

中央氣象局104年天氣分析與預報研討會 在初始條件中包含降雨蒸發冷卻效應對一沿岸劇烈 降水個案的影響

涂綢琪^{1,4} 陳宇能¹ 陳舒雅² 郭英華^{2,3} 林沛練⁴

¹**Department of Atmospheric Sciences, School of Ocean and Earth Science and Technology, University of Hawaii at Manoa 夏威夷大學大氣科學系**

²**University Corporation for Atmospheric Research**

³**National Center for Atmospheric Research**

⁴**Department of Atmospheric Sciences, National Central University 中央大學大氣科學系**

摘要

在研究一個 2008 年 6 月 15-16 日台灣西南部的沿岸劇烈降水個案中，在模式開始預報之前的 36 小時應用 WRF 三維變分(3DVAR)資料同化 cycling runs 同化 Terrain-influenced Monsoon Rainfall Experiment (TiMREX) 探空、global telecommunications system (GTS)資料和 Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere, and Climate (COSMIC) global positioning system (GPS) radio-occultation (RO) 資料可以改進 National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Global Forecast System (GFS)所提供的模式初始場。GPS RO 和 TiMREX 探空對於次綜觀尺度流場的模式初始場(包含鋒前濕舌和和弱的高層短波槽)有正面的影響。在 6 月 14-15 日的先前降雨系統造成台灣西南部的邊界層內有一冷池，有資料同化 cycling run 的實驗組可以包含降雨蒸發冷卻效應使冷池的模擬結果較使用 NCEP GFS 資料為初始場的實驗組好。因此，有 cycling run 的實驗組模擬台灣的局地環流和西南部沿岸劇烈降水的結果較好。

關鍵字：資料同化、冷池、局部環流、沿岸劇烈降水

一、前言

台灣梅雨時期的西南氣流，可能會帶來中央山脈迎風面山區劇烈降雨，而台灣西南部沿岸也常因受地形阻滯的西南氣流(blocked southwesterly flow)與陸風幅合而發生夜間與清晨的降雨極值(Yeh and Chen 1998; Kerns et al. 2010)，在某些特定的情況下，台灣西南部的沿岸劇烈降雨會從清晨持續發生到白天(Xu et al. 2012; Tu et al. 2014)，與一般白天多為山區有降雨極值的降雨分佈不同，此種降雨機制在梅雨季中也是不容忽視的一類，其模式模擬和預報的改良仍然需

要我們投注更多心力。Tu 等人(2014)用觀測及 WRF 模式資料深入探討 2008 年台美合作的 Southwest Monsoon Experiment/Terrain-influenced Monsoon Rainfall Experiment (SoWMEX/ TiMREX) 實驗中的 Intensive Observing Period (IOP)#8 沿岸劇烈降水個案的降雨機制，他們發現冷池的存在，使 2008 年 6 月 16 日在台灣西南部白天沒有向岸風和上坡風的形成，而白天沿岸劇烈降水是因為地形阻滯效應和離岸流與減速的西南氣流幅合。然而他們的模擬並未使用資料同化系統，本研究希望進一步用資料同化技術來改

進初始條件與增進沿岸劇烈降水的模擬與預報，運用此研究方法可以使未來在對梅雨季的降水模擬有很大的幫助。

二、資料與研究方法

TiMREX 實驗期間，台灣本島有 9 個 rawinsonde 站，而上游東沙島也有 rawinsonde 站，地面雨量資料來自於 429 個雨量測站包括傳統地面天氣站與自動雨量測站 (Automatic Rainfall and Meteorological Telemetry System) (Kerns et al. 2010)。我們使用 3 小時 CMORPH (CPC MORPHing technique) 雨量資料為 0.25° 格點資料 (Joyce et al. 2004)。ECMWF Year of Tropical Convection (YOTC) (Moncreeff et al. 2012) 分析場被用於描述次綜觀天氣形態和溼舌，YOTC 資料是由 25-km 格點資料內差到 0.5° 格點資料。

用 Weather Research and Forecasting (WRF) 模式設定一個 CTRL run，先做 36 小時(自 0000 UTC 14 June 到 1200 UTC 15 June)三維變分(3DVAR)資料同化 cycling run 同化 Terrain-influenced Monsoon Rainfall Experiment (TiMREX) 探空、global telecommunications system (GTS) 資料和 Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere, and Climate (COSMIC) global positioning system (GPS) radio-occultation (RO) 資料，同化時間窗區為正負 3 小時 (圖 1)，之後再做 36 小時預報(自 1200 UTC 15 June 到 0000 UTC 17 June)，與直接用 GFS 分析場做預報的初始場的模擬(GFS-FCST run)做比較，看資料同化技術可否改進降雨預報。模式以 3 層的巢狀網格進行模擬，網格間距分別為 27、9 和 3 公里(圖 2)。CTRL run 中自 0000 UTC 14 June 到 1200 UTC 15 June 的 cycling run 是用 NCEP FNL 1° 再分析資料做初始條件與邊界條件，而 1200 UTC 15 June 到 0000 UTC 17 June 的預報則是用 1° GFS 資料作為邊界條件。

GFS-FCST run 的預報(1200 UTC 15 June 到 0000 UTC 17 June)是用 1° GFS 資料作為初始條件與邊界條件。垂直方向從地面到 30-hPa 層為追隨地勢的 σ 座標，共 45 層¹，模式的微物理方法、積雲參數法、邊界層參數法與 Hsiao 等人(2012)所設定的相同，使用 Rapid Radiative Transfer Model (RRTM) (Mlawer et al. 1997)、Goddard shortwave (Chou and Suarez 1994) schemes、Noah land-surface model (LSM) (Chen and Dudhia 2001) 和 Yonsei University (YSU) planetary boundary layer scheme (Hong et al. 2006)，降雨過程使用 Goddard microphysics (Tao and Simpson 1993)，積雲參數化使用 Kain-Fritsch cumulus parameterization scheme (Kain 2004)，第三層網格(domain 3)未使用積雲參數化。並且使用中央氣象局(Central Weather Bureau, CWB)更新的土壤使用(land use)資料 (Dr. J.-S. Hong, personal communication)。

三、結果

資料同化可改善模式初始場的次綜觀環流及水氣場，本研究發現將西南氣流實驗(TiMREX)的東沙島探空加入資料同化系統後，改善了台灣上游的濕舌(moisture tongue)水氣量(圖 3a,b,c)，而所有 TiMREX 的探空、COSMIC GPS RO 的探空和 GTS 資料改善了高層槽的配置(圖 3d,e,f)，另一方面，使用資料同化 cycling run 可將之前天氣系統的降雨冷卻效應 (rain evaporative cooling effect)包含在初始場中，以 2008 年西南氣流實驗 TiMREX IOP#8 為例，有資料同化 cycling run 的實驗組(CTRL run)在初始場有因之前降雨冷卻效應形成的冷池(cold pool)，而無資料同化組

¹ 模式 sigma 層為 1.0, 0.995, 0.988, 0.98, 0.97, 0.96, 0.945, 0.93, 0.91, 0.89, 0.87, 0.85, 0.82, 0.79, 0.76, 0.73, 0.69, 0.65, 0.61, 0.57, 0.53, 0.49, 0.45, 0.41, 0.37, 0.34, 0.31, 0.28, 0.26, 0.24, 0.22, 0.2, 0.18, 0.16, 0.14, 0.12, 0.1, 0.082, 0.066, 0.052, 0.04, 0.03, 0.02, 0.01, and 0.000

(GFS-FCST run) 則沒有冷池(圖 4)，有資料同化 cycling run 的實驗組在初始場因冷池存在而有較明顯的地形阻滯產生的西南氣流偏轉成南風，而無資料同化組

圖 2. 模式的 3 層的巢狀網格。網格間距分別為 27、9 和 3 公里。

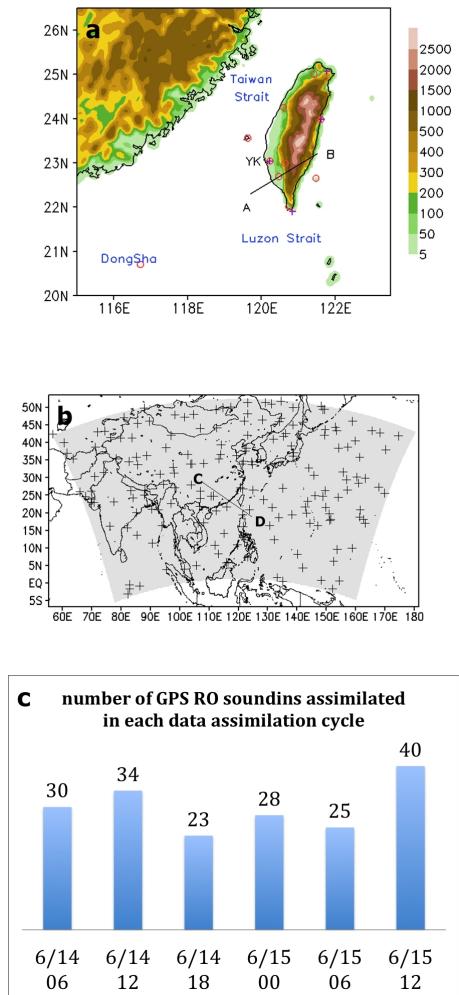
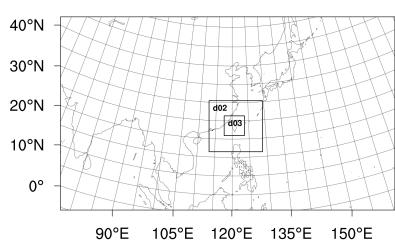


圖 1. (a) 地形 (unit:m), 紅色圓圈為 TiMREX 探空，紫色十字為雷達站，AB 線為圖 4 之剖面切線可以看自台灣西南外海到台灣西南部的冷池的結構與環流，(b) 同化進 WRF 模式的 GPS RO 資料位置，(c) 在每一個同化 cycle 中所同化的 GPS RO 資料數量。



(GFS 分析場的內插值)在台灣西南部則是盛行西南風(圖 4)，與觀測的南風不同，而冷池與地形阻滯為此沿岸降水的重要成因 (Xu et al. 2012; Tu et al. 2014)，能否包含冷池在初始場，影響了之後 2008 年 6 月 16 日白天的降雨預報(圖 5)，CTRL run 的沿岸降雨預報較 GFS-FCST run 接近觀測(圖 5)，CTRL run 降水極值(>150mm)發生在台灣西南沿岸，而 GFS-FCST run 的降雨量較 CTRL run 和觀測小，並且 GFS-FCST run 的沿岸降雨極值分部較觀測以北，CTRL run 在台灣西南部外海的中尺度對流系統降雨分佈也模擬的比較好，因為 CTRL run 在初始場中包含了冷池結構，所以在之後預報降雨比較接近觀測。另外，因為初始場中，GFS-FCST run 在低層和中層為西南風(圖 4)，所以白天降雨有地形舉升西南風的降雨極值在中央山脈上，而觀測只有降雨極值在沿岸，降雨量越往內陸越減小，CTRL run 因為在初始場中，在台灣西南部受冷池與地形阻滯影響盛行偏南風，沒有地形舉升效應的西風分量，所以 CTRL run 在中央山脈沒有降雨極值，CTRL run 較接近雨量測站觀測為降雨量越往內陸越減小。

目前，很多研究探討資料同化可改進次綜觀尺度的模擬，進而影響到降雨預報，較少論文探討到用 cycling run 來改進島嶼尺度的邊界層特性與降雨的模擬，未來會就此議題下來研究其他劇烈降水個案，看用相同的模擬方法是否有一致的模擬結果與特性。並且由於此模擬方法可以將降雨蒸發冷卻(rain evaporative cooling)造成的冷池，包含在初始場內，我們因此也可以更加深入研究此台灣西南部的冷池的結構和與降雨形成機制的關係。

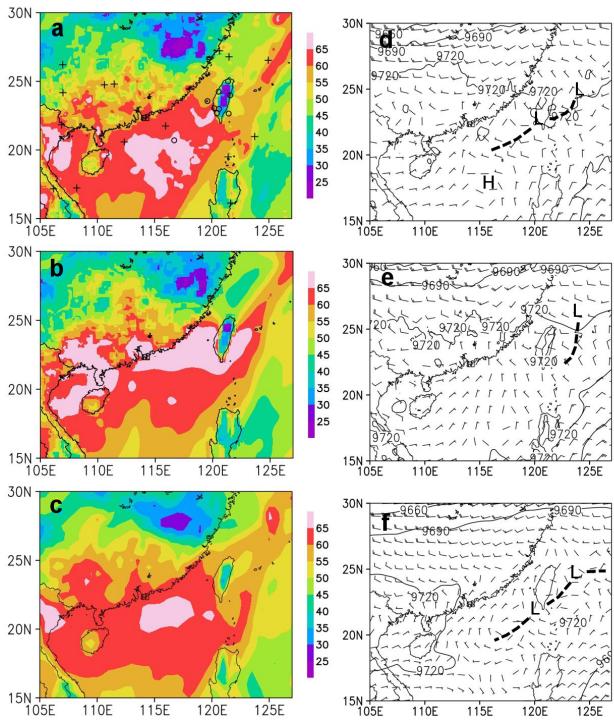


圖 3. (a) CTRL run (domain 1) 在 cycling run 結束後 (1200 UTC 15 June 2008) 的初始條件的可降水量(TWP, 單位: mm)。有進入資料同化 cycling runs 的 TiMREX 和 GPS RO 探空位置分別標示在”o”和”+”處。(b)同(a)但為由 GFS 分析場內差而來的 TPW (單位: mm)。(c) YOTC 分析場的 TPW (單位:mm)。(d) 同(a)但為 300-hPa 重力位高度(單位: gpm)和風 (單位: $m s^{-1}$, a full barb represents $10 m s^{-1}$). (e) 同 (b) 但為 300-hPa 重力位高度 (單位: gpm) 和風 (單位: $m s^{-1}$, a full barb represents $10 m s^{-1}$). (f) YOTC 分析場的 300-hPa 重力位高度(單位: gpm) 和風 (單位: $m s^{-1}$, a full barb represents $10 m s^{-1}$)。

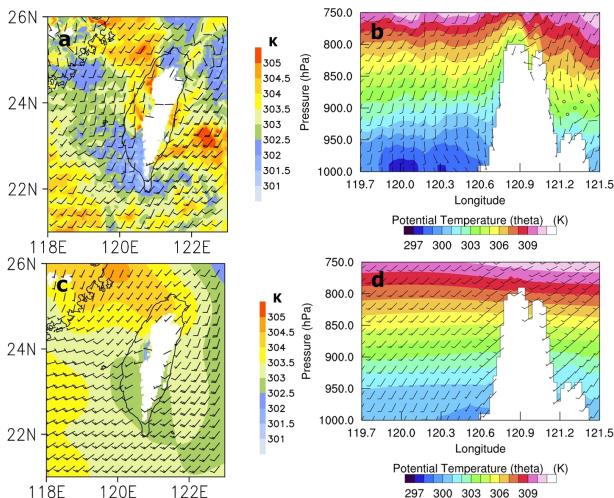


圖 4. CTRL run 在模式初始時間(1200 UTC 15 June)時，Domain 3 的(a) 900-hPa 位溫 (unit: K) 和風(unit: $m s^{-1}$, a full barb represents $10 m s^{-1}$) 和(b)位溫 (unit: K) 和風 (unit: $m s^{-1}$, a full barb represents $10 m s^{-1}$) 沿圖 1a 中 AB 線的剖面圖。(c)和(d)同(a)和(b) 但為從 GFS 分析場內差而來的初始條件。

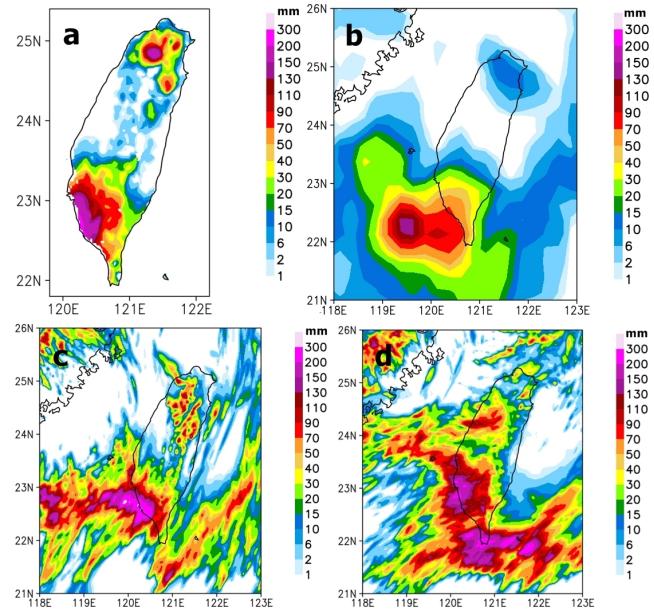


圖 5. 0000-1200 UTC (0800-2000 LT) 16 June 的降雨累積(單位: mm): (a) 雨量站, (b) 0.25° 的 CMORPH (Climate Prediction Center morphing method) 降雨資料, (c) CTRL run 模擬和 (d) GFS-FCST run 模擬(從 3km 解析度的 Domain 3 的模擬結果)。

四、結論

我們選擇一個梅雨季的劇烈降雨個案(2008 年 6 月 16 日)來研究 WRF 三維變分(3DVAR)資料同化 cycling runs 同化 Terrain-influenced Monsoon Rainfall Experiment (TiMREX) 探空、global telecommunications system (GTS)資料和 Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere, and Climate (COSMIC) global positioning system (GPS) radio-occultation (RO) 資料可改進初始場的高層次綜觀特性、濕舌、局部環流和之後的降雨預報。

在初始場中，有資料同化的 CTRL run 模擬的可降水量(Total precipitable water)和高層次綜觀特性較 GFS-FCST run 好，CTRL run 的上游濕舌中的可降水量較 GFS-FCST run 高，而且 GFS-FCST run 的水汽軸自中國東南部延伸到台灣，不像 CTRL run 和 YOTC 中濕舌自南中國海延伸到台灣西南部，除此以外，因為 CTRL run 的 cycling run 可以包含 0000 UTC 14 June 到 1200 UTC 15 June 的降雨蒸發冷卻，使 1200 UTC 15 June (預報的初始場) 在台灣西南部與西南外海俱有一冷池，而 CTRL run 也能模擬出西南氣流也受到地形與冷池的阻滯效應轉為偏南風，實際觀測到因為地形阻滯效應和離岸流與減速的西南氣流的幅合，產生了沿岸劇烈降水(Tu et al. 2014)，CTRL run 也將此現象模擬的很好。而 GFS-FCST run 在初始場中，低層和中層為西南風，所以白天降雨有地形舉升西南風的降雨極值在中央山脈上，不同於觀測只有降雨極值在沿岸，降雨量越往內陸越減小，另外，GFS-FCST run 的白天沿岸降雨較觀測與 CTRL run 小且極值較偏北，台灣西南外海的降雨分佈也是 CTRL run 比 GFS-FSCT run 預報的較好。

- 43, 170–181.
- Kerns, B., Y.-L. Chen, and M.-Y. Chang, 2010: The diurnal cycle of winds, rain and clouds over Taiwan during the Mei-Yu, summer, and autumn regimes. *Mon. Wea. Rev.* 138, 497–516.
- Mlawer, E. J., S. J. Taubman, P. D. Brown, M. J. Iacono, and S. A. Clough, 1997: “Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the long-wave”, *J. Geophys. Res.*, 102 (D14), 16663–16682.
- Moncrieff, M. W., D. E. Waliser, M. J. Miller, M. A. Shapiro, G. R. Asrar, and J. Caughey, 2012: “Multiscale convective organization and the YOTC virtual global field campaign”, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 1171–1187.
- Tao, W.-K., and J. Simpson, 1993: “The Goddard cumulus ensemble model. Part I: Model description”, *Terr. Atmos. Oceanic Sci.*, 4, 35–72.
- Tu, C.-C., Y.-L. Chen, C.-S. Chen, P.-L. Lin and P.-H. Lin, 2014: “A comparison of two heavy rainfall events during the Terrain-influenced Monsoon Rainfall Experiment (TiMREX) 2008”, *Mon. Wea. Rev.*, 142, 2436–2463.
- Xu, W., E. J. Zipser, Y.-L. Chen, C. Liu, Y.-C. Liou, W.-C. Lee, and B. J.-D. Jou, 2012: “An orography-associated extreme rainfall event during TiMREX: initiation, storm evolution, and maintenance”, *Mon. Wea. Rev.*, 140, 2555–2574.
- Yeh, H.-C., and Y.-L. Chen, 1998: Characteristics of the rainfall distribution over Taiwan during TAMEX. *J. Appl. Meteor.*, 37, 1457–146.

參考文獻

- Chen, F., and J. Dudhia, 2001: “Coupling an advanced land-surface/ hydrology model with the Penn State/ NCAR MM5 modeling system. Part I: Model description and implementation”, *Mon. Wea. Rev.*, 129, 569–585.
- Chou, M.-D., and M. J. Suarez, 1994: An efficient thermal infrared radiation parameterization for use in general circulation models. NASA Tech. Memo. 104606, 3, 85 pp.
- Hong, S.-Y., and Y. Noh, and J. Dudhia, 2006: “A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes”, *Mon. Wea. Rev.*, 134, 2318–2341.
- Joyce, R.J., J.E. Janowiak, P.A. Arkin, and P. Xie, 2004: CMORPH: A Method That Produces Global Precipitation Estimates From Data At High Spatial And Temporal Resolution. *J. Hydrometeor*, 5, 487–503.
- Kain, J. S., 2004: “The Kain-Fritsch convective parameterization: An update”, *J. Appl. Meteor.*,