度場的差異來看(圖五)，發現低層的差異非常小，越往高層的差異越明顯，此有可能為加入加密的探空資料(資料為 50 層)後，產生的差異；海上的差異也較為明顯。

從重力位高度場的差異來看(圖六)，發現低層的差異非常小，越往高層的差異越明顯，此有可能為加入加密的探空資料(資料為 50 層)後，產生的差異；因海上的觀測資料較少，所以當加入探空資料同化後，海上的差異也較為明顯。

圖七與圖八分別為 2008 年 6 月 16 日 00UTC 5km 解析度之風場及重力位高度差異，結果與 15km 解析度相似。同化觀測資料後，風場隨高度有不同變化；重力位高度場方面，在 700hPa 以下台灣附近有大區域的負值，500hPa 以上，台灣區域及東方有負值增量，西南方為正值增量。

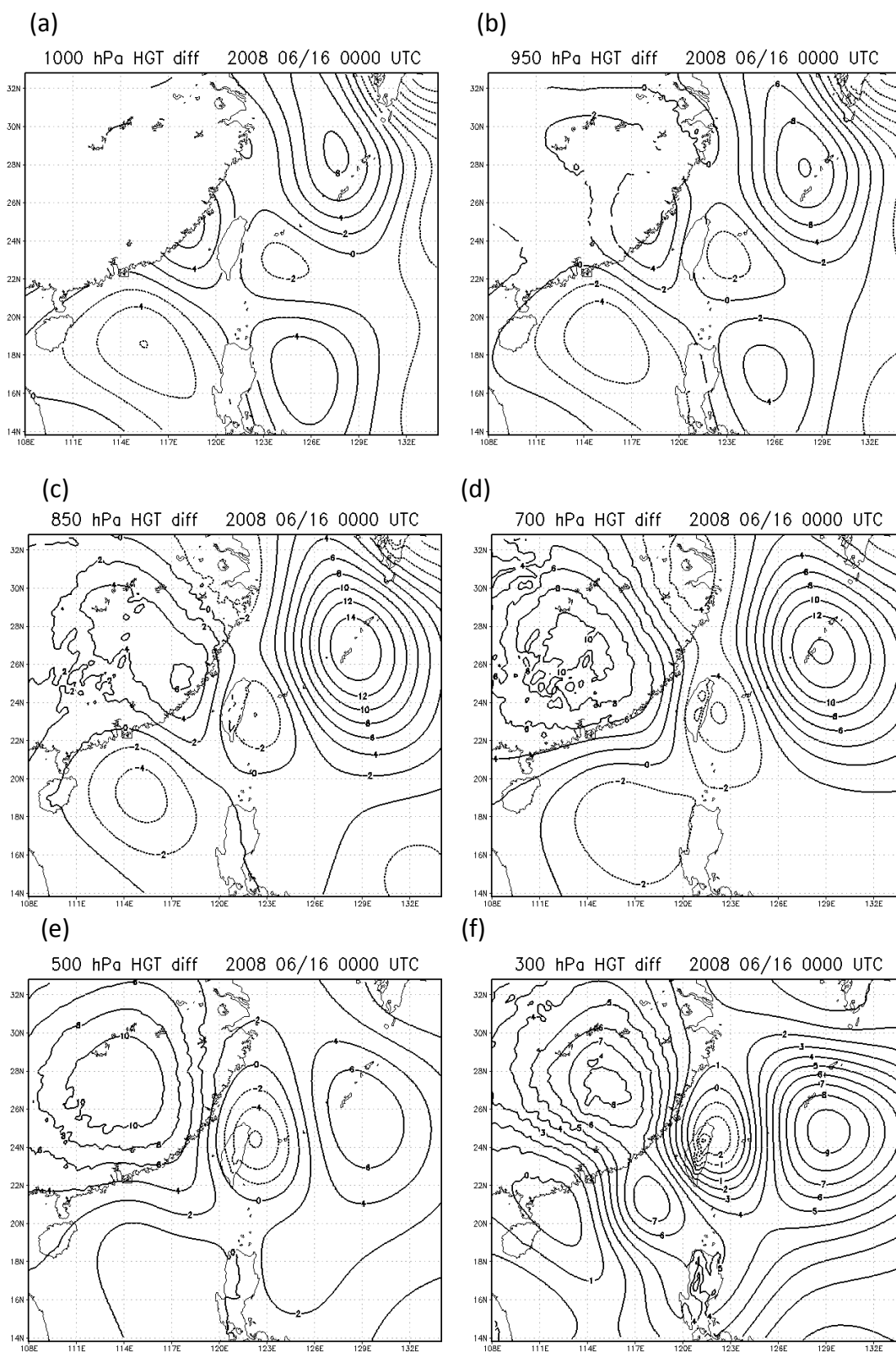
在海平面氣壓及風場方面，圖九為 2008 年的 6 月 16 日 15km、5km 海平面氣壓及地面天氣圖。由地面氣壓場及風場來看，兩者的氣壓場非常相似，且風場大小也一致，尤其在台灣東方及南海部分的風場，無論在風向及風速上都非常的符合。



圖五 2008 年 6 月 16 日 0000UTC，15km 解析度，此為加入觀測資料同化(3dvar)與未加入觀測資

料(N)結果在不同氣壓場高度上的風場差異，(a)1000 hPa、(b)950 hPa、(c)850 hPa、(d)700hPa、

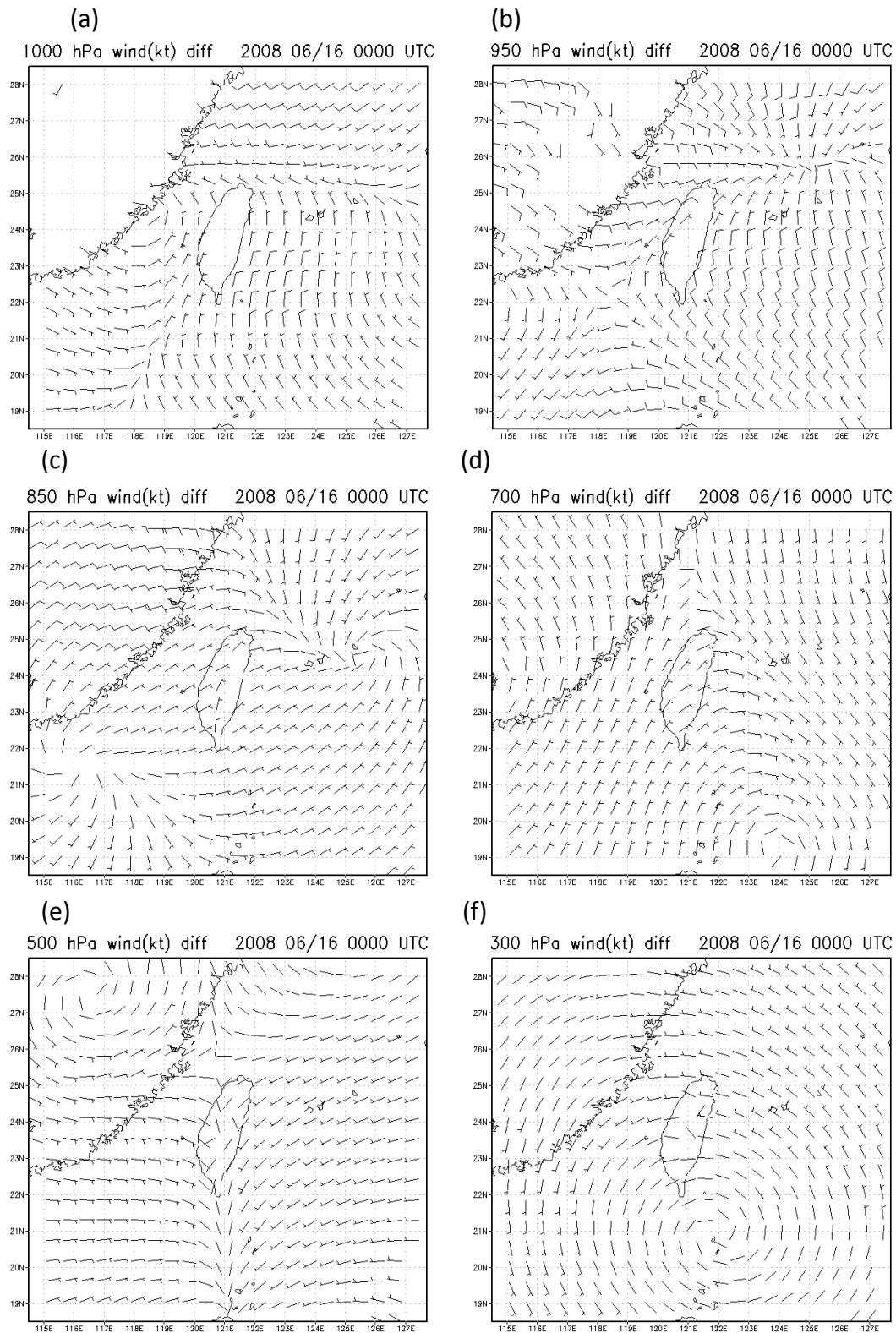
(e)500 hPa 及(f)300 hPa，風標為長羽為 10knots。



圖六 2008 年 6 月 16 日 0000UTC，15km 解析度，此為加入觀測資料同化(3dvar)與未加入觀測資

料(N)結果的重力位高度場差異，(a)1000 hPa、(b)950 hPa、(c)850 hPa、(d)700 hPa、(e)500 hPa

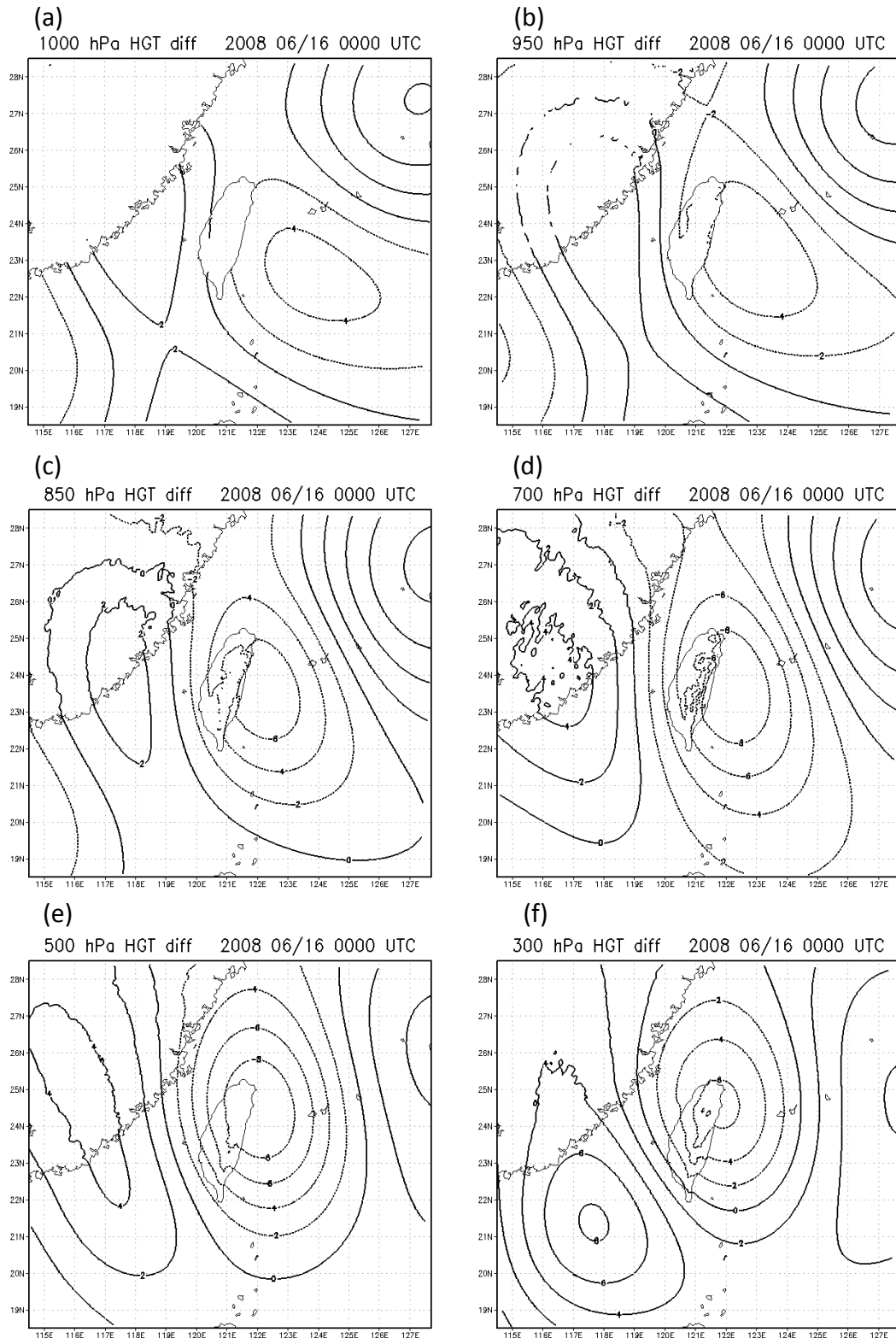
及(f)300 hPa，值為實線，負值為虛線，間距為 2m。



圖七 2008 年6 月16 日 0000UTC 解析度 5km，此為加入觀測資料同化(3dvar)與未加入觀測資料(N)

結果在不同氣壓場高度上的風場差異，(a)1000 hPa、(b)950 hPa、(c)850 hPa、(d)700 hPa、(e)500

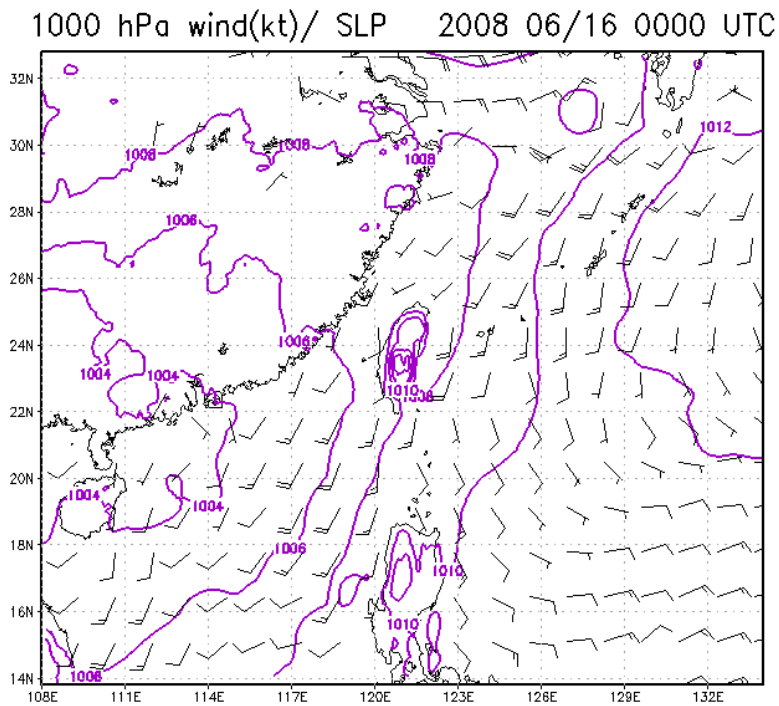
hPa 及(f)300 hPa，風標長羽為 10knots。



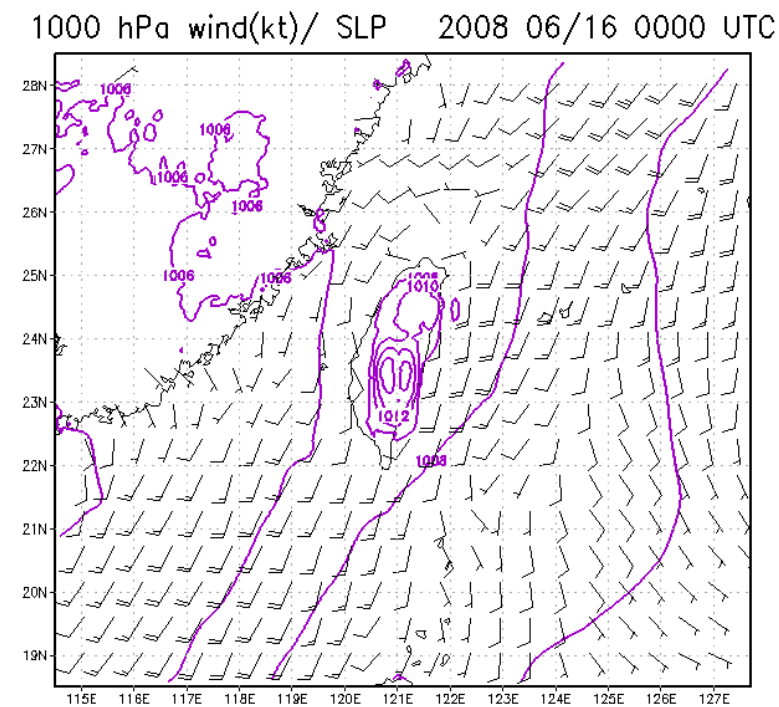
圖八 2008 年6 月16 日 0000UTC 解析度 5km，此為加入觀測資料同化(3dvar)與未加入觀測資料(N)

結果的重力位高度場差異，(a)1000 hPa、(b)950 hPa、(c)850 hPa、(d)700 hPa、(e)500 hPa、
及(f)300 hPa，正值為實線，負值為虛線，間距為 2m。

(a)



(b)

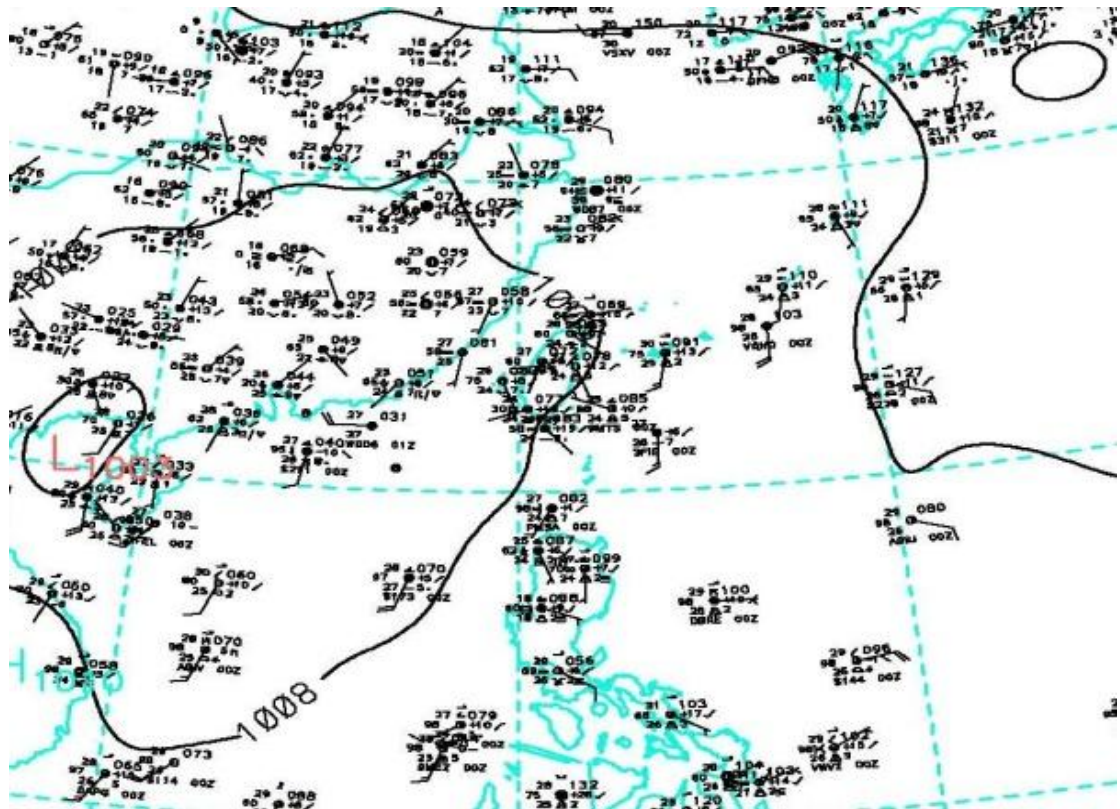


圖九 2008 年 6 月 15 日 0000UTC 3dvar (a)解析度 15km、(b) 解析度 5km 之海平面氣壓（紫色

等值線為海平面氣壓，風標長羽為 10knots）及(c)為地面天氣圖，資料同化後，低層風場

很接近實際觀測。

(c)

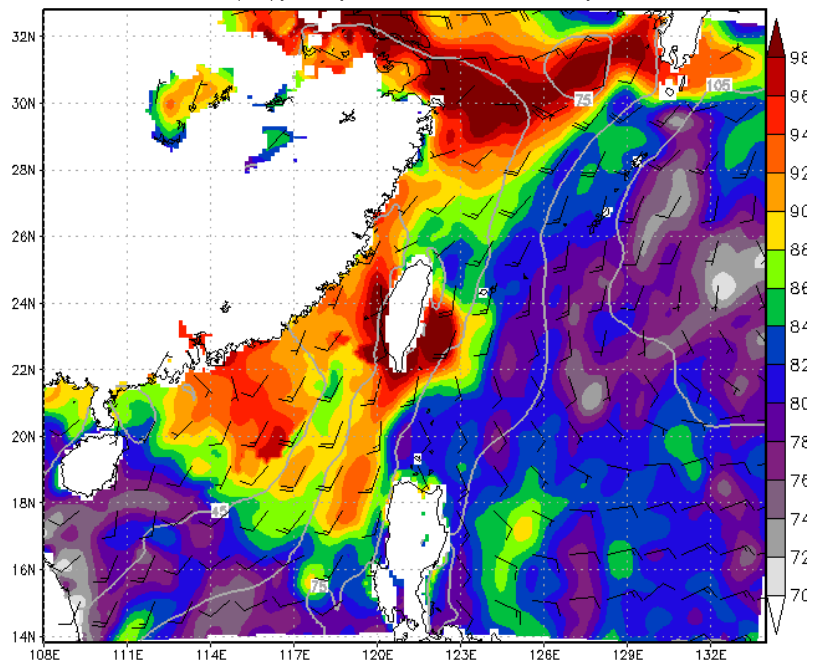


圖九（續）

進一步探討相對溼度場(圖十)，由底層的相對濕度場來看與紅外線色調強化圖相比對發現，在台灣西南部以及鋒面低壓位置附近的強溼度區些有掌握到，顯示在同化觀測資料後更貼近實際觀測。

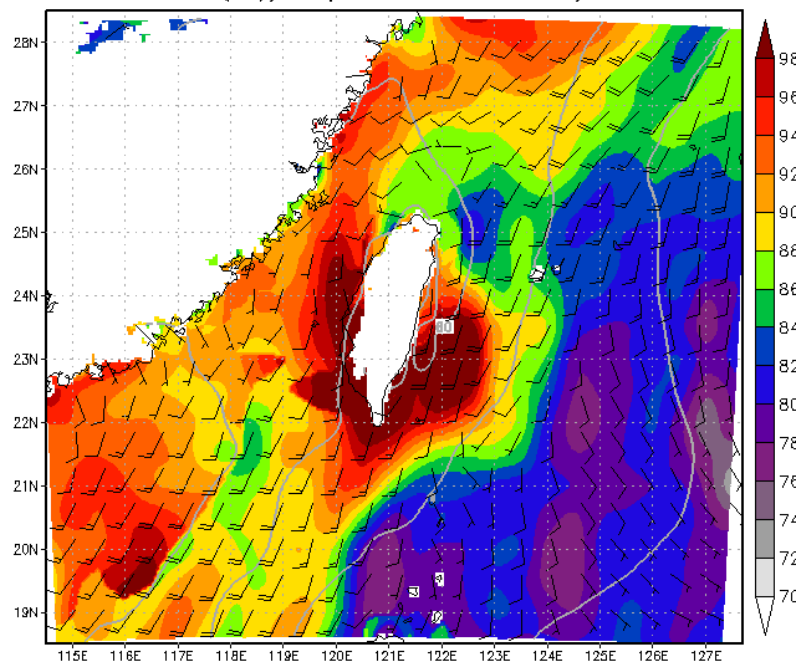
(a)

1000 hPa wind(kt)/RH/HGT 2008 06/16 0000 UTC



(b)

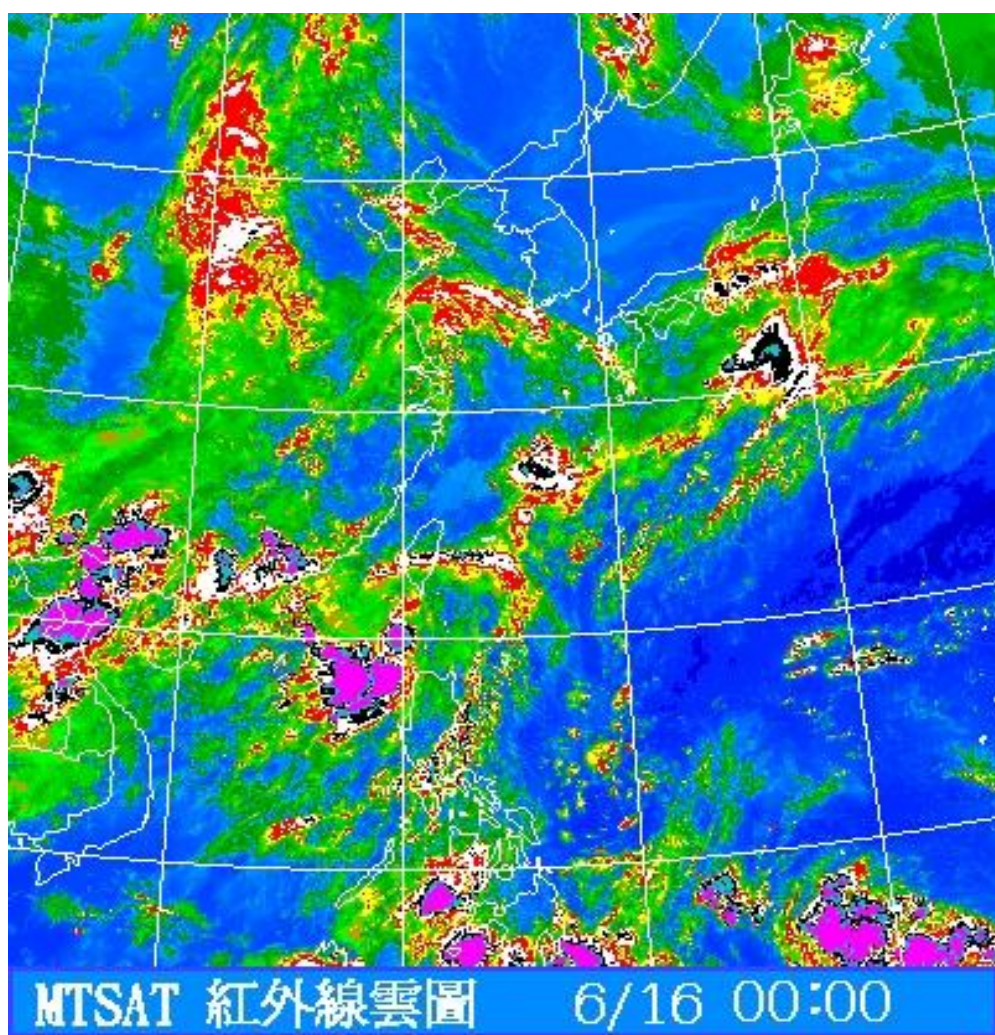
1000 hPa wind(kt)/RH/HGT 2008 06/16 0000 UTC



圖十 2008 年6 月16 日0000UTC 3dvar 結果(a)解析度 15 km、(b)解析度 5 km，1000 hPa 之相對溼度

與風場(色階為相對溼度，灰線為重力位高度，風標長羽為 10knots)及(c)為紅外線強化雲圖。

(c)

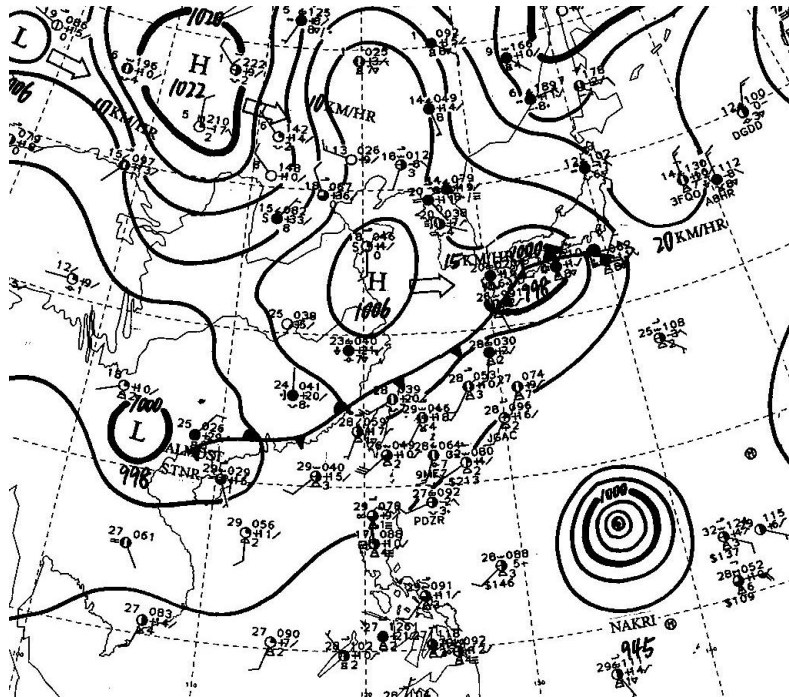


圖十（續）。

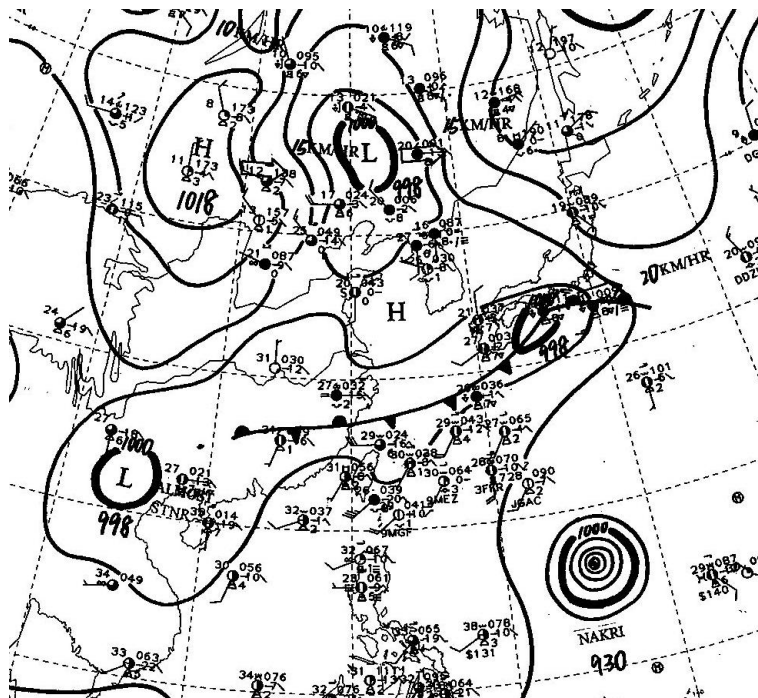
四、個案討論

2008 年 SoWMEX IOP2 期間(5 月 27 日至 29 日)，鋒面南下，影響台灣於中部造成豪雨，圖十一為 2008 年 5 月 29 日之地面天氣圖，由圖中可以看到 29 日 00UTC 時，鋒面由華南向東北延伸至日本南方，台灣西南方區域吹西南風，最大風速達 30 knots。隨大陸高壓東移，鋒面南移呈東西走向。由衛星雲圖(圖十二 a 至 c)可看到鋒面雲帶南移的狀況。圖十二 d 為 29 日累積雨量圖，因為鋒面南移加上地形抬升，使雨量集中在中部，西南氣流對南部降雨有貢獻。SoWMEX 期間，WRF 模式對(王與陳 20100) IOP2 期間夜間出現之西北部沿岸之降雨掌握不佳或延遲出現，原因可能為初始場所提供之水汽量不足所致。圖十三為 2008 年 5 月 29 日 3dvar 15km 解析度 950hPa 結果，圖十四為 2008 年 5 月 29 日 00UTC 時 3dvar 與 N 的差異。經資料同化後，可以發現台灣區域附近的溼度明顯的提升，台灣東北方海域有負值的修正。風場部分在台灣海峽、南方海域有西南風的修正。相信使用同化後之分析場，能對模式預報有正向之幫助。

(a)

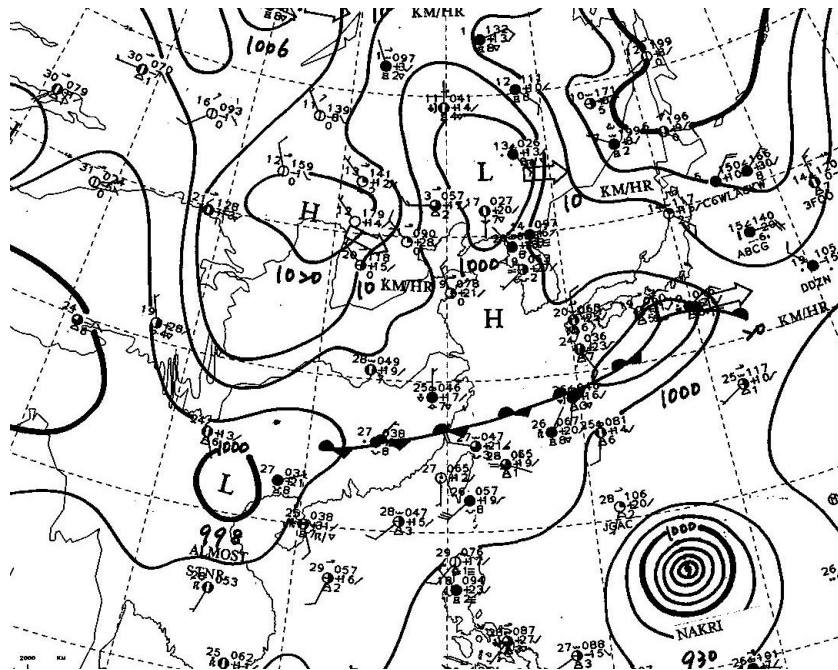


(b)



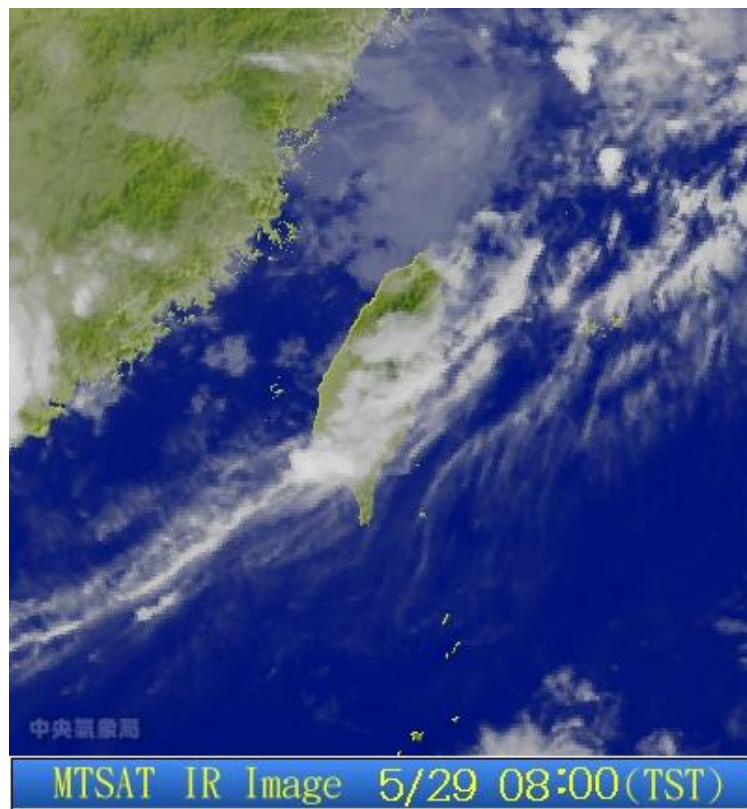
圖十一 2008 年 5 月 29 日(a)00UTC、(b)06UTC 及(c)12UTC 地面天氣圖。

(c)

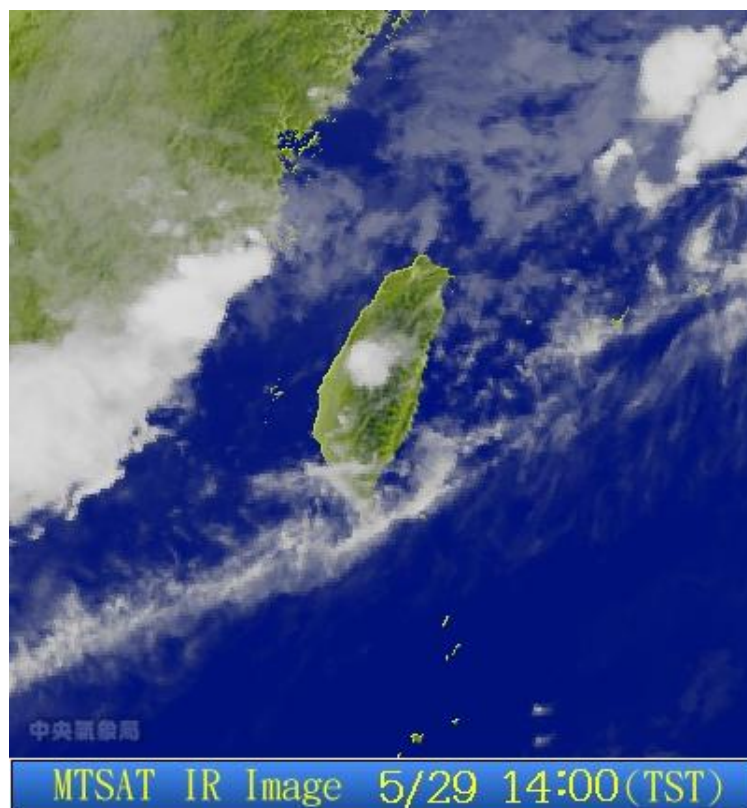


圖十一 (續)。

(a)

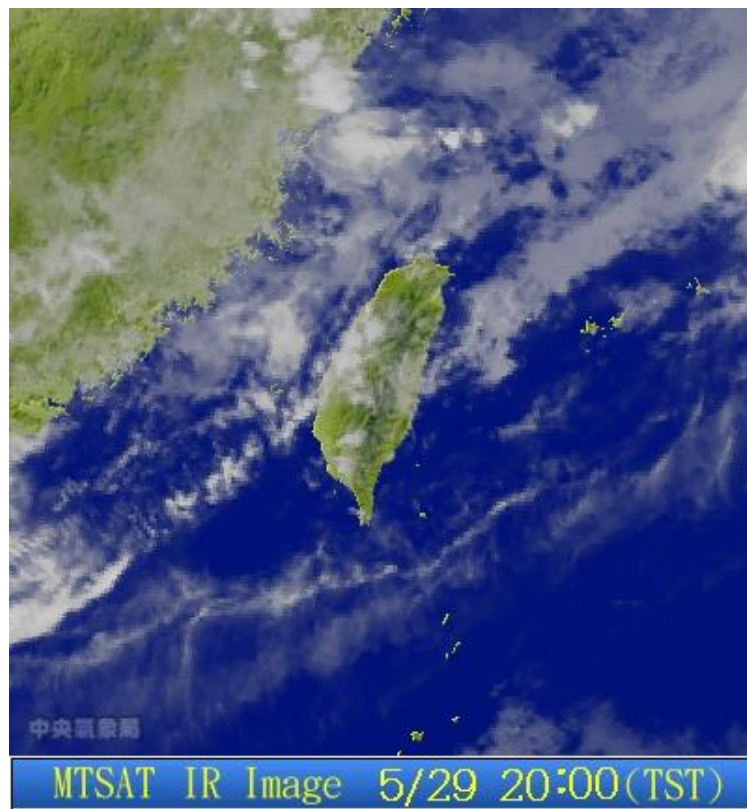


(b)

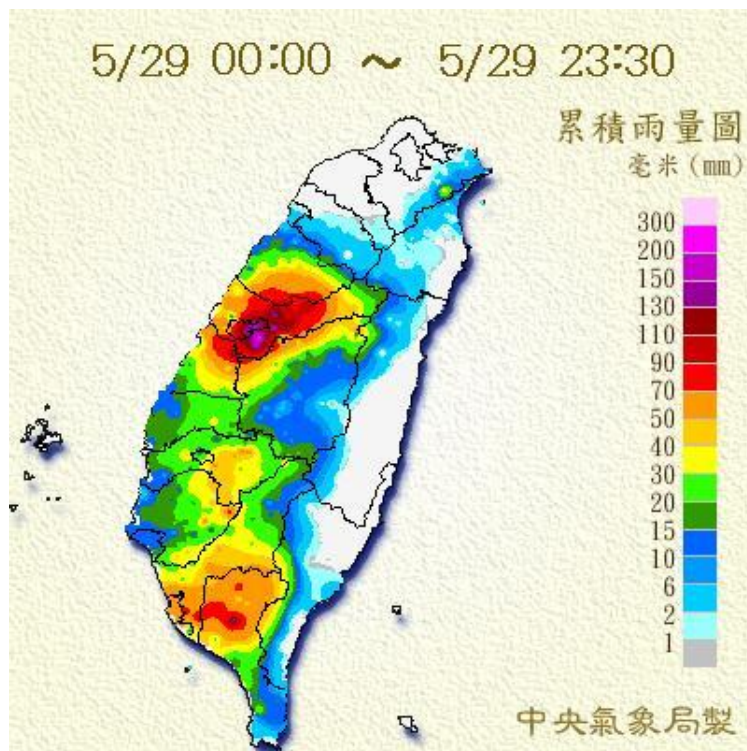


圖十二 2008 年 5 月 29 日(a)00UTC、(b)06UTC、(c)12UTC 衛星雲圖及(d)累積雨量圖。

(c)



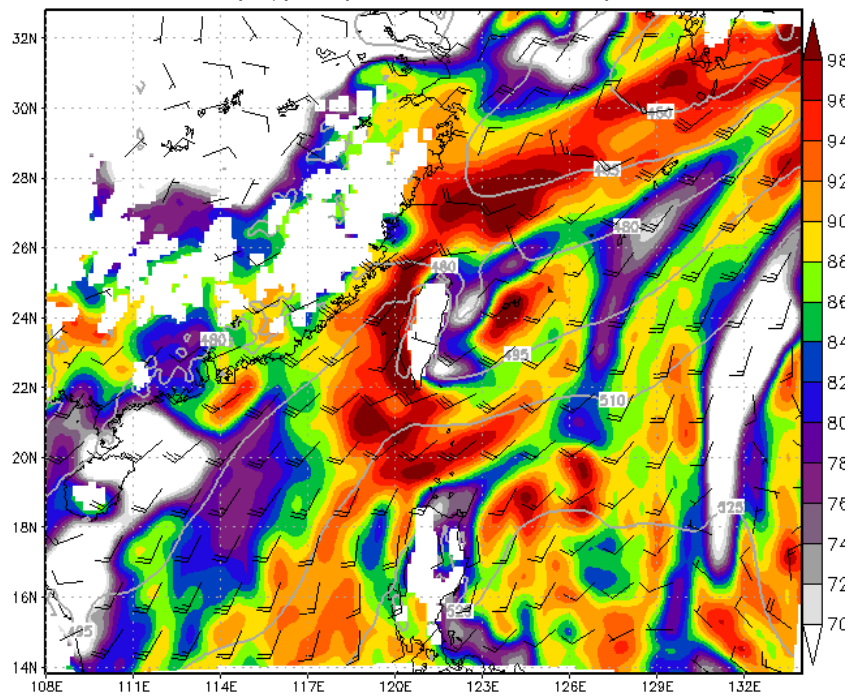
(d)



圖十二 (續)。

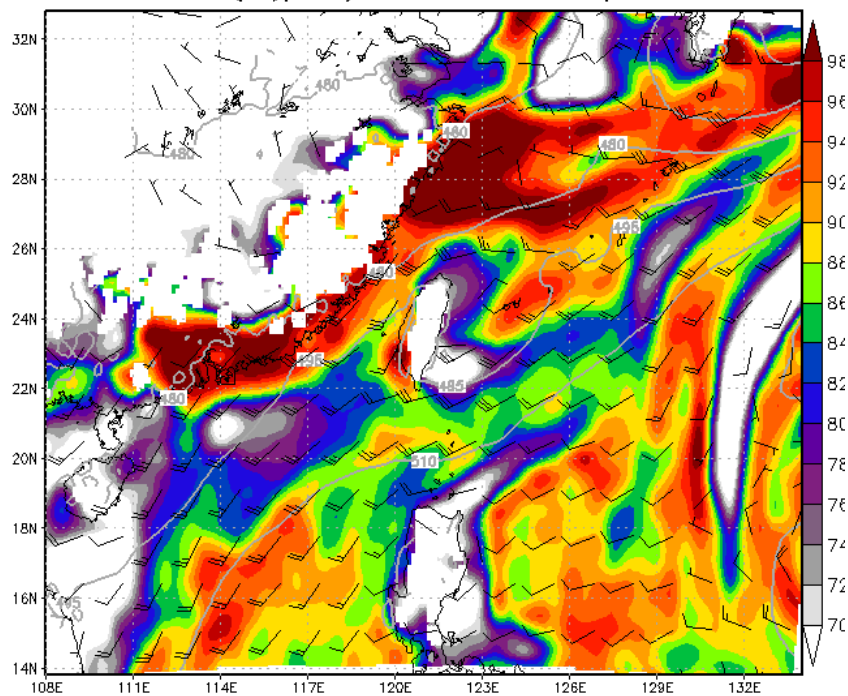
(a)

950 hPa wind(kt)/RH/HGT 2008 05/29 0000 UTC



(b)

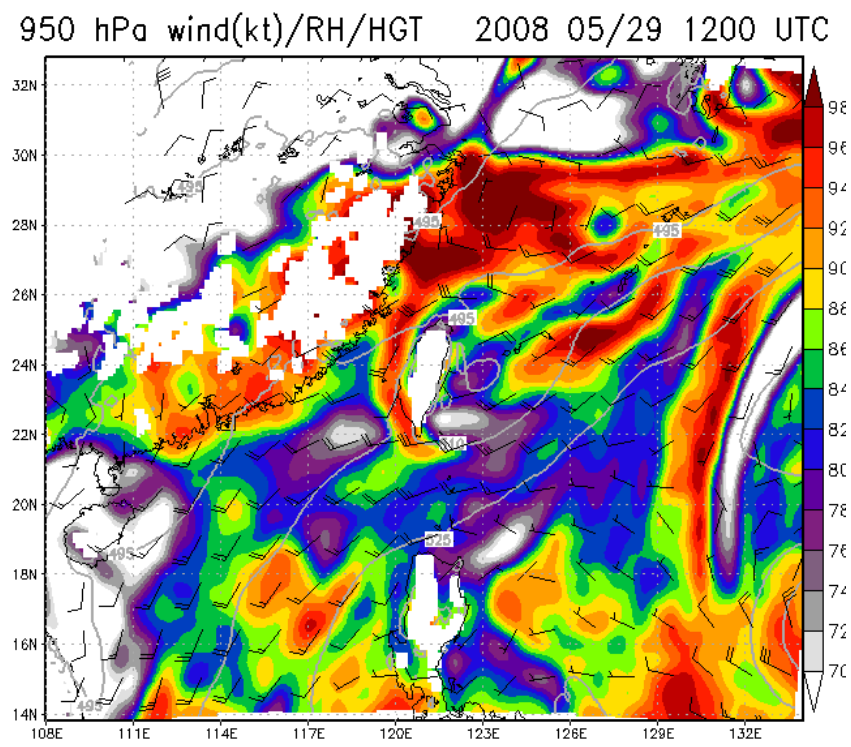
950 hPa wind(kt)/RH/HGT 2008 05/29 0600 UTC



圖十三 2008 年 5 月 29 日 3dvar 15km 解析度 950hPa 結果(a)00UTC、(b)06UTC 及(c)12UTC，色階

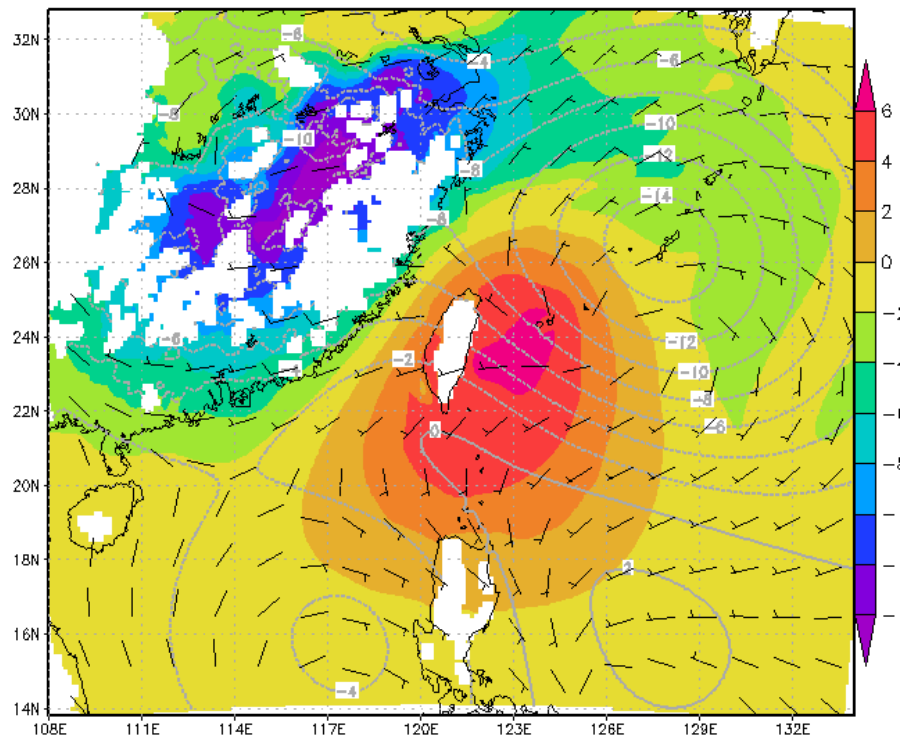
為相對溼度，灰線為重力位高度，風標長羽為 10knots。

(c)



圖十三 (續)。

950 hPa wind(kt)/RH/HGT 2008 05/29 0000 UTC



圖十四 2008 年 5 月 29 日 00UTC 解析度 15km 3dvar 與 N 差異，色階為相對溼度，灰線為重力位

高度，風標長羽為 10knots。

五、結論與未來展望

本文使用 WRF 3dvar，將 2008 年 5 月 15 日至 6 月 30 日西南氣流實驗密集觀測期間所得觀測資料與 EC YOTC 分析場進行同化，產生一組新的分析資料。每年的 5 至 6 月為台灣西南氣流盛行的季節，由於觀測資料缺乏海上資訊，目前對於此種中尺度天氣系統發展之預報仍有很大的進步空間。加入西南氣流之密集觀測資料同化之後，可以提供足夠的海上資訊，能補足水氣、風場資訊的不足，期望能增進其下游之模式模擬的定量降水評估能力。

本研究結果顯示，加入觀測資料同化後之新分析資料，對溼度、風場有很顯著的修正，與其它客觀資料相比較，同化結果使 EC 資料更貼近實際觀測，對底層之水汽、風場能有更好的掌握。

本研究產品有 15km、5km 二種解析度，各有二種資料格式(netcdf 與等壓面 Grid 格式)共四組資料，WRF 輸出之 netcdf 格式，可直接作為 WRF 模擬使用或繪圖；二為等壓面 Grid 格式，可做為分析研究或供其他模式應用。15km 解析度之分析資料可提供中尺度天氣系統之診斷分析或作為模式模擬初始場使用；5km 解析度之分析資料可提供中尺度天氣系統之診斷分析或作為模式模擬初始場使用，針對中小尺度天氣系統(如島嶼環流)之空間解析能有更進一步的幫助，垂直層數為 50 層，可應不同天氣系統尺度需求應用於模擬與資料分析。本研究結果之資料，可進行分析研究外，亦可作為模擬研究之初始與邊界資料，因此，期望未來此研究資料或相關研究方法可協助或促進後續之科學研究。

六、參考文獻

- 吳宗堯、陳泰然、謝信良、喬鳳倫、陳正改、蕭長庚及朱曙光，1984: 台灣地區
春至初夏之局部性豪雨及其對水稻災害之初步分析。大氣科學，**11**，29-44。
- 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*,
68 pp.
- Burpee, D. M., W. Huang, Y.-R. Guo, A. J. Bourgeois and Q. N. Xiao, 2004: A
three-dimensional variational data assimilation system For
MM5: Implementation and initial results. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 897-914
- Chen, G. T.-J. and S. S. Chi, 1978 : On the meso-scale structure of Mei-Yu front in
Taiwan. *Atmos Sci.*, **5**, 1, 35-47
- Chen, G. T.-J. , 1988: On the synoptic- climatological characteristics of the East Asian
Mei-Yu Front. *Atmos Sci.*, **16**, 435-446
- Chen, S.-H., 2007: The impact of assimilating SSM/I and QuikSCAT satellite winds on
Hurricane Isidore simulations. *Mon. Wea. Rev.*, **135**, 549-566.
- Chien, F.-C., and Y.-H. Kuo, 2009: Impact of FORMOSAT-3/COSMIC GPS radio
occultation and dropwindsonde data on regional model predictions during the
2007 Mei-yu season. *GPS Solutions*
- Ciesielski, Paul E., and Coauthors, 2010: Quality-Controlled Upper-Air Sounding
Dataset for TiMREX/SoWMEX: Development and Corrections. *J. Atmos. Oceanic
Technol.*, **27**, 1802–1821. doi: 10.1175/2010JTECHA1481.1
- Lin, H.-H., and P.-L. Lin, Q.-N. Xiao, Y.-H. Kuo , 2011: Effect of Doppler Radial Velocity
Data Assimilation on the Simulation of Typhoon Approaching Taiwan: A Case
Study of Typhoon Aere (2004). TAO. (submitted)

Tuleya, R. E., and S. J. Lord, 1997: Typhoons affecting Taiwan: current understanding and future challenges. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**,67-80