

台灣地區冬季劇烈天氣之個案診斷分析

楊善苗¹ 陳泰然¹ 王重傑²

1 國立台灣大學大氣科學研究所

2 景文技術學院環境管理系

一、摘要

2002年12月18–21日華南與台灣地區多處發生的冰雹，為該等地區冬季罕見劇烈天氣現象，造成諸多財物人員損失。此時華南與台灣地區位於地面鋒後但於850 hPa高度槽前，鋒面垂直發展較淺，850 hPa以上有深厚西南風，垂直風切大。低層充足的暖濕空氣配合高層輻散，且探空顯示環境具有對流不穩度，這些均為有利對流發展的綜觀條件。

雷達回波顯示，12月19日1600 LST在廈門西方開始有對流系統發展，三個較強的對流胞幾呈東北-西南走向之排列，隨後增強並東移到台灣地區。強回波區之個別胞移動方向、風暴移動方向與環境風切的關係，都與北美多胞系統中對流胞移動之情形相似。福建龍巖雷達回波顯示，三個較強對流胞皆有多次風暴分裂的現象，且分裂後都以最南側之風暴具有最強的回波值。

使用日本名古屋大學所研發雲解析風暴模式(Cloud Resolving Storm Simulator, 簡稱CReSS)進行個案模擬，模擬結果將用以探討風暴分裂過程與動力機制。

關鍵詞：劇烈天氣、風暴、數值模擬。

Abstract

During 18–20 Dec 2002, many places around southern China and Taiwan had hail events that caused massive damages. Synoptic analyses show that southwesterly flow brought warm and moist air to the area, mid-atmosphere

had large vertical wind shear coupled with upper level outflow. Sounding data revealed that the environment was convectively unstable.

Radar observation indicated three maximum echoes aligned in NE–SW direction and moved eastward while undergoing splitting processes.

A three-dimensional cloud model is used to investigate this unique event and to discuss its interesting aspects.

Keywords: severe weather、storm、numerical simulation.

二、前言

台灣地區發生下雹的劇烈降水主要在夏季午後對流系統出現，冬季大氣零度線高度雖較夏季來得低，但因冬季大氣穩定度較高，降水以層狀為主，很少有劇烈對流甚至降雹的情況。2002年12月18–21日華南與台灣地區多處發生冰雹，此區在冷季長時間大範圍這樣劇烈的天氣現象十分罕見，也造成許多農業、航空和民生斷電等損失。

在北美大平原區春季常有劇烈對流或超大胞伴隨下雹的天氣發生，也有許多學者針對該天氣相伴系統進行研究，由於系統多屬水平範圍在百公里以下之中小尺度對流系統，模擬研究主要以探空資料進行理論研究(例如 Weisman and Klemp 1981)。

從雷達回波資料發現，本個案強回波區之個別胞移動方向、風暴移動方向及環境風

切的關係與 Marwitz (1972) 研究相似，亦有多次風暴分裂的現象，故本研究除了利用各種觀測資料進行個案診斷分析外，也藉由一個三維雲解析模式，對個案進行更深入之模擬實驗研究。

三、資料來源與模式簡介

為研究 2002 年 12 月 19 日台灣地區冬季劇烈天氣個案，資料選取包括：1) 中央氣象局自動雨量站逐時資料；2) 台灣電力公司逐時落雷資料；3) ECMWF advanced $1.125^\circ \times 1.125^\circ$ 0000 UTC 網格資料，垂直向取地面、925、850、700、500 及 200 hPa 共六層；4) 中央氣象局逐時 MOSAIC CV 圖；5) 福建廈門 0000 UTC 探空資料；6) 福建龍巖都卜勒雷達回波資料。模式模擬以廈門探空資料作為理想模擬之初始場。

本研究使用日本名古屋大學大氣水圈科學研究所研發的雲解析風暴模式 (Cloud Resolving Storm Simulator, 簡稱 CReSS) 進行個案模擬，此研究工具為三維非靜力可壓縮模式，雲物理過程直接計算六個濕變數 q_v 、 q_c 、 q_r 、 q_i 、 q_s 及 q_g 而不使用積雲參數化。圖 1 為模擬範圍示意圖，水平解析度 2.5×2.5 km，垂直使用雙曲正切函數伸展網格間距，最小間距 150 m，地形資料水平解析度則為 1 km。

四、觀測分析與模擬結果

(一) 觀測分析

圖 2a 為 24 小時落雷數累積分布圖與媒體報導民眾通報之下電地點，圖 2b 則是 2100–2400 LST 三小時累積雨量分布。圖中三個風暴路徑可以明顯區分，且由圖 2a 與 2b 比較可知，下電地區、累積雨量以及落雷區，在台灣北部與中部的風暴移行路徑上均有很好的水平空間分布搭配，南部風暴落雷數明顯較少，但下電區與降水分布亦頗一致。

圖 3 為 12 月 19 日 0000 UTC 地面與高空客觀分析。圖 3a 風場分析可知台灣地區位於地面鋒後；圖 3b 顯示 925 hPa 台灣地區盛行風已有西南風分量，自北方南下的冷空氣厚度很淺；圖 3c 中 850 hPa 斜壓區自日本西南方的低壓中心向西南延伸到廣西，台灣已位於高度槽前暖區；圖 3d 與 3e 顯示中層大氣有深厚之強勁西南風；圖 3f 則可見台灣位在高層分流區。

圖 4 為廈門探空資料氣塊自 925 hPa 舉升的斜溫圖，利用探空資料計算對流可用位能 (CAPE) $683 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ ，對流理查遜數 (R_{ic}) 為 23.6。 R_{ic} 在 15–35 時有利超胞發展，大於 40 時則有利多胞風暴發展 (Weisman and Klemp 1982)；斜溫圖上溫度剖線接近濕絕熱直減率，中高層有乾空氣，顯示環境具有對流不穩度；西南風十分深厚，垂直風切則主要在風速增加，而非風向轉變。

圖 5 顯示伴隨三風暴的回波中心呈東北-西南向排列，自 1600 LST 開始出現在雷達圖上，隨後東移到洋面時增強並侵襲台灣，同時可見多次風暴分裂現象，但三風暴 (自北到南隨後稱 A、B、C) 都以南側之分裂回波中心強度較強，最強回波值在 2100 LST 時達 72 dBZ。

(二) 模擬結果

圖 6a 與 6b 分別為模式開始模擬後 912 與 12–15 三小時累積雨量，各有 20 mm，極值區為風暴 B 所在位置。圖 7a 與 7b 分別為模式模擬 7 小時後 (1500 LST) 之垂直氣柱內最大雲水混比 (q_c) 投影圖與福建龍巖雷達 0655 UTC 之 0.5 度仰角回波圖，顯示福建附近已出現零星對流。

圖 8 為模式模擬 12–13.5 小時每三十分鐘之垂直氣柱內最大雲水混合比 (q_c) 水平投影圖，三風暴已可明顯區別，其中風暴 A 與 C 在兩小時內近乎滯留，風暴 B 則以 6.65 m s^{-1} 之平均移速向東北移動並伴隨風暴分裂。圖 8a 中風暴 B 在模擬 12 小時後已在東

南側出現一分裂中心 B2，西北側的原中心 B1 也再次呈現左右拉伸現象；三十分鐘後 B2 中心強度減弱，B1 拉伸範圍與強度亦減小(圖 8b)；一小時後 B2 消失在模擬範圍內，而 B1 則維持強度與形狀(圖 8c)；至圖 8d 時整個模擬範圍內強度明顯減弱，B1 只剩一強回波中心，拉伸形態消失。

圖 9 為模式模擬 10.5–14 小時高度 7143 m 每三十分鐘之垂直速度場。圖 9c 中風暴 B 分裂成 B1 與 B2，各自發展後，在圖 9e 再分裂出 B3 與 B4，同時可見風暴 A 與風暴 C 皆有拉伸現象；模擬至 13 小時之圖 9f 中，B2 和 B4 消散，B3 再次分裂成一強一弱的 B3-1 和 B3-2，另外風暴 C 分裂為 C1 跟 C2，風暴 A 亦分裂為 A1 與 A2；模擬到 13.5 小時(圖 9g)，分裂出的 A2、B3-1、B3-2 和 C1 皆減弱消散，但 A1 增強並分裂出 A1-1 與 A1-2；圖 9h 模擬範圍內只剩下 A1、A1-1 及 B1，其他對流胞都減弱消失。

五、討論與結論

2002 年 12 月 18–22 日華南與台灣地區多處地方發生下雹的劇烈天氣現象，是冬季十分罕見的情況，其中 19 日 2100 LST 台灣各地都下了 15 分鐘的冰雹，一夜造成達兩億農業損失。

觀測資料分析顯示，綜觀環境低對流層有旺盛且深厚的西南暖濕氣流，並配合有高層分流。探空顯示環境大氣具有對流不穩度且垂直分切大， R_{ic} 值為 23.6，皆有利劇烈對流發展。雷達觀測發現 1600 LST 有三個強回波對流胞自福建發展，隨後增強並向東移動，過程中伴隨多次風暴分裂，於 2100 LST 侵襲台灣。

使用日本名古屋大學所研發之雲解析模式(CReSS)，本文以福建廈門 0000 UTC 探空為初始資料進行個案理想化模擬，結果發現模式在對流初始發展時間、降水強度、三

風暴多次分裂以及對流呈東北西–南排列等各方面，都有不錯的掌握。可知在研究中小尺度對流系統，此雲解析模式是一個很好的研究工具。

未來將使用區域模式之客觀分析網格點資料初始場，對本個案進行實際模擬，以期對此個案有更多的診斷分析與天氣系統發展演變之了解。

致謝

感謝劉清煌教授提供台電落雷資料，本研究在國科會計畫編號 NSC 92–2111–M–002–006 支援下完成。

六、參考文獻

- Marwitz, J. D., 1972: The structure and motion of severe hailstorms. Part II: Multi-cell storms. *J. Appl. Meteor.*, **11**, 180–188.
- Tsuboki, K., and A. Sakakibara., 2002: Large-scale parallel computing of cloud resolving storm simulator. *The 4th International Workshop on Next Generation Climate Models for Advanced High Performance Computing Facilities*.
- Weisman, M. L., and J. B. Klemp, 1981: A three-dimensional numerical simulation of splitting severe storms on 3 April 1964. *J. Atmos. Sci.*, **38**, 1581–1600.
- _____, and _____, 1982: The dependence of numerically simulated convective storms on vertical wind shear and buoyancy. *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 504–520.

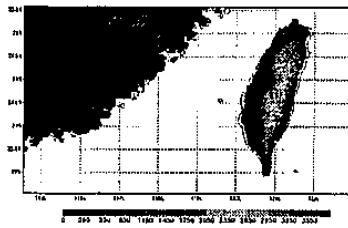


圖 1. 雲解析模式模擬範圍與地形。

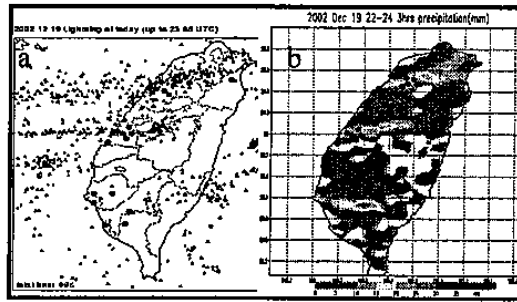


圖 2. 2002 年 12 月 19 日 (a) 全台日累積落雷數分布 (三角形), (b) CWB 自動雨量站 2000-2400 LST 三小時累積雨量 (mm), 圖中圓點標示下電地點。

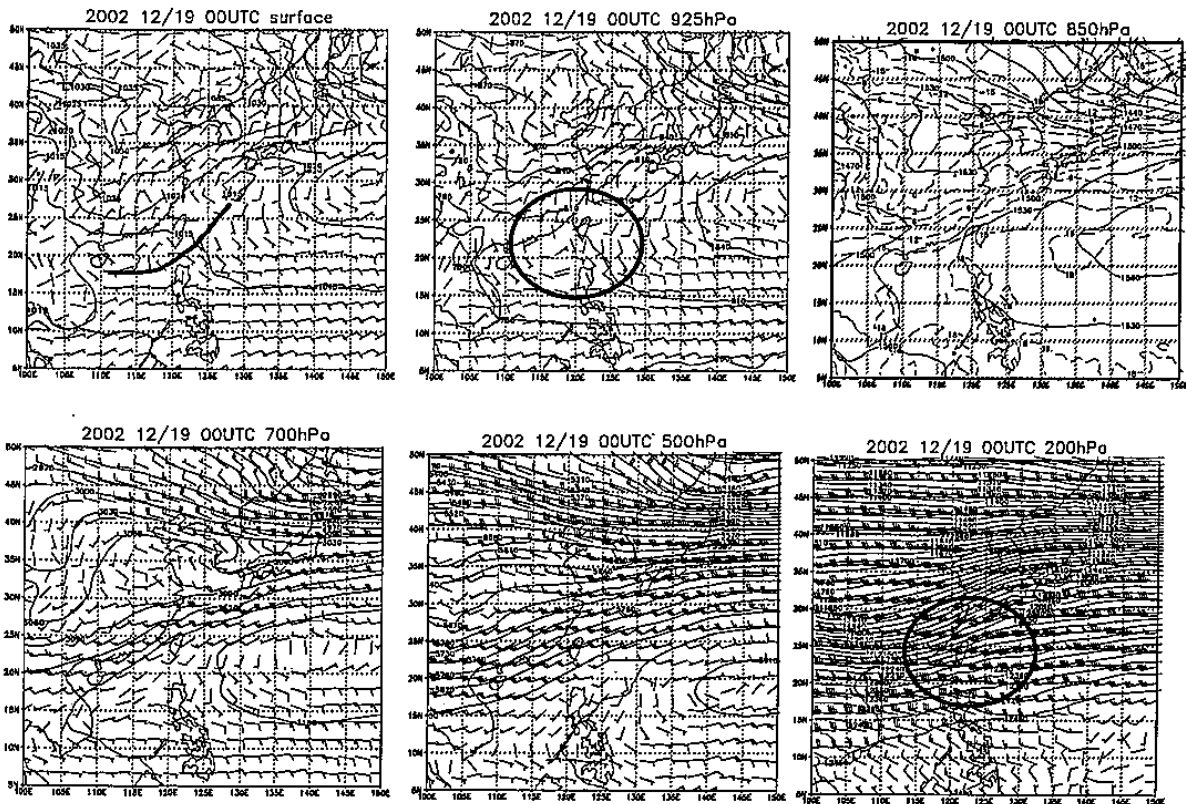


圖 3. 2002 年 12 月 19 日 0000 UTC ECMWF (a) 地面, (b) - (f) 925、850、700、500 及 200 hPa 各層風場 ($m s^{-1}$)、高度場 (gpm)、氣壓場 (hPa) 及溫度場 ($^{\circ}C$)。

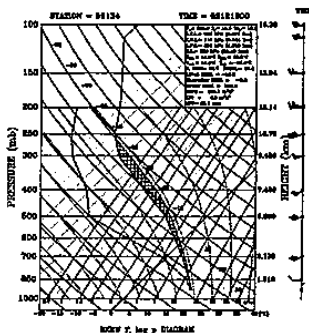


圖 4. 2002 年 12 月 19 日 0000 UTC 廈門探空斜溫圖。

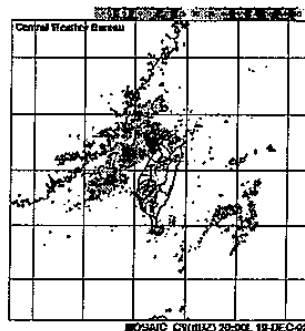


圖 5. 2002 年 12 月 19 日 2000 LST 中央氣象局雷達回波合成圖。

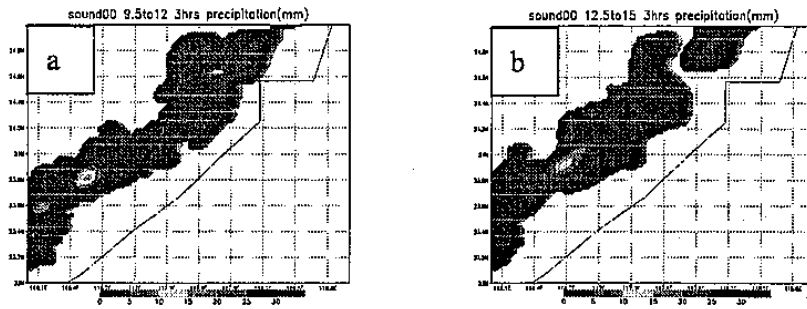


圖 6. 模擬開始後 (a) 9–12 小時，(b) 12–15 小時，三小時累積雨量 (mm)。

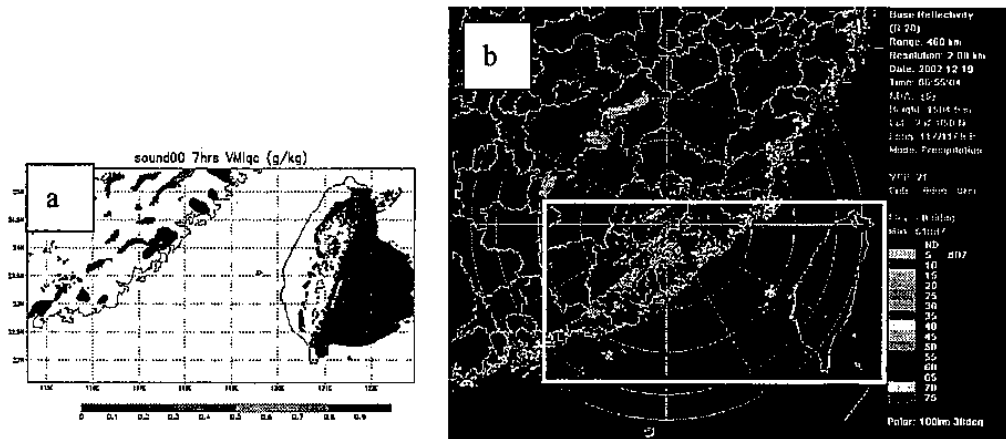


圖 7. (a) 模擬開始後 7 小時 (1500 LST) 垂直氣柱內最大雲水混合比 (g kg^{-1}) 水平分布，(b) 福建龍巖都卜勒雷達 0655 UTC (1455 LST) 回波圖。

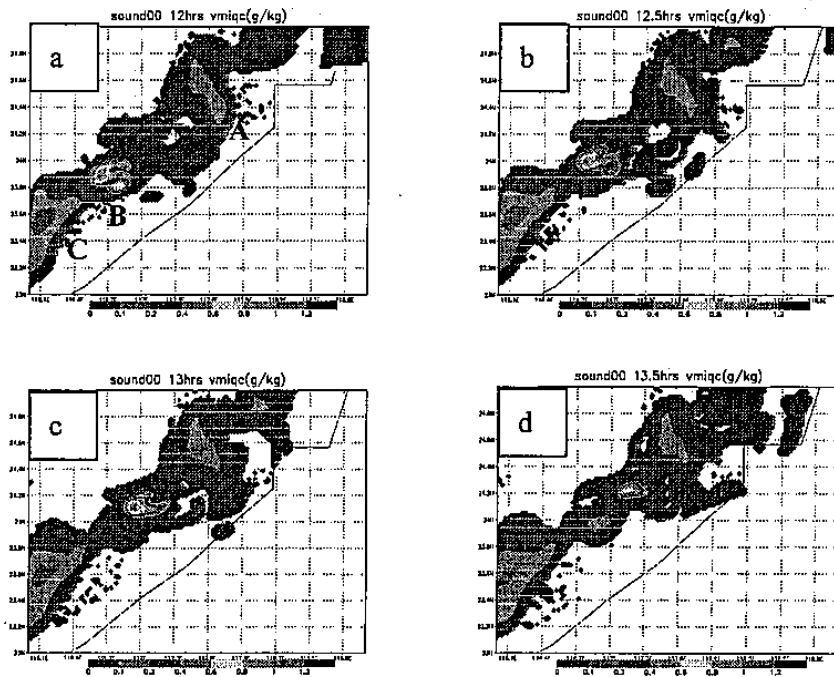


圖 8. 模擬開始後 12–13.5 小時 (a) – (d) 小時之每三十分鐘垂直氣柱內最大雲水混合比 (g kg^{-1}) 水平分布。

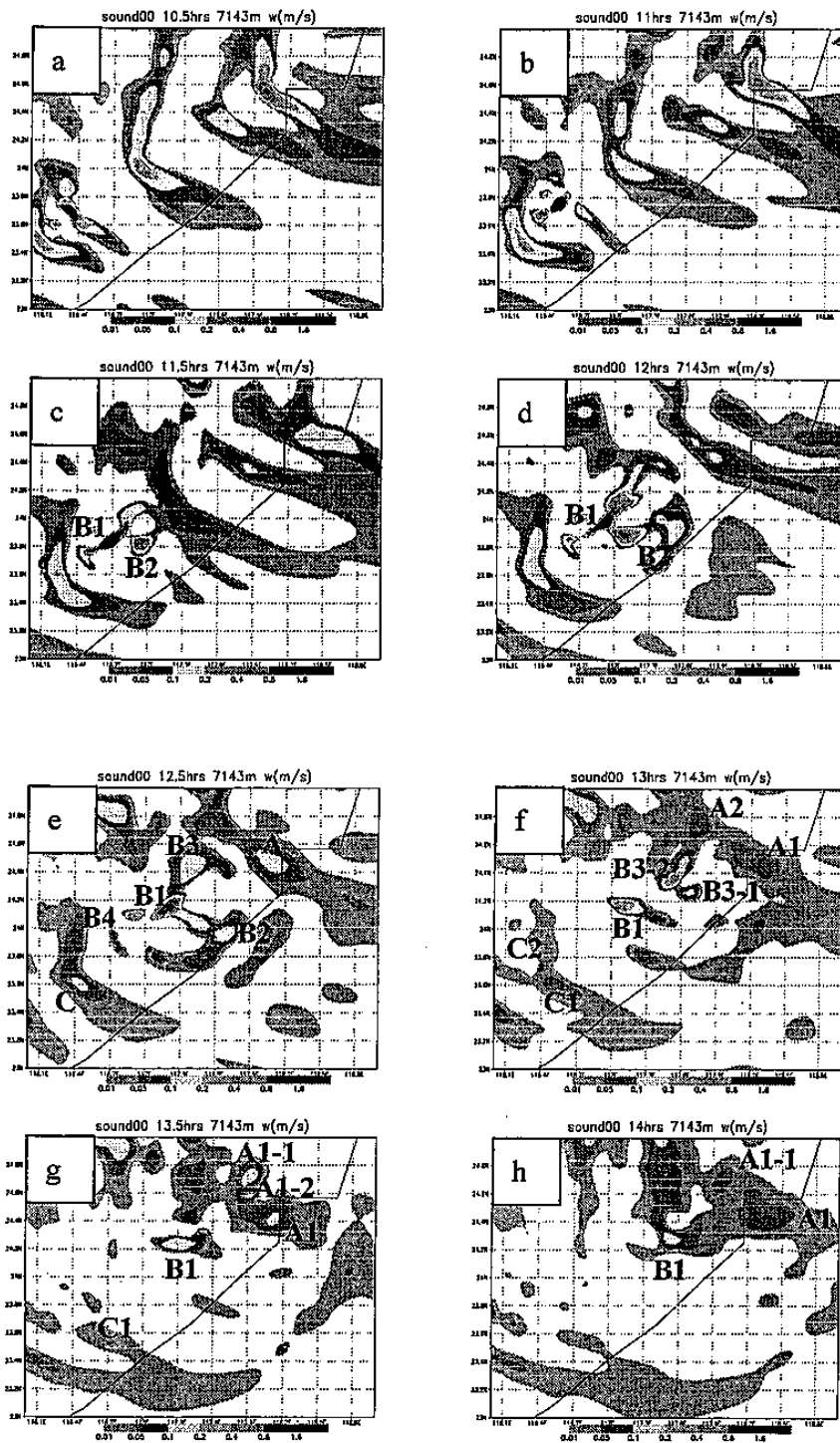


圖 9. 模擬開始後 10.5–14 小時 (a) – (h) 於高度 7143 m 之每三十分鐘垂直速度 ($m s^{-1}$)。