

颱風或熱帶低壓與中部空品區空氣品質之相關探討

林宜穎 林沛練

國立中央大學大氣物理所

摘要

台灣在每年夏、秋兩季常受颱風影響，伴隨颱風與其外圍環流出現的強風與豪雨更常為台灣帶來嚴重之災害。環保署監測資料顯示，颱風中心距台灣約 1000 ~ 2000 公里時，外圍環流因中央山脈影響，可能造成台灣西部地區空氣品質惡劣。本研究一方面分析 1994 ~ 2003 年 6 ~ 11 月中部空品區之臭氧濃度變化與颱風或熱帶低壓活動之相關，另一方面，選取明顯的空氣污染案例，利用 MM5 (Fifth-generation Penn. State/NCAR Mesoscale Model) 模式進行颱風對中部空品區空氣品質影響之分析與模擬。

統計結果顯示，當發生高臭氧污染時($O_3 > 120$ ppb)，颱風或熱帶低壓之位置大致集中在南海及台灣-菲律賓之間，路徑以第 5、6 及第 9 類居多，即颱風西行通過台灣-菲律賓之間、颱風北行，以及南海生成之颱風，而在 1994 ~ 2003 年之所有第 5、6 類及第 9 類路徑中，以第 5、6 類路徑造成高臭氧污染之持續時間較長，第 9 類路徑造成高臭氧污染之比例最高(66%)。

另外，本研究針對 2005 年 9 月 16 ~ 18 日之高汙染事件進行模式模擬，分析綜觀天氣與氣象場之特徵，其模擬結果顯示，台灣地區受到高壓脊與韋森特颱風(為第 9 類颱風路徑)之影響，為穩定、下沉的天氣，綜觀風場為東南風，底層氣流受地形阻擋及尾流效應影響，中部地區之風速明顯減弱，高層氣流越過山脈後下沉，導致混合層高度發展較低。在垂直速度、探空斜溫圖及逆軌跡之模擬結果中可發現，底層至 700 hPa 皆為沈降運動，約在 900 hPa 高度附近有一逆溫層存在，大里及南投測站之逆軌跡線皆由西北方向傳送過來，表示沿岸地區的污染物受海風影響而被傳送至較內陸地區，加上逆溫及沈降運動，將污染物侷限在約 900 hPa 高度之下，進而導致 9 月 17 日中部空品區發生高臭氧污染。

關鍵字：中部空品區

一、前言

根據 1996 ~ 2006 年環保署監測資料顯示，台灣地區空氣品質較差的主要季節為秋、冬兩季，品質最好的季節為夏季(6 ~ 8 月)，懸浮微粒濃度值較高的季節在冬季與春季，而臭氧濃度值較高的季節在秋季(9 ~ 11 月)。另外，在 1994 ~ 2003 年中部空品區之臭氧濃度圖中可以發現(圖 1)，臭氧濃度值有逐漸升高之趨勢，顯示臭氧問題越來越嚴重。

國內的研究中，柳與蘇(1997)指出當盛行風風速不強(< 4 m/s)或盛行風受地形阻擋時，區域環流為主導局部地區的主要風場，進而導致高臭氧事件之發生。張(2004)提出風向為主導中部地區高臭氧污染之最重要因子，在大尺度為東風之情況下較易產生高臭氧污染，當氣流受中央山脈阻擋及尾流效應影響，風速較弱使得污染物不易擴散。除了局部環流容易造成高臭氧污染外，天氣型態亦與污染濃度值有密切關係。Seaman and Michelson (2000)指出 1995 年 7 月 14 ~ 15 日美國東北部地區高臭氧事件的發生與百幕達高壓有關，致使當地之天氣型態為高溫、雲量少、低風速。另外，在香港的研究中也有提出，高臭氧污染時，高溫、乾燥、雲量少及風速微弱之天氣型態是有利於臭氧濃度的生成 (Lee et al., 2002; Ding et al., 2004; Lam et al., 2005)。

在颱風或熱帶低壓與空氣品質之相關研究中，許多學者 (Wang et al., 2001; Lee et al., 2002; Wang and Kwok, 2003) 表示夏季香港地區高臭氧事件之

發生，常與西太平洋上的颱風有很大的關係。Ding et al. (2004) 分析 2001 年珠江地區受納莉颱風影響，指出颱風的逆時針旋轉在珠江地區帶來北或西北風之綜觀風場，將內陸地區的污染物傳送至沿岸地區，加上颱風外圍沈降氣流影響，導致珠江地區高臭氧事件之發生。Lam et al. (2005) 研究香港地區 1999 年 8 月受 SAM 颱風影響，引發為期兩天之臭氧事件，其結果顯示在大氣為穩定條件下受到海風環流發展，被侷限在某一範圍內，此將有助於高臭氧濃度之形成。而在國內的研究中，陳(2005)發現高污染事件與颱風似乎有一定之相關性，而颱風的外圍沈降氣流可能影響台灣地區的空氣品質，使天氣型態為下沉穩定且不利於污染物之擴散。

另外，在中部空品區之研究中，程(2001)統計 1996 ~ 1999 年臭氧事件日在 14 種天氣型態之發生率，指出高壓迴流及熱帶低壓之天氣型態較易發生高臭氧污染，而在 1996 ~ 1997 年秋季主要受熱帶低壓影響。白(1998)統計 1996 年中部空品區部分測站在 14 種天氣型態下出現臭氧大於 80 ppb 之百分比，顯示熱帶低壓外圍環流型佔非常大之比例，其中南投測站高達 94.9%。

綜合以上所述，中部空品區之臭氧濃度值有逐年增加之趨勢，夏、秋兩季皆受到熱帶低壓之影響，而秋季受熱帶低壓影響較鉅。當颱風或熱帶低壓在台灣附近時，其外圍沈降氣流可能影響台灣地區的

空氣品質，而中部空品區發生高臭氧污染時的天氣型態又以熱帶低壓系統為主，但對於長時間統計颱風或熱帶低壓和空氣品質之相關研究，目前仍非常缺乏。故本研究藉由分析 1994 ~ 2003 年夏、秋兩季 (6 ~ 11 月) 中部空品區之臭氧濃度變化與颱風或熱帶低壓活動之相關，瞭解颱風或熱帶低壓之位置、路徑、風場等與中部空品區空氣品質之相關性。

二、資料來源及分析方法

使用 1994 ~ 2003 年環保署中部空品區(台中縣市、彰化縣及南投縣)之風場及臭氧小時平均值。日本氣象廳(Japan Meteorological Agency, JMA)之地面天氣圖、ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts) 全球網格資料、中央氣象局颱風資料庫、聯合颱風警報中心 (Joint Typhoon Warning Center, JTWC) 西北太平洋之颱風最佳路徑資料及日本氣象廳之颱風中心氣壓值。

當環保署中部空品區的 10 個測站中，該日任一測站之臭氧濃度大於 120 ppb 時，則定義此日為「高臭氧污染日」(HOD)。首先，挑選 1994 ~ 2003 年中部空品區高臭氧污染日，接著搭配高臭氧污染日之地面天氣圖，排除未含有颱風或熱帶低壓者。另外，選取高臭氧污染日之中，颱風或熱帶低壓中心距離台灣中部空品區 2000 公里內的個案，統計個數及其發生率，並利用 NOAA ARL HYSPLIT MODEL (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) 逆軌跡推估高臭氧污染日中可能受颱風或熱帶低壓影響的個案，統計個數及其發生率。在使用 HYSPLIT 模式計算逆軌跡時，以高臭氧污染日為基準日，高度以 100、500 及 1000 或 3000 公尺，往後計算 120 小時之軌跡線。若其中一高度之逆軌跡線由颱風或熱帶低壓傳送而來，則歸納為可能受颱風或熱帶低壓影響之個案。

三、空氣品質與颱風或熱帶低壓之統計分析

統計結果可知，1994 ~ 2003 年中部空品區發生高臭氧污染($O_3 > 120$ ppb)共計 194 日(HOD為 194 日)，其中發生高臭氧污染時距離台灣 2000 公里內有颱風或熱帶低壓者有 120 日，佔HOD(194 日)的 61.9 %。此外，在高臭氧污染日中，可能受颱風或熱帶低壓影響之天數有 68 日，佔HOD(194 日)的 35.1 %。由此可知，當中部空品區發生高臭氧污染時，颱風或熱帶低壓在台灣附近(距離台灣 2000 公里內)的機率高達 61.9 %，其中可能受到颱風或熱帶低壓影響的機率是 35.1 %。但對於颱風或熱帶低壓之中心位置、路徑等與空氣品質之相關性，仍是個未知數。之後針對颱風或熱帶低壓之中心位置和路徑與空氣品質相關之探討。

中部空品區之高臭氧污染與颱風或熱帶低壓

中心位置之探討中，當中部空品區發生高臭氧污染時($O_3 > 120$ ppb)，颱風或熱帶低壓之中心位置大多集中在南海及台灣-菲律賓之間(圖 2)，若臭氧濃度 > 140 ppb 時，位置則大多集中在台灣-菲律賓之間(圖 3)。因此，將台灣與菲律賓之間劃分為四個區域，結果顯示，1994 ~ 2003 年進入區域 III 的颱風造成高臭氧污染之比例高達 42.9 %，而區域 IV 之比例為 33.3 % (表 1)。另外，在颱風或熱帶低壓之路徑與中部空品區高臭氧污染之探討中，本研究參考中央氣象局之颱風路徑分類，將路徑分為 7 類(圖 4)：西行颱風計五類，分為登陸第 2、3、4 類與未登陸第 1、5 類；北行颱風第 6 類以及南海生成第 9 類，其結果顯示，臭氧濃度大於 120 ppb 時，以第 5、6 及 9 類路徑造成高臭氧污染的時數居多。而在 1994 ~ 2003 年 6 ~ 11 月第 5、6、9 類路徑之颱風造成中部空品區臭氧濃度大於 120 ppb 之持續時間以第 5、6 類路徑較長(圖 5)，而第 9 類路徑造成高臭氧污染之比例最高(66 %)，即南海生成颱風。

四、個案簡介及模式設定

2005 年 9 月 14 ~ 21 日在霧峰及南投有進行密集觀測實驗，由地面天氣圖可知，台灣正處於日本東方海域上的高壓及南海熱帶低壓之間。由前面的統計結果顯示，第 9 類颱風路徑(即南海生成之颱風)造成中部空品區高臭氧污染之發生率最高(66 %)，而 2005 年 9 月的韋森特(Vicente)颱風亦是典型的第 9 類颱風路徑，所以期望能藉由模式對於此個案之模擬，來瞭解中部空品區發生高臭氧污染之成因。2005 年 9 月 16 日開始中部空品區部分測站之臭氧濃度值已超過標準值(120 ppb)，其中以大里及豐原測站最為嚴重，其次為南投測站。9 月 17 日三個測站之臭氧濃度值皆超過 120 ppb(圖 6)，其中豐原測站之臭氧濃度值竟高達 137.3 ppb。在霧峰地面站之觀測結果顯示，9 月 17 日之氣溫為整個觀測期間之最高(35.1 度)，相對濕度亦較低，而風速較小導致風向較為零亂。另外在霧峰站之探空資料反推虛位溫圖中(圖 7)，我們知道大氣混合層厚度是反映污染物在垂直擴散的重要參數，而虛位溫隨高度增加而遞增表示大氣穩定度較高，所以我們利用虛位溫來判斷混合層高度。由圖中可發現 9 月 17 日的混合層高度最低，且大氣穩定度最高。由觀測資料顯示，9 月 17 日有較高的臭氧濃度值，天氣型態為高溫、乾燥、風速低，大氣穩定度較高。

接著，利用模式之模擬結果來解釋 9 月 17 日中部空品區高臭氧污染之成因。本研究所使用的數值模式為美國賓州州立大學(Pennsylvania State University)與國家大氣科學研究中心(National Center for Atmospheric Research)共同發展的中尺度數值模式，簡稱為 MM5。模式的初始資料來自於美國國家環境預報中心 NCEP/AVN 高解析 1 度 \times 1 度資料，並採用三層巢狀網格(圖 8)，其解析度分別為

81、27 及 9 公里。模擬時間從 2005 年 9 月 16 日 00Z 開始至 20 日 00 Z，共計 96 小時。模式的垂直座標採用隨地形變化的 σ 座標，地面至最高層($P_1 = 50$ hPa)設定為 35 層，850 hPa 以下有 13 層。物理參數設定中，三層巢狀網格之邊界層參數化皆採用 Blackadar scheme，而此參數化對於夏季風場之日夜變化有良好的模擬結果。第一、第二層之積雲參數化採用 Kain-Fritsch scheme，而第三層網格解析度為 9 km，其有能力解析積雲中的上下對流，故不採用積雲參數化。微物理參數化及輻射參數化三個網格皆採用 Reisner graupel scheme (Reisner 2) 及 rapid radiative transfer model (RRTM) longwave scheme。此外為了使模擬結果能反應真實大氣的空間分佈及其演變之特性，本研究利用 MM5 模式進行四維資料同化之模擬，於第一、第二層的網格進行四維同化。

五、模擬結果

首先，第一層巢狀網格之模式校驗中，颱風路徑的模擬結果(圖 9)以初始場 0 小時與 60 小時之誤差較大，其餘時間的誤差皆在 70 公里內，其平均誤差為 50.7 公里，在颱風強度之平均誤差為 5.17 hPa。另外，在細網格之模式校驗中(圖 10)，以霧峰測站為例，模擬結果與觀測結果相當符合，皆能模擬出每日的變化。由以上的模式校驗中顯示，模式在綜觀尺度及測站之模擬皆有相當不錯的結果，因此，藉由模擬結果來探討 17 日發生高臭氧污染之成因。

在瞭解綜觀尺度的模擬結果之前，我們想瞭解韋森特颱風何時開始影響台灣，因此，繪製了東部三測站之高層風速時序圖(圖 11)，在 16 日 12Z 至 17 日 06Z 高層風速為整個模擬期間之最大值，由此可知，颱風外圍氣流在 16 日 12Z 開始逐漸影響台灣。接著，在綜觀尺度之分析結果中可發現(圖 12)，受到高壓脊與颱風外圍沉降水氣流影響，台灣上空為沈降水氣流，綜觀風場為東南風，搭配 850 hPa 的相對濕度圖來看(圖 13)，中部空品區之相對濕度約 35%，天氣型態為穩定、乾燥之天氣型態。在地面氣流及地面風速圖中可發現(圖 14 及圖 15)，底層氣流受中央山脈阻擋並繞流至山脈西側後形成一尾流區，導致 17 日 06Z 時中部地區風速微弱(約 ~ 2 m/s)。而在 16 日 12Z 開始(輕度颱風形成)受到颱風影響，850 hPa 之風速明顯增強，高層氣流越過山脈後下沉至山脈西側(圖 16)，導致 17 日 06Z 之混合層高度有明顯降低之趨勢。另外，豐原及霧峰測站在 17 日 06Z 時，底層至高層皆為沈降水運動(圖 17)，搭配探空斜溫圖，霧峰測站在低層約 900 hPa 處有一逆溫層存在(圖 18)，而此逆溫層將污染物侷限在約 900 hPa 高度下，大氣穩定度較高且不利污染物之垂直傳送。最後，在大里及南投測站之逆軌跡線中可發現兩者之逆軌跡皆由西北方向傳送而來(圖 19)，當海風盛行時，沿岸地區的污染物(台中火力發電廠)被傳送至較內陸地區，加上逆溫及沉降運動，將污染物侷限在約 900 hPa 之下而導致高臭氧污染的發

生。

六、結論與未來展望

本研究以環保署中部空品區 1994 ~ 2003 年之監測資料(臭氧濃度及風場)，探討颱風或熱帶低壓位置、路徑與空氣品質之相關性，並利用 MM5 模式模擬 2005 年 9 月 16 ~ 18 日受到韋森特颱風影響之個案，瞭解高臭氧污染發生之原因。

統計結果顯示，1994 ~ 2003 年中部空品區發生高臭氧污染($O_3 > 120$ ppb)之天數共計 194 日，其中距離台灣 2000 公里內有颱風或熱帶低壓者佔 61.9%，顯示中部空品區發生高臭氧污染時，颱風或熱帶低壓伴隨在台灣附近的比例相當高。另外，在中部空品區空氣品質與颱風或熱帶低壓之相關探討中，可依以下幾點討論：

a. 颱風或熱帶低壓之中心位置

中部空品區之臭氧濃度大於 120 ppb 時，中心位置大致分布在南海，台灣-菲律賓之間；若臭氧濃度大於 140 ppb 時，則集中在台灣-菲律賓之間。因此，統計 1994 ~ 2003 年所有颱風或熱帶低壓(排除距離台灣 2000 公里遠)，將台灣與菲律賓之間分成四個區域，其中經過區域 III 的颱風或熱帶低壓造成高臭氧污染之比例最高(42.9%)，區域 IV 之比例次之(33.3%)。

b. 颱風或熱帶低壓之路徑

當中部空品區發生高臭氧污染時($O_3 > 120$ ppb)，以第 5、6 及第 9 類路徑居多。第 6 類最多，即颱風位於台灣東方海域上向北行進之路徑。第 5 類路徑次之，即颱風西行通過台灣與菲律賓之海域間。另外，在 1994 ~ 2003 年所有第 5、6 及 9 類路徑之颱風造成高臭氧污染之比例中，以第 9 類路徑的比例最高(66%)，即南海生成颱風，而第 5 及 6 類路徑造成中部空品區臭氧濃度大於 120 ppb 之持續時間較長。

最後，利用 MM5 模式模擬 2005 年 9 月 17 日受到高壓與韋森特颱風影響之個案，探討中部空品區高臭氧污染之成因，其結果如圖 20 所示。

參考文獻

- 白珏玲，1998：中部地區臭氧濃度特徵與天氣型態相關探討。東海大學環境科學系碩士論文，118 頁。
- 柳中明，蘇維中，1997：區域氣象環境與高臭氧之相關分析。大氣科學，25(1)，27-49。
- 張時禹，2004：台灣地區光化學污染之形成、傳輸機制及其影響。行政院環保署，EPA-93-FA11-03-A070，156-202。
- 陳正平，2005：空氣品質預報與中解析度影像接收系統維護及資料分析專案工作計畫。行政院環保署，EPA-94-L105-02-101，366 頁。

程萬里，2001：中部空品區空氣污染事件之天氣型態暨氣象資料庫整合建立，行政院環保署，EPA-89-FA11-03-231，65 頁。

Ding, A., T. Wang, M. Zhao, T. Wang, and Z. Li, 2004: Simulation of sea-land breezes and a discussion of their implications on the transport of air pollution during a multi-day ozone episode in the Pearl River Delta of China. *Atmos. Environ.*, **38**, 6737-6750.

Lam, K. S., T. J. Wang, C. L. Wu, and Y. S. Li, 2005: Study on an ozone episode in hot season in Hong Kong and transboundary air pollution over Pearl River Delta region of China. *Atmos. Environ.*, **39**, 1967-1977.

Lee, Y. C., G. Calori, P. Hills, and G. R. Carmichael, 2002: Ozone episodes in urban Hong Kong 1994-1999. *Atmos. Environ.*, **36**, 1957-1968.

Seaman, N. L., and S. A., Michelson, 2000: Mesoscale Meteorological Structure of a High-Ozone Episode during the 1995 NARSTO-Northeast Study. *J. Appl. Meteor.*, **39**, 384-398.

Wang, T., Y. Y. Wu, T. F. Cheung, and K. S. Lam, 2001: A study of surface ozone and the relation to complex wind flow in Hong Kong. *Atmos. Environ.*, **35**, 3203-3215.

Wang, T., and J. Y. H., Kwok, 2003: Measurement and analysis of a multi-day photochemical smog episode in the Pearl River Delta of China. *J. Appl. Meteor.*, **42**, 404-416.

表 1. 1994~2003 年經過台灣-菲律賓之間的颱風造成中部空品區高臭氧污染之比例。

II	I
19.0 %	17.4 %
III	IV
42.9 %	33.3 %

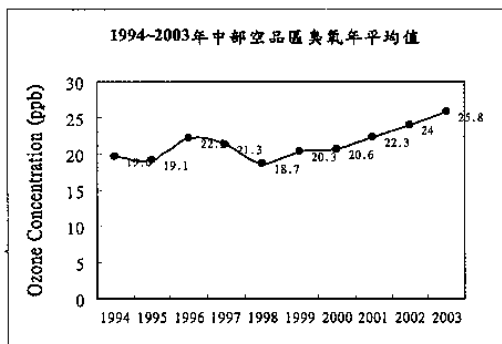


圖 1. 1994~2003 年中部空品區之逐年臭氧濃度趨勢。

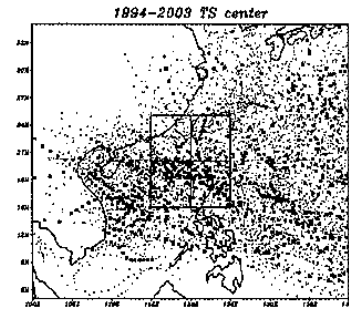


圖 2. 1994 ~ 2003 年所有颱風或熱帶低壓中心之位置(細點)及高臭氧污染日颱風或熱帶低壓中心之位置(粗點)。

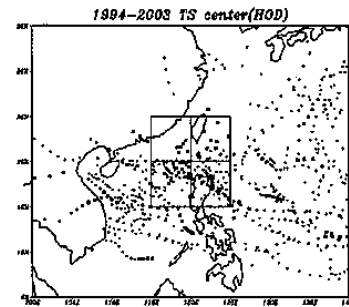


圖 3. 1994~2003 年高臭氧污染日，颱風或熱帶低壓中心位置。細點為 $O_3 > 120$ ppb(HOD)時颱風或熱帶低壓中心之位置，粗點為 $O_3 > 140$ ppb時颱風或熱帶低壓中心之位置。

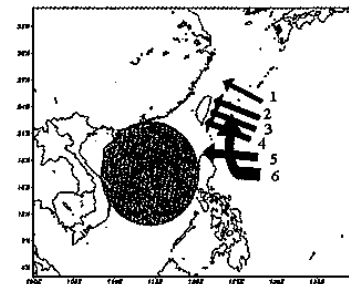


圖 4. 颱風路徑分類。

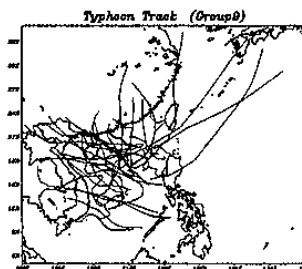
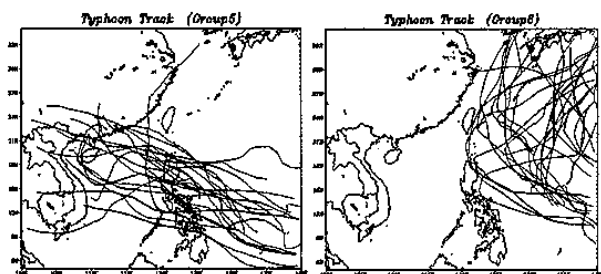


圖 5. 1994~2003 年 6~11 月造成中部空品區高臭氧污染之第 5、6 及 9 類之颱風路徑(細線)，粗線為中部空品區發生高臭氧污染。

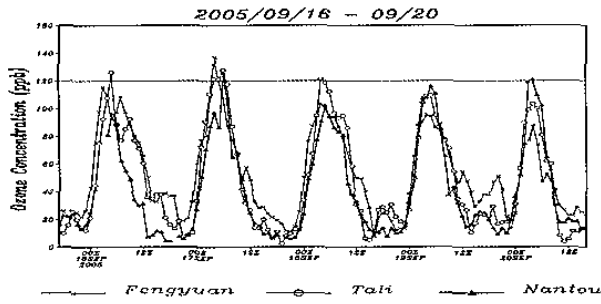


圖 6. 2005 年 9 月 16~20 日中部空品區之臭氧濃度時序圖 (豐原、大里及南投測站)。

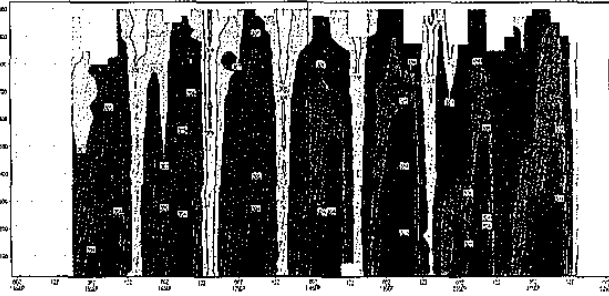


圖 7. 2005 年 9 月 14~21 日霧峰地面站之虛位溫圖。

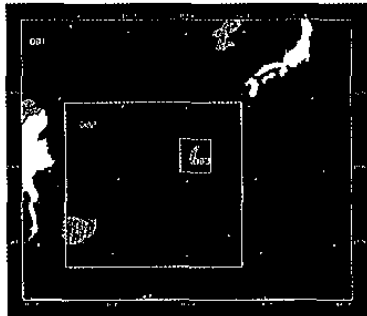


圖 8. MM5 模式網格範圍，使用三層巢狀網格，網格數分別為 52×61、91×97 及 55×52。

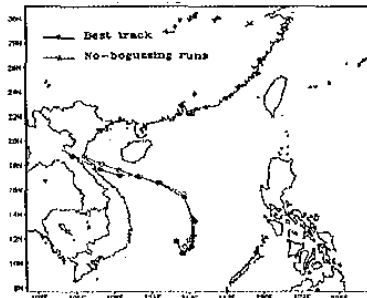


圖 9. 2005 年 9 月韋森特(Vicente)颱風之最佳路徑與模擬路徑圖。

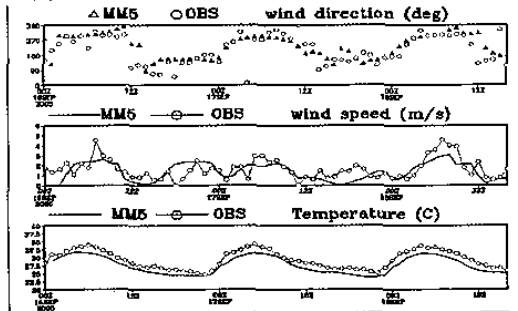


圖 10. 霧峰地面氣象站之觀測值與 MM5 模式最底層之風向、風速、溫度比對。

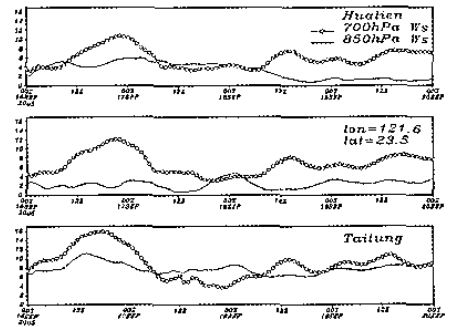


圖 11. MM5 模式模擬東部三測站之 850hPa、700hPa 風速時序圖。

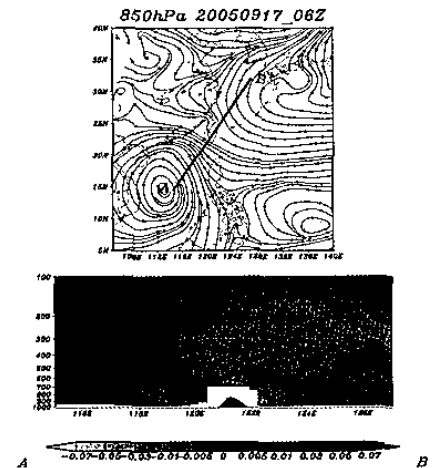


圖 12. MM5 模式模擬 9 月 17 日 06Z 之 850 hPa 氣流場與 AB 垂直速度剖面圖，垂直速度單位為 m/s。

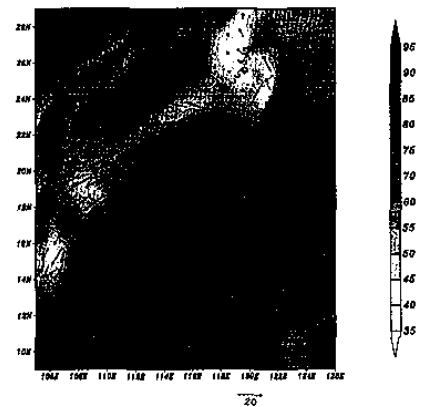


圖 13. 2005 年 9 月 17 日 06Z 之 850 hPa 相對濕度場(%)。

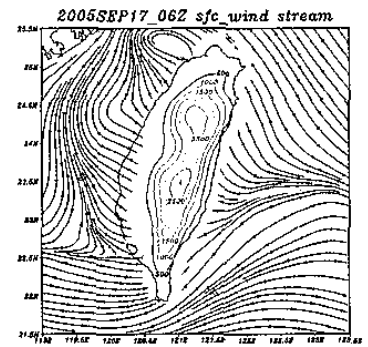


圖 14. 2005 年 9 月 17 日 06Z 之氣流場。

