

台灣冬季中尺度海洋性旋生個案模擬之應用研究

任亦偉、林得恩、呂崇華、鳳錦暉
空軍氣象聯隊

摘要

本研究利用 WRF 數值模式(the Advanced Research WRF, ARW)來模擬 2011 年 01 月 27 日至 28 日在臺灣東部外海的中尺度海洋性旋生現象，並探討此旋生現象對臺灣機場天氣之影響。

模擬結果顯示，此旋生個案區分為三階段：1.初期階段、2.發展階段、3.成熟階段。在初期階段，旋生位置之海洋表面溫度約為 21~25°C，該處近海表面空氣溫度則低於海洋表面溫度，約為 14~18°C，顯示水氣通量(moisture flux)及可感熱通量(sensible heat flux)在個案之生成初期應具重要角色；在發展階段，氣旋式環流之建立加強臺灣海峽北風風速，將低層大量水氣往臺灣西北部輸送，使得西北部沿海機場(桃園、新竹、清泉崗)相對濕度增高，並伴隨微弱降雨天氣現象；最後在成熟階段，封閉式低壓環流形成，中低空層上升運動增強，低壓加深，氣旋逐漸發展出鋒面且向東移動，並向西南延伸至臺東外海，28 日 06UTC 後東部機場(花蓮、臺東)則出現零星降雨，此時東北季風南下風速增強，西北部沿海機場之高相對濕度消失。

分析機場觀測資料發現，當本個案進入發展階段時，由於氣旋式環流將海峽上層積雲系往臺灣西部輸送，使得西北部沿海機場(桃園、新竹、清泉崗)能見度及雲幕均下降，並伴隨微弱降雨天氣現象，進一步分析模式低層相對濕度及總雲混和比則發現，低能見度及低雲幕發生時間，與低層相對濕度及較大總雲混和比區域移入西部沿海之時間點相當接近，由此可證明利用 WRF 模式在預報冬季伴隨海洋性旋生之低能見度與低雲幕現象應有實質上之幫助。

關鍵字：中尺度海洋性旋生、低能見度、低雲幕

一、前言

二十世紀初期，極鋒理論已對溫帶氣旋及極鋒做了相當完整的解釋(Bjerkness, 1919; Peterssen, 1955)，Lupo et al.(1992)及 Rolfson and Smith(1996)均指出由低層到高層的水平暖空氣平流及氣旋式渦旋平流作用是造成氣旋發展的主要因素，其中也伴隨潛熱釋放效應及可感熱傳遞的貢獻，以上各項作用造成了近地面地轉過度增加，形成局部環流，大氣開始有垂直運動，降低了海平面氣壓值，低壓中心便開始形成及發展。

過去由於觀測資料不夠密集，觀測工具也較為簡陋，中尺度海洋性旋生理論發展較晚，也無法進行研究。拜計算機進步所賜，數值模式發展漸趨成熟，加上觀測資料逐漸密集，觀測工具也越來越多樣化，氣象界才能對中尺度旋生現象有較為仔細的分析與診斷，對於中尺度旋生的過程，才有更深入的了解。

冬季台灣天氣主要受極地大陸冷氣團影響，大陸冷氣團自源地往外移過程中，受地表特性及緯度變化而變性；在此環境下，常在台灣東方外海形成中尺度低壓，一般稱之為「台灣低壓」(俞，1980；許與黃，1991)，因其生成位置常在海洋上，又稱為「海洋性旋生」。相關研究顯示，台灣低壓的生成會對台灣地區局部天氣造成相當程度之影響(俞，1980)。本文將透過 WRF 數值模式(the Advanced Research WRF, ARW)來模擬 2011 年一月 26 至 28 日台灣低壓個案，探討海洋性旋生在熱力上及動力上之演變過程，並說明不同旋生階段對於台灣地區機場天氣之影響。

二、研究方法

WRF 模式為完全可壓縮以及非靜力模式，採用 F90 語言編寫。水平方向採用 Arakawa C 網格點，垂直方向則採用地勢追隨座標(σ)，在時間積分方面採用三階或者四階的 Runge-Kutta 演算法。WRF 模式不僅適合進行理想性模擬，亦可應用於真實天氣的個案模擬及探討，其運算流程示意圖如圖 1 所示。

本研究將 WRF 設定為三層巢狀網格，水平解析度分別為 27、9、及 3 公里，垂直解析度為 27 層，初始場及邊界條件使用 NCEP GFS 全球模式，其水平解析度為 0.5°x0.5°，模式預報時間為 48 小時，相關模式細部設定請參閱表一(Wei et al., 2008)。

三、綜觀環境

分析海平面氣壓場(hPa)、溫度場(°C)、及風場得知，1 月 26 日 1200UTC(圖 2.a)台灣地區受東北季風影響，此時在台灣東部外海已存在一風場輻合帶，將溫度場對照日本氣象廳(JMA)海表面溫度分析圖顯示(圖 3.a)，台灣東部外海之氣溫約為 14 至 18°C，而海溫則約為 21 至 25°C，此海氣間的溫差達 7°C 以上，顯示水氣通量及可感熱通量為此旋生個案在生成初期之重要環境特徵；27 日 1200UTC 分析圖(圖 2.b)顯示，台灣東部外海氣壓場開始出現氣旋式彎曲，對照海溫分析圖顯示(圖 3.b)，當地海氣溫差異仍大，此時中尺度氣旋進入發展階段；28 日 0000 及 1200UTC 高解析海平面氣壓場顯示(圖 4)，台灣東部外海已發展出一封閉低壓

環流，並往東北方移動，此時氣旋已進入成熟階段。

925hPa 水氣輻散、相對濕度及溫度場顯示，1 月 26 日 1200UTC(圖 5)及 1 月 27 日 1200UTC(圖 6)於氣旋附近存在明顯水氣輻合，而相對濕度及溫度場也都偏高，低層大氣溫度及濕度均偏高提供此氣旋發展有利環境。

500hPa 重力位高度及渦度平流顯示，在氣旋生成(圖 7.a)、發展(圖 7.b)、及成熟階段(圖 7.c)，中層大氣並無存在明顯槽線，正渦度平流也不明顯，即氣旋發展與低層大氣較具關聯性。

四、分析與討論

本個案發展影響台灣局部地區天氣，以下針對氣旋發展階段(27 日)、及成熟階段(28 日)對機場天氣影響作分析。

(一)氣旋發展階段：1 月 27 日

圖 8.a 至 1 顯示 1 月 27 日 01L 至 28 日 24L 桃園、新竹、清泉崗、馬公、花蓮、台東機場能見度(m)、雲幕高(ft)、雨量(mm)、及溫度(°C)變化，圖中黃線為 1 月 28 日 01 時。由圖 8 得知，1 月 27 日台灣地區日間受東北季風影響，北部桃園、新竹機場雲幕偏低，且有零星降雨，馬公機場能見度及雲幕高皆偏低，其餘機場天氣無特殊變化，1 月 27 日 22 時起，清泉崗機場雲幕高及能見度開始下降，而東部機場天氣良好；1 月 27 日 0000UTC 可見光衛星雲圖(圖 9.a)顯示，台灣海峽上存在層狀雲系，但未涵蓋台灣，東部外海存在一帶狀雲系，1 月 28 日 0000UTC 可見光衛星雲圖(圖 9.b)顯示，低雲已涵蓋台灣西北部，而東部外海帶狀雲系已向東移動，雷達回波(圖 10)顯示東部外海存在氣旋式及帶狀降水回波。檢視以 1 月 26 日 1200UTC 為初始場之 WRF 模擬結果，模擬第 12 小時(1 月 27 日 0000UTC)之地面相對濕度及雲幕高(圖 11)顯示，模式可模擬出台灣海峽上出現高相對濕度及低雲幕區，但尚未影響台灣地區，模擬第 12 小時之 925hPa 相對濕度及總雲混和比(圖 12)同樣顯示，高相對濕度及高總雲混和比區皆位於台灣海峽上；WRF 模擬第 24 小時(1 月 27 日 1200UTC)之地面相對濕度及雲幕高(圖 13)及 925hPa 相對濕度及總雲混和比(圖 14)則顯示，高相對濕度、高總雲混和比、及低雲幕區已開始移入台灣中部以北地區。

(二)氣旋成熟階段：1 月 28 日

圖 8 顯示，1 月 28 日 07L，北部桃園機場能見度最差達 3200 公尺，且維持 5 至 6 小時，新竹機場雲幕高於 08L 達到最低，為 600 呎，維持 6 至 7 小時，清泉崗機場能見度及雲幕高也於 08L 達最低，分別為 800 公尺及 100 英呎。檢視 WRF 模擬第 36 小時(1 月 28 日 0000UTC)之地面相對濕度及雲幕高(圖 15)顯示，二者皆於台灣西北部地區出現極大值，預報第 36 小時 925hPa 相對濕度及總雲混和比(圖 16)也顯示類似情形。檢視 WRF 模擬第 48 小時(1 月 28 日 1200UTC)地面相對濕度及雲幕高(圖 17)及 925hPa 相對濕度及總雲混和比(圖 18)顯示，東北季風隨低壓遠離後開始建立，地面相對濕度下降，雲幕高度開始變高，925hPa

總雲混和比亦變小。

五、結論與展望

由上述結果可知，本次 WRF 模式於氣旋發展及成熟階段之模擬結果和機場實際觀測資料大致相符，對預報冬季低能見度與低雲幕現象有相當實質上之幫助。本文使用 WRF 模式來探討 2011 年 01 月 26 日至 28 日在臺灣東部外海的中尺度海洋性旋生現象，並比對模擬結果與觀測資料來探討此旋生現象對臺灣機場天氣之影響。此次旋生個案可區分為三階段：1.初期階段、2.發展階段、3.成熟階段。在初期階段，分析發現旋生位置之海洋表面溫度約為 21~25°C，而該處之近海表面空氣溫度則低於海洋表面溫度，約為 14~18°C，顯示水氣通量(moisture flux)及可感熱通量(sensible heat flux)應在此旋生個案之生成初期佔重要角色；在發展階段，氣旋式環流之建立加強臺灣海峽北風風場，將臺灣海峽上層積雲系及水氣往臺灣西北部傳送，使得西北部沿海機場(桃園、新竹、清泉崗)能見度及雲幕下降，並伴隨微弱降雨天氣現象；最後在成熟階段，封閉式低壓形成，中低空層上升運動增加，低壓中心加深，此時中尺度海洋性氣旋逐漸發展為鋒面系統並開始向東移動，鋒面自此向西南延伸至臺東外海附近，28 日 06Z 後東部機場(花蓮、臺東)則出現零星降雨，此時東北季風南下導致風速增強，西北部沿海機場之低能見度與低雲幕現象遂開始逐漸減弱並消散。

分析 WRF 模擬低層相對濕度及總雲混和比則發現，低能見度及低雲幕發生時間與低層相對濕度及較大總雲混和比區域移入西北部沿海之時間點接近，表示 WRF 數值模式在預報冬季伴隨海洋性旋生之低能見度與低雲幕現象有實質上之幫助。

參考文獻

- 俞家忠，台灣低壓的研究，氣象預報與分析，1980
- 許武榮、黃麗玫，台灣低壓的數值模擬，大氣科學，19，131-147，1991。
- Bjerknes, J.: On the structure of moving cyclones, *Geophys. Publ.*, 1, 1-8, 1991.
- Lupo, A. R., P. J. Smith, and P. Zwack: A diagnosis of the explosive development of two extratropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, 120, 1409-1523, 1992.
- Peterssen, S., A general survey of factors influencing development at sea-level., *J. Meteor.*, 12, 36-42, 1955.
- Wei Wang, Dale Barker, Cindy Bruyère, Michael Duda, Jimmy Dudhia, Dave Gill, John Michalakes, and Syed Rizvi: The user's guide of the Advanced Research WRF (ARW) version 3.0 modeling system, p1-2, Apr 2008.

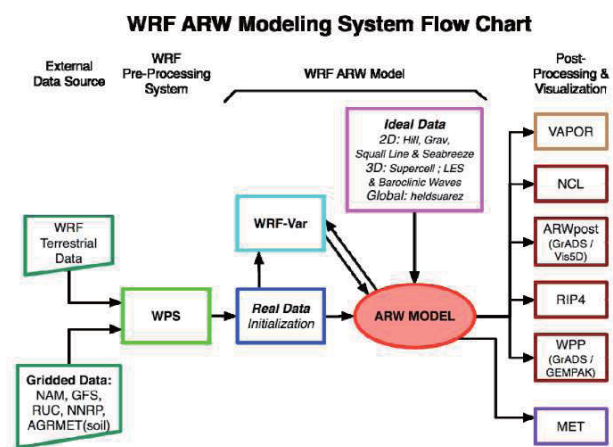


圖 1. WRF 模式運算流程示意圖

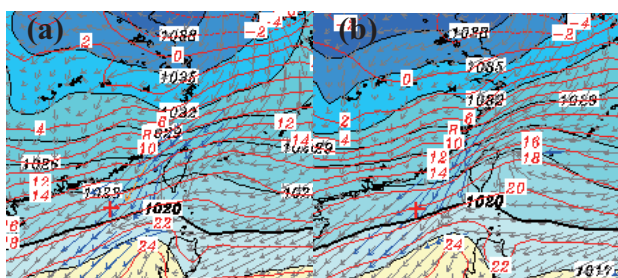


圖 2. 海平面氣壓場(hPa)、溫度場(°C)、及風場(a)1月26日 1200UTC(b)1月27日 1200UTC

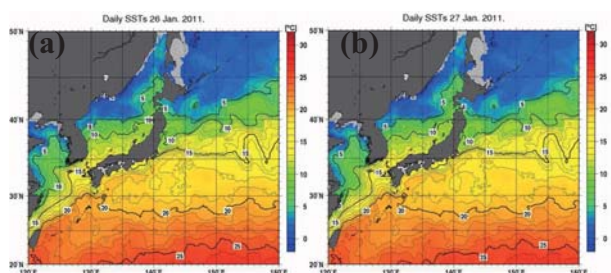


圖 3. 日本氣象廳(JMA)海表面溫度分析圖(°C)(a)1月26日(b)1月27日

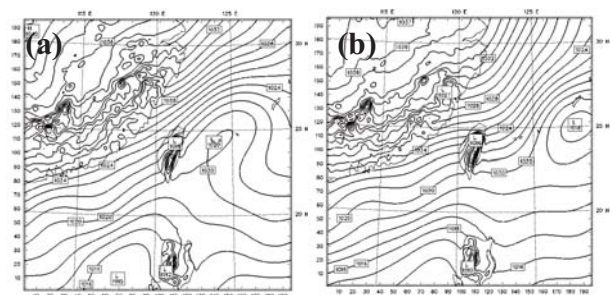


圖 4. 1月28日高解析度海平面氣壓場(a)0000UTC(b)1200UTC

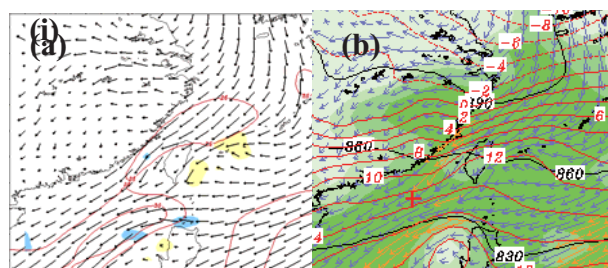


圖 5. 1月26日 1200UTC 925hPa(a)水氣輻合輻散及(b)相對濕度及溫度場

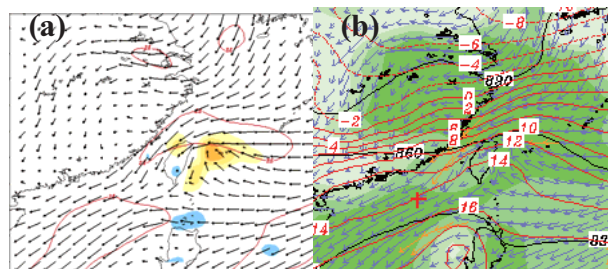


圖 6. 1月27日 1200UTC 925hPa(a)水氣輻合輻散及(b)相對濕度及溫度場

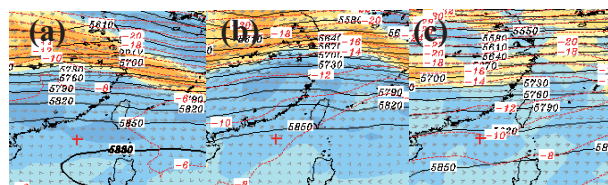


圖 7. 500hPa 重力位高度及溫度平流(a)1月26日 1200UTC(b)1月27日 1200UTC(c)1月28日 1200UTC

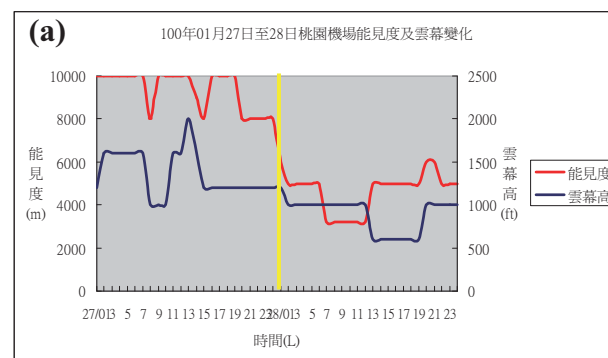
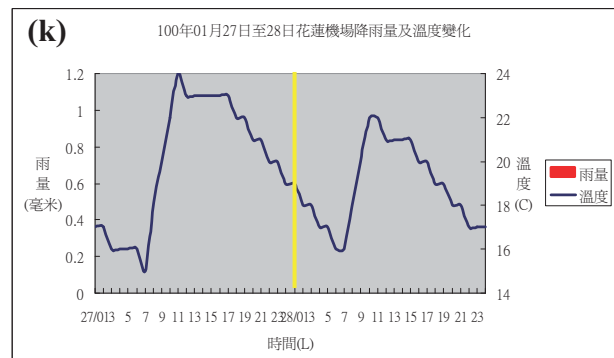
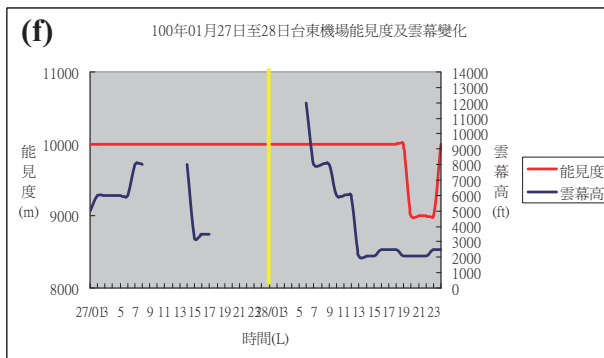
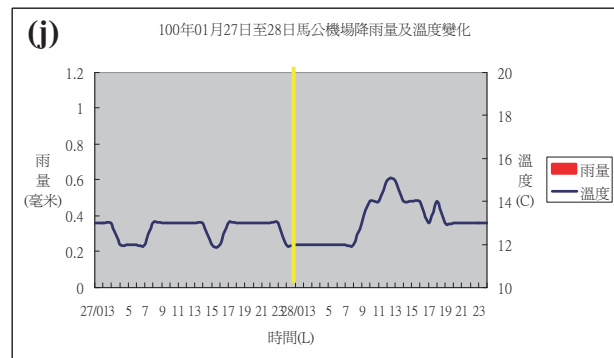
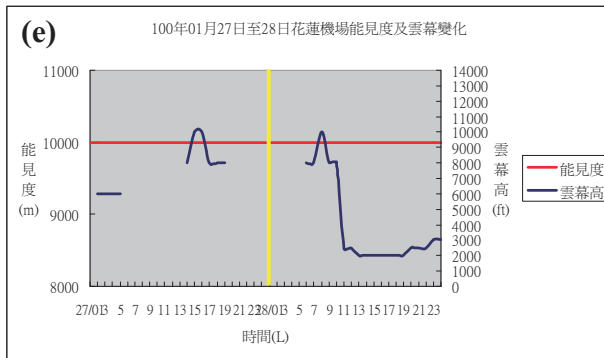
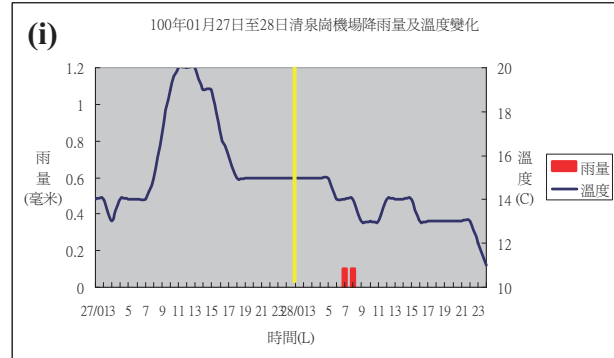
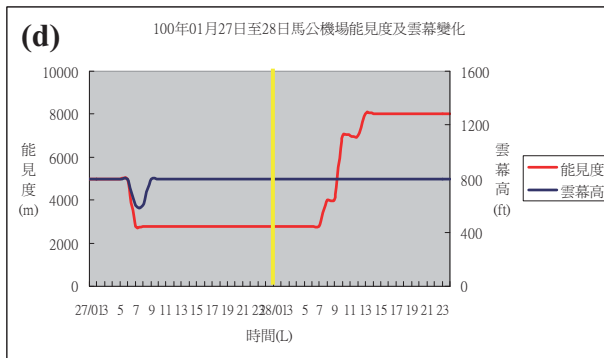
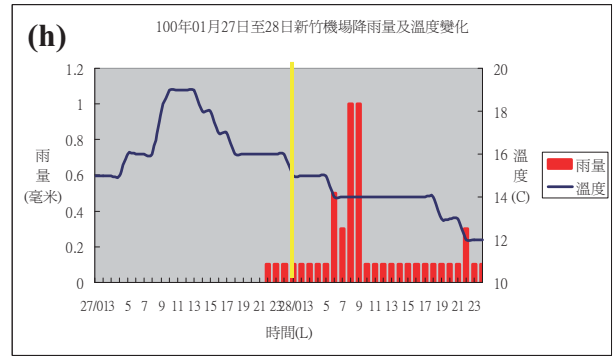
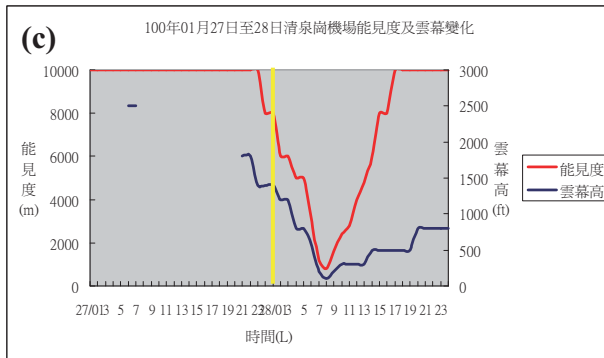
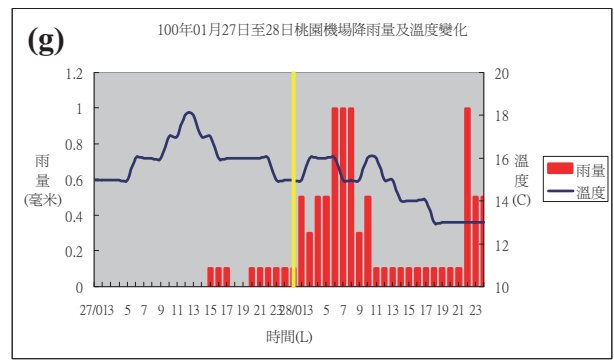
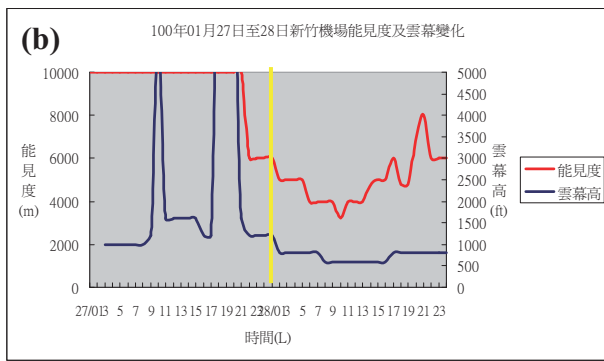
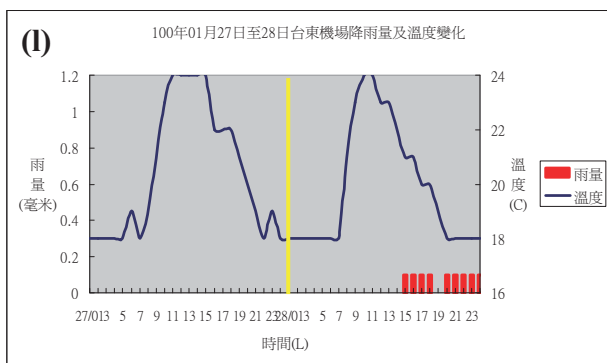


圖 8. 1月27日 01L 至 28日 24L(a、g)桃園、(b、h)新竹、(c、i)清泉崗、(d、j)馬公、(e、k)花蓮、(f、l)台東機場能見度(m)、雲幕高(ft)、雨量(mm)、及溫度(°C)變化,圖中黃線表示1月28日 01時。



續圖 8.



續圖 8.

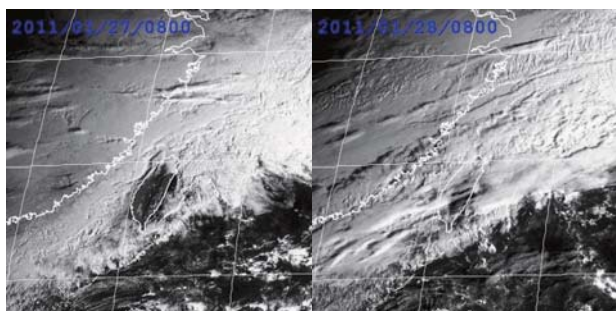


圖 9. 可見光衛星雲圖(a)1 月 27 日 0000UTC(b)1 月 28 日 0000UTC

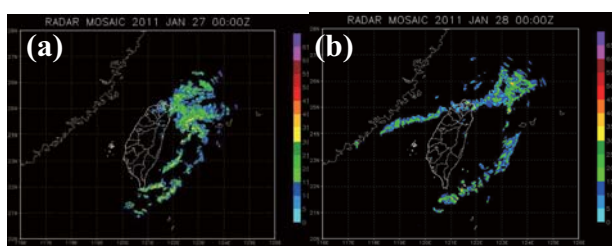


圖 10. 雷達回波圖(a)1 月 27 日 0000UTC(b)1 月 28 日 0000UTC

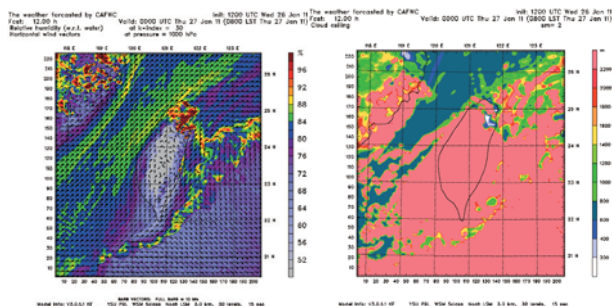


圖 11. WRF 模擬第 12 小時(1 月 27 日 0000UTC)之地面 (a)相對濕度(%)及(b)雲幕高(m)

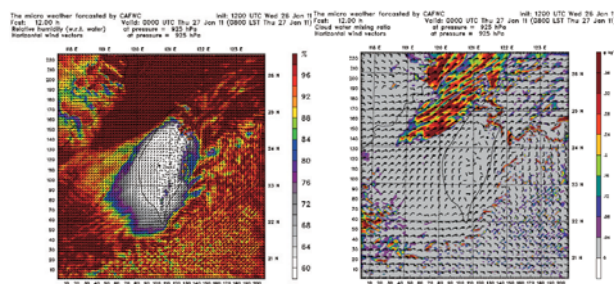


圖 12. WRF 模擬第 12 小時(1 月 27 日 0000UTC)之 925hPa 相對濕度(%)及總雲混和比(g/kg)

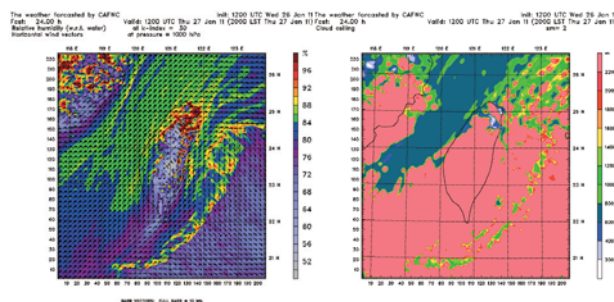


圖 13. WRF 模擬第 24 小時(1 月 27 日 1200UTC)之地面 (a)相對濕度(%)及(b)雲幕高(m)

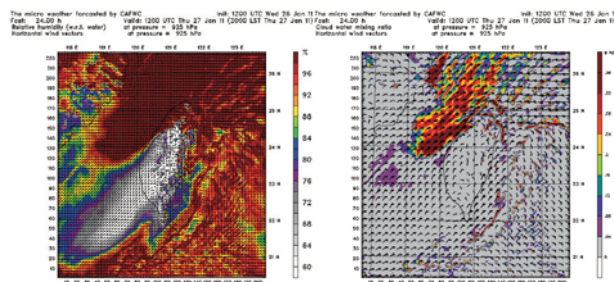


圖 14. WRF 模擬第 24 小時(1 月 27 日 1200UTC)之 925hPa 相對濕度(%)及總雲混和比(g/kg)

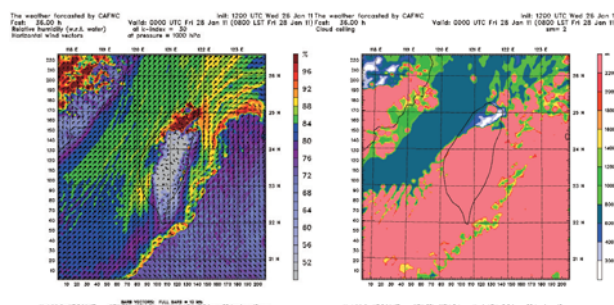


圖 15. WRF 模擬第 36 小時(1 月 28 日 0000UTC)之地面 (a)相對濕度(%)及(b)雲幕高(m)

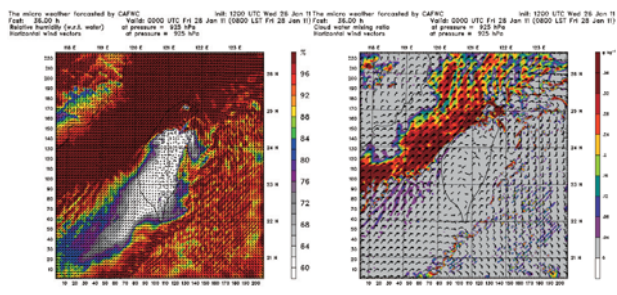


圖 16. WRF 模擬第 36 小時(1 月 28 日 0000UTC)之 925hPa 相對濕度(%)及總雲混和比(g/kg)

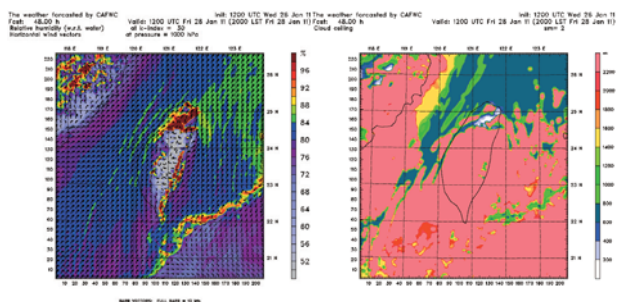


圖 17. WRF 模擬第 48 小時(1 月 28 日 1200UTC)之地面 (a)相對濕度(%)及(b)雲幕高(m)

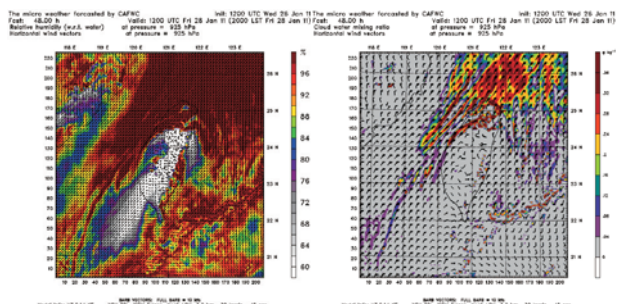


圖 18. WRF 模擬第 48 小時(1 月 28 日 1200UTC)之 925hPa 相對濕度(%)及總雲混和比(g/kg)

表一 WRF 相關參數設定

	D01	D02	D03
水平解析度(km)	27	9	3
水平網格點	300x200	196x196	208x226
垂直解析度	27	27	27
大氣垂直穩定度	靜力	非靜力	非靜力
微物理	WSM5	WSM5	WSM5
邊界層	YSU	YSU	YSU
積雲參數法	KF	KF	KF