

海上大氣導管個案數值模擬研究

--WRF 邊界層參數法之可預報度分析

林彥岑¹ 汪建良² 朱昌敏³

海軍大氣海洋局¹

國防大學²

南榮技術學院³

摘 要

本研究主要以 2004 年 7 月 29 日至 8 月 5 日台灣東南部海上觀測實驗之「船舶及海上探空觀測」資料，運用美國海軍之大氣折射效應預報系統(Advanced Refractive Effects Prediction System, AREPS)進行導管分析。此外，採用 WRF 模式(Weather Research and Forecast model)進行數值模擬，與實驗結果進行比對。

實驗期間台灣地區受太平洋高壓籠罩之天氣型態影響，伴隨微弱之下沉氣流抑制垂直混合而導致低層折射率增加。本研究結果，WRF 模式對近地層的大氣結構具模擬能力，經可預報度測試結果，模式模擬表現維持相當之穩定度。對高空導管模擬所著重的邊界層中層表現，以 YSU 為最佳選項。另外，在蒸發導管模擬所著重的邊界層低層表現，以 MRF 為最佳選項。邊界層參數法整體表現以 MRF 參數法為佳。

關鍵字：大氣導管、高空導管、蒸發導管、WRF 模式

一、前言

光(電磁波)在行進中通過疏密不同的介質時，有一部分的光被反射回到原來的介質中，而其餘部分的光則透射進入另一介質中。透射光的行進方向與原先入射的方向不同，這是

因為光波在行經不同介質時，速度不同而產生波長改變所致。電磁波在大氣中沿水平方向傳播且當氣象要素有明顯的垂直梯度存在時，電磁波會容易出現明顯曲線傳播。這種電磁波在大氣中曲線傳播的現象稱作大氣折射。地面氣象雷達以低仰角觀測且入

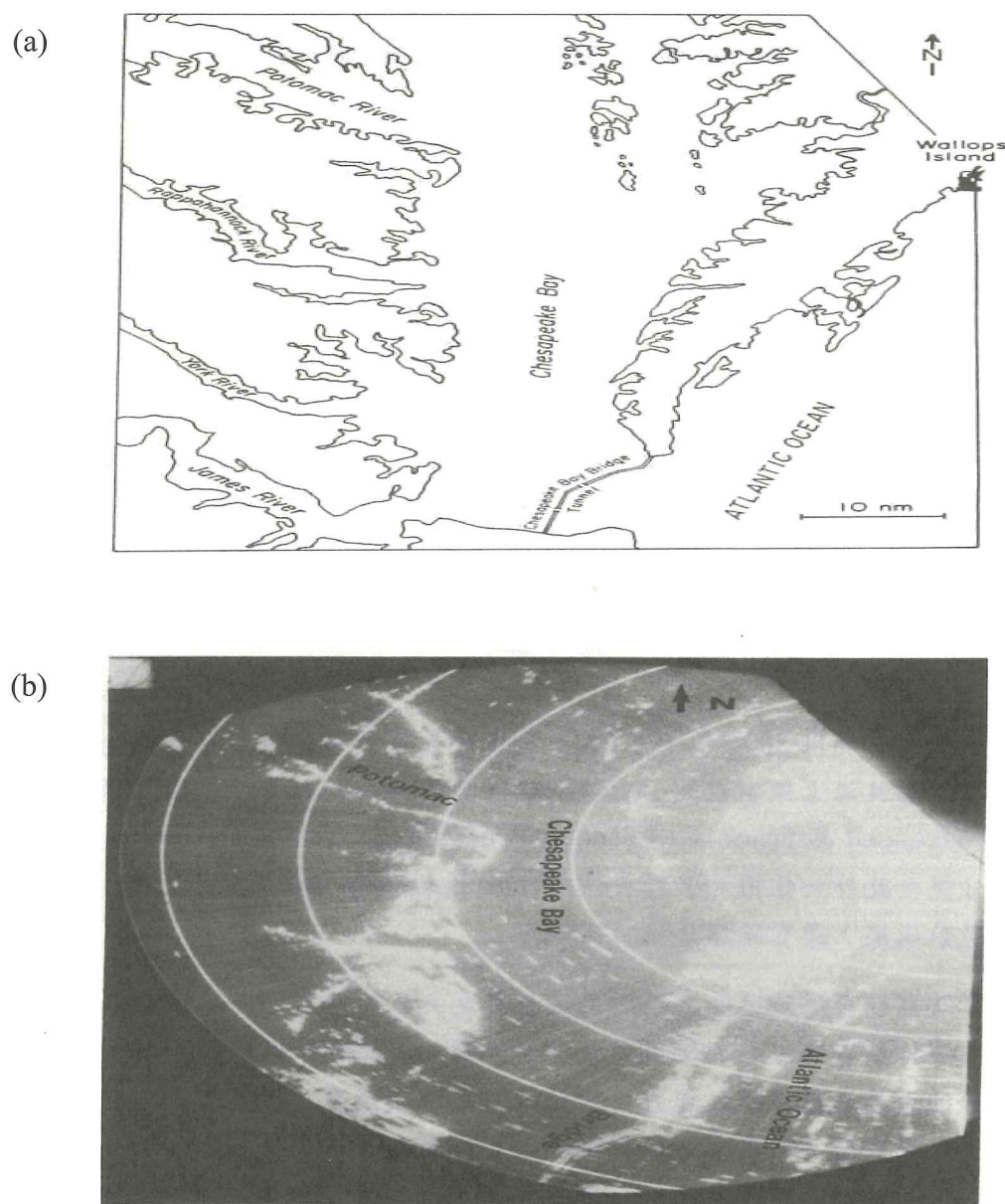


圖1 Wallops Island之平面位置顯示雷達及雷達站地理位置對照圖
 圖1a 為位於Wallops Island, 10 cm波長之平面位置顯示雷達(PPI), 波束寬0.4°, 仰角0.5°之雷達顯示幕所顯示之異常回波, 異常顯示出陸地外貌。
 圖1b 為Wallops Island 雷達站地理位置圖, 可與圖1a之異常回波相比對。

射角較大, 較易受到折射效應影響, 而形成異常回波。電磁波在低對流層的非標準折射(非標準傳播)將會影響雷達或無線電訊號傳播, 導致

其路徑曲率大於地球表面曲率。由於大氣折射對電磁波產生偏折而向地面彎曲, 碰到地面時會再反射回到

大氣中而重複多次相同動作, 這種電磁波被限制在某個區間中行進的現象, 稱之為大氣導管。

周與李(2001)[1]對五分山雷達非天氣回波型態進行分類, 提出下列五種類別:(1)地形雜波、(2)海面回波、(3)非正常傳播、(4)干擾回波及(5)

不明回波等五種類型, 其中非正常傳播指的是大氣折射效應。由於雷達降雨量估計技術的發展迅速, 若不了解大氣折射效應的影響, 將導致預報的錯誤(Moszkowicz et al. 1994)[2]。Borsum(1995)[3]指出由於雷達波束異常傳播, 而導致都卜勒3.5°仰角以下觀測之2,400公尺高山回波的訊號, 被誤認為是一塊發展高度達11,000m, 且移速高達18 m s⁻¹的雷雨雲。另外, 一個令人印象深刻的例子就是在美國維吉尼亞州Wallops Island 10 cm雷達的異常回波。當時的雷達波束寬為0.4°、仰角0.5°, 卻出現觀測高度異常的回波。由圖1顯示雷達對100 km外的位置所觀測之垂直高度原應為1000 m, 但當時卻清楚的觀測到垂直高度位於海平面上的乞沙比克灣橋及維吉尼亞和馬里蘭兩州之間的海灣。這個現象是因為近地層強烈的逆溫造成雷達波束偏折至海面所造成的異常現象。(Doviak, 1992)[4]造成電磁波和光在大氣的折射差異是與傳播電磁波的介質及波長有關導致在不同介質中傳播速度改變而產生折射。大氣折射率(Atmospheric Refractivity, N)(Bean and Dutton, 1966)[5]:

$$N = (n-1)10^6 = \frac{77.6}{T} \left(P + \frac{4810e}{T} \right) \quad (1)$$

這個參數的垂直梯度變化在雷達波傳播過程中扮演著相當重要的角色。表示大氣折射指數在垂直分佈上有異常的擾動情形, 即折射指數垂直梯度異常改變的情況。射線彎曲的曲率和地球表面曲率的比較結果, 可以歸納出四種類型: 正常、次折射、超折射和陷捕, 如圖2。

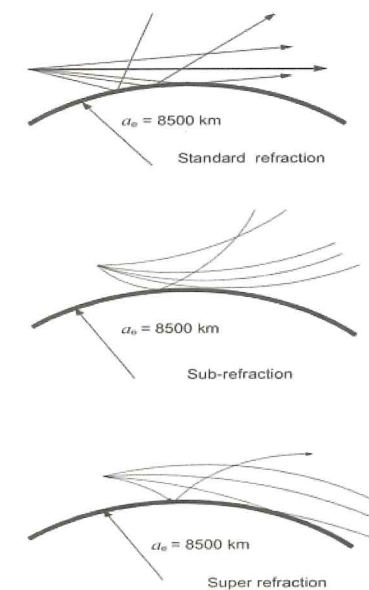


圖2 標準折射、次折射及超折射示意圖

造成陷捕的折射率梯度值必須小於-157 (NKm⁻¹), 它的特性就是使射線的曲率大於地表曲率。此種現象會導致電波傳播距離遠超過正常傳播情形, 且宛如在導波管傳播, 使電波有增強的趨勢, 這也就是大氣導管的重要性質。關於大氣導管, 因生成的位置不同可區分成三類; 在海面上的稱作蒸發導管, 它與海面上的相對濕度變化有關。在陸地上, 一般可分為地面導管及空中導管, 此二者的發生與大氣逆溫層的產生有關聯。

傳統大氣折射指數計算均是利用探空儀量測所得的壓力、溫度及溼度等氣象因子推估大氣折射指數隨高度變化與分布狀況。科學家們也嘗試利用其他觀測儀器觀測對流層內大氣折射狀況。例如, Babin(1995)[6]利用直昇機觀測探討綜觀天氣個案與大氣折射狀況的關係; Brooks et al.(1999)[7]利用C-130氣象研究飛機於波斯灣(Persian Gulf)進行地面導管觀測;

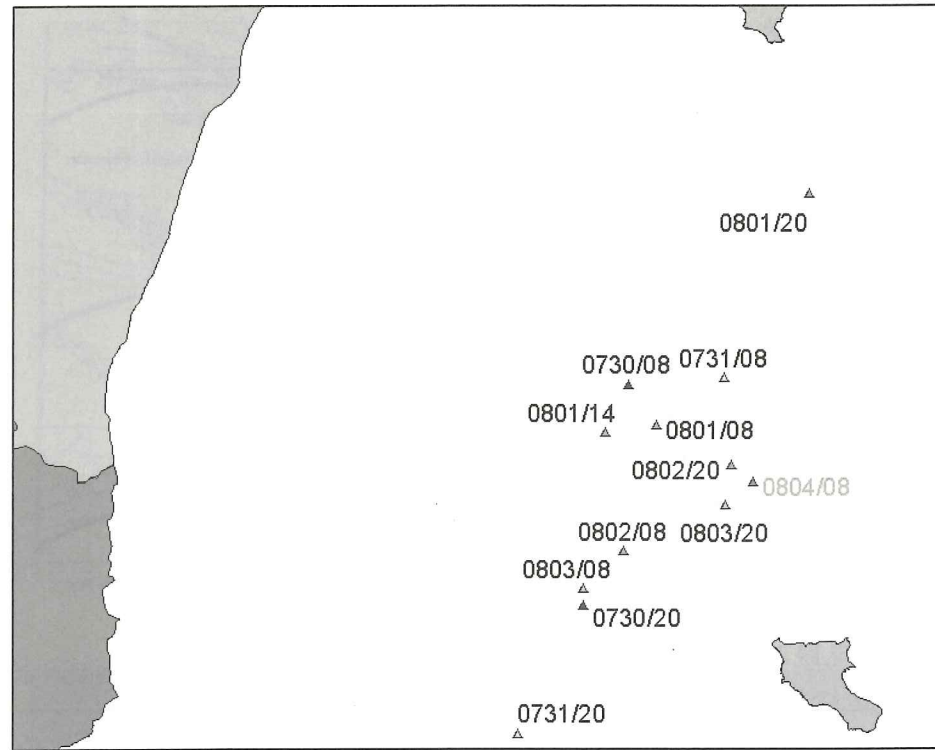


圖3 台灣局部地區蒸發導管效應實驗之船測位置示意圖

Falodun and Ajewole (2006)[8] 在奈及利亞西南部建立 100 m 之觀測塔，長期觀測低邊界層之折射指數氣候變化狀況。

但前述氣象資料獲得方法耗費昂貴、區域小且時間短暫，無法掌握大氣環境在時間及空間上之變化。近年來許多國外研究更運用數值模擬來模擬真實大氣的環境大氣情況，以嘗試了解大氣導管演變。例如，Atkinson et al. (2001)[9] 利用 MM5 數值模式，針對 1996 年 4 月波灣地區強弱風個案進行資料同化及

理想性模擬。Zhu et al. (2005)[10] 以 MM5 V3 針對波斯灣進行海陸分佈及日夜變化模擬。以上學者以中尺度數值模式對波斯灣的大氣導管模擬其強度均偏弱，故本研究以 WRF 對台灣附近海面進行模擬並與海上觀測實驗進行驗

證。

二、海上觀測實驗

2004 年 7 月 29 日至 8 月 4 日由國防大學(呂, 2004)[11] 中正理工學院主持執行國推會專案「台灣局部地區蒸發導管效應實驗」於台灣東南部海面完成蒸發導管海上觀測實驗(圖 3)。

實驗期間為 2004 年 7 月 29 日至 8 月 4 日，圖中數字代表日期及地方時，如 0731/20 為 7 月 31 日 20 地方時，右下角島嶼為綠島。海上觀測獲得高密度之低層觀測資料，篩選出高度鄰近模式解析垂直座標所代表的各層，利於數值模擬之驗證估算。觀測資料與模式垂直座標對照表如表 1。

表 1 第一行「Level」為模式垂直座標所代表之各層，第二行「height」為

模式垂直座標各層所對應之垂直高度，第三行「sigma」為追隨地形靜力氣壓之垂直座標 σ 值，以下各行為海上觀測資料依模式垂直高度所對應之各項觀測資料。

三、影響大氣導管天氣因子之權重分析

(一) 天氣概述

2004 年 7 月 29 日 12 UTC 位於小笠原群島北方海面之南修颱風距台灣地區約 2000 km，對實驗所在之台灣東

南部海域並無影響。台灣地區仍受到 1012 hPa 分裂高壓影響為弱綜觀天氣型態。

2004 年 8 月 2 日 00 UTC 於(22°N, 148°E)附近海面形成之熱帶低氣壓朝北繼轉西北移動，距台灣遙遠而無影響。台灣地區仍為弱綜觀天氣型態。

2004 年 7 月 28 日至 7 月 31 日台灣地區均受太平洋副熱帶高壓環流的影響。低層脊線勢力僅在 140°E 至 142°E 附近徘徊，由 2004 年 7 月 31 日 12 UTC

表 1 觀測資料與模式垂直座標對照表 (2004 年 8 月 2 日 00 UTC)

level	Height (m)	sigma	Time (m:s)	P (hPa)	T (°C)	U (%)	Ws (knots)	Wd (Deg)	Alti (m)	Geopoten (m')
2	3.926	0.999	00:04	1002.0	29.0	89	4.7	208	5	9
3	11.797	0.998	00:05	1000.9	28.7	87	5.3	206	12	19
4	23.763	0.996	00:07	998.6	27.9	82	6.6	203	25	40
5	43.938	0.993	00:07	996.9	27.5	79	7.6	202	42	55
6	80.552	0.987	00:19	993.5	27.3	72	9.6	200	77	86
7	113.193	0.985	00:26	990.0	27.0	66	11.7	199	111	116
8	141.888	0.980	00:32	987.2	26.7	67	13.3	198	140	142
9	220.244	0.966	00:47	979.3	26.0	70	13.4	198	218	213
10	344.869	0.950	01:13	966.5	24.9	75	12.4	196	343	329
11	479.176	0.934	01:40	953.0	24.0	73	11.6	189	477	453
12	623.553	0.916	02:06	937.7	23.4	65	11.3	187	623	595
13	769.600	0.900	02:33	923.3	22.8	64	10.8	187	772	730
14	908.827	0.884	02:58	909.7	22.2	64	10.5	188	907	860

700 hPa 等高面分析，實驗期間台灣地區仍受太平洋副熱帶高壓環流影響，2004 年 7 月 31 日 12 UTC 850 hPa 實驗期間溼度場均持續呈偏乾燥情形，惟白天地面持續受熱，沿岸山區午後有降

水情形。台灣附近海面風力均在 5 ms^{-1} 以下，無顯著的劇烈天氣存在。2004 年 8 月 1 日至 2004 年 8 月 4 日仍受太平洋副熱帶高壓環流影響。其分裂高壓中心位於 150°E 至 152°E 徘徊至 2004

表 2 PJ 模式實驗模組測試表

	P (hPa)	Wd (Deg)	Ws (knots)	T (°C)	RH (%)	SST (°C)	P-J Model EDH (m)
對照組	1013.0	140	10.0	23.0	80	25	13.7
(A)調整Ws	1013.0	140	1.0	23.0	80	25	5.5
	1013.0	140	20.0	23.0	80	25	19.1
	1013.0	140	25.0	23.0	80	25	21.0
(B)調整T	1013.0	140	10.0	22.0	80	25	13.4
	1013.0	140	10.0	25.0	80	25	14.6
	1013.0	140	10.0	28.0	80	25	14.6
(C)調整RH	1013.0	140	10.0	23.0	60	25	19.8
	1013.0	140	10.0	23.0	70	25	16.7
	1013.0	140	10.0	23.0	100	25	5.7
(D)調整SST	1013.0	140	10.0	23.0	80	26	13.9
	1013.0	140	10.0	23.0	80	23	13.4
	1013.0	140	10.0	23.0	80	20	11.7

年 8 月 4 日被主高壓脊填塞。低層脊線勢力位在 130°E 至 133°E 附近，底層仍偏乾燥，白天地面受熱，沿岸山區午後仍有降水情形。

(二) 權重分析

為了探討壓力、溫度、濕度對蒸發導管的影響，我們每一次變動一種氣象因素來探討，如表 2。以夏季夜晚(2004 年 8 月 2 日 20 UTC) 為例，將觀測值作為實驗對照組，以 AREPS 之 PJ 模式估算海上蒸發導管高度，其計算結果作為測試組，模擬結果發現：當測試 A 組實驗時，風速越大，導管高度越高；而風速越小則導管高度越低。在 B 組測試方面，調整氣溫可以發現，空氣溫度比海溫低，當差異越大，導管高度越高；當氣溫與海溫相同及空氣溫度比海溫高時，導管高度與海氣溫相同時一樣。在 C 組測試方面，空氣越乾燥時，

則導管高度發展越高，反之空氣溫度越潮濕，則導管高度越低。在 D 組測試方面，我們嘗試調整海溫發現和 A 組的導管發展趨勢是一致的。此外，對導管高度影響權重最大的是相對濕度，它與導管高度呈負相關關係。當相對濕度由 60% 升至 100% 時，導管高度由 19.8 m 降至 5.7 m。平均每相對濕度升高 1%，導管高度約降低 0.4 m，以此類推。權重次之為氣海溫差，再者為水平風速。所以我們可以發現蒸發導管隨相對溼度的升高而降低；隨海水溫度對大氣溫度正差值越大，導管高度越高，反之越小。蒸發導管高度亦隨著水平風速增大而增加。

由折射率(Refractivity, N)
(Battan, 1973)[12](1)公式中，陳等(2006)[13]對 2003 年 7 月 3 日 00 UTC 至 2003 年 7 月 4 日 12 UTC 五分山異常

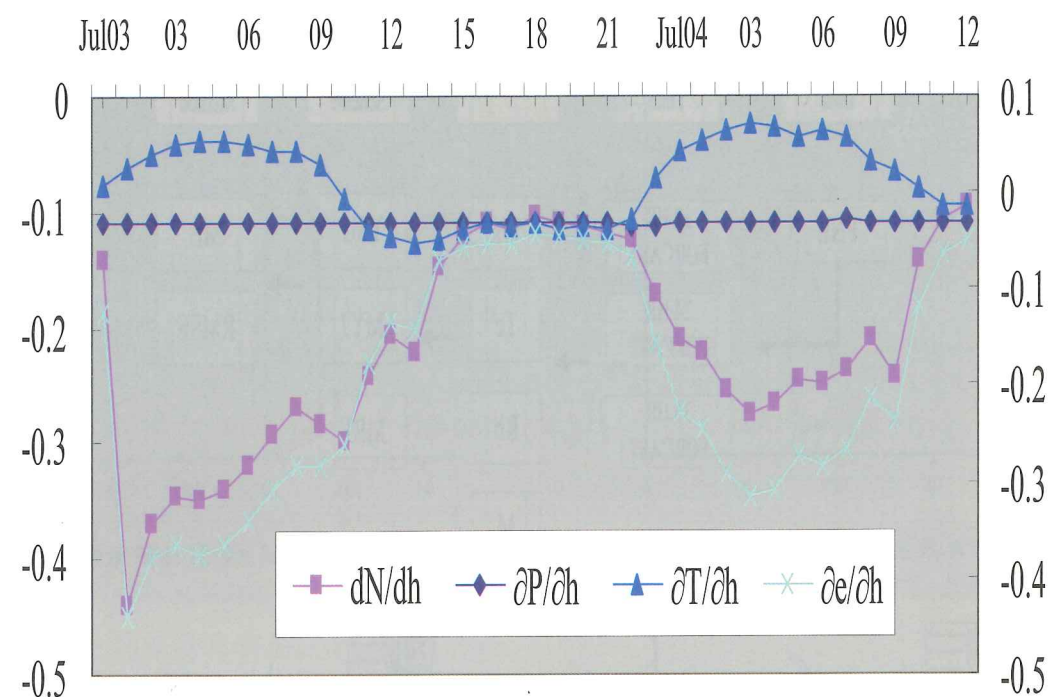


圖 4 五分山地面之折射率溫度濕度與氣壓之垂直梯度時序圖

回波個案中，對大氣垂直剖面之水汽梯度對折射率影響進行權重分析。另外，WRF 對於氣溫(T_c)、風速(W_s)等其他量場的掌握程度仍需進行廣泛研究討論進行了解。

圖 4 中，左側刻度為氣壓梯度(mb m^{-1})及折射率梯度(N-Unit m^{-1})，右側則為溫度梯度($^{\circ}\text{C m}^{-1}$)及水氣壓梯度(mbm^{-1})。折射率梯度介於 -0.0853 至 -0.4406 N-unit 之間、壓力梯度介於 -0.1112 到 -0.1079 mb m^{-1} 之間、溫度梯度介於 0.0719 至 -0.0545 $^{\circ}\text{C m}^{-1}$ 之間與水氣梯度介於 -0.0418 至 -0.438 mb m^{-1} 之間。由各曲線的變動特徵來看，水氣與折射率梯度關係密切，水氣梯度對折射率梯度的影響最大，其權重約為 4.1。其中，溫度權重約為 -1.58、壓力權重約為 0.26。各曲線相互關係式為：

$$\Delta N \cong -1.58\Delta T + 4.1\Delta e + 0.26\Delta P \quad (2)$$

Jeske(1973) [14]經實驗發表所得關係式為：

$$\Delta N \cong 1.3\Delta T + 4.5\Delta e + 0.3\Delta P \quad (3)$$

(2)式與(3)式右側各項係數相當接近，所以在台灣地區影響折射率的大氣因子仍以水汽所佔權重最大。

三、WRF之不同邊界層參數法之可預報度分析

(一) 研究方法本節主要探討WRF之不同邊界層參數法之可預報度，其中包括YSU、MYJ及MRF三種參數法。測試及校驗方法如圖 5 所示模式設定如表 3，垂直共 31 層，1 km 以下設置 14 層 ($\eta=1.000, 0.999, 0.998, 0.996, 0.993, 0.987, 0.985, 0.980, 0.966, 0.950, 0.945, 0.933, 0.913, 0.892, 0.869$)，垂直Sigma Levels選取範圍由 1013 hPa~100 hPa。時間積分使用 Runge-Kutta三階，間距為 60 秒，積

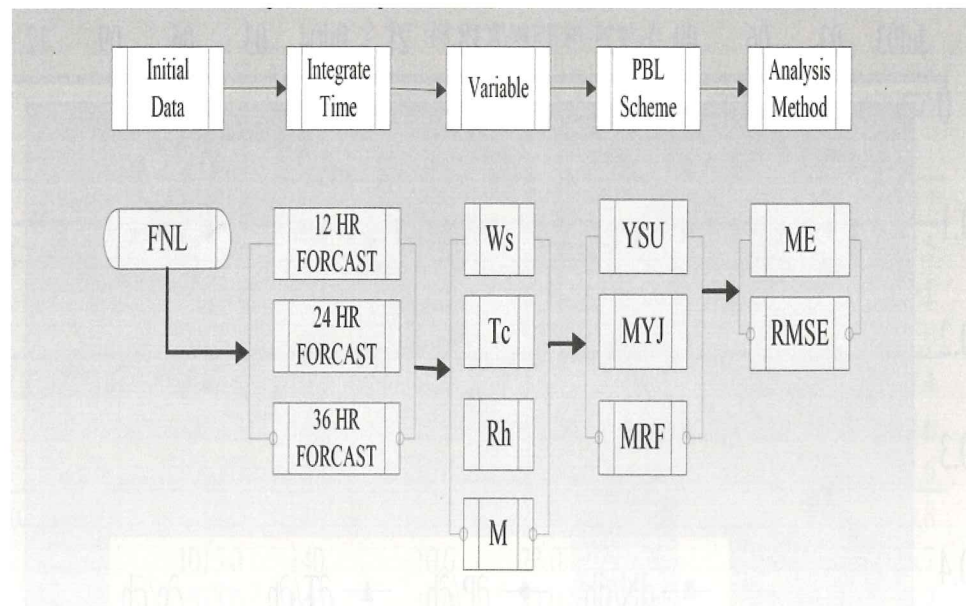


圖 5 WRF 邊界層參數法可預報度測試流程圖

表 3 模式參數設定表

Model configuration.	
WRF V2.1.2	
1.	Coarse domain 100(x)·108(y)·31(z). Find1 domain 48(x)·55(y)·31(z). Find2 domain 60(x)·56(y)·31(z).
2.	Coarse domain centre 30.0_ N, 131.0_ E. Find1 domain centre 23.5_ N, 121.9_ E. Find2 domain centre 23.2_ N, 120.6_ E.
3.	Coarse horizontal grid length ds= 45 km. Fine1 horizontal grid length ds =15 km. Fine2 horizontal grid length ds =5 km.
4.	$\delta = 0.999, 0.998, 0.996, 0.993, 0.987, 0.985, 0.980, 0.966, 0.950, 0.934, 0.916, 0.900, 0.884, 0.869, 0.844, 0.816, 0.786, 0.753, 0.718, 0.680, 0.639, 0.596, 0.550, 0.500, 0.451, 0.398, 0.188, 0.108, 0.046, 0.000.$ The equivalent heights to these δ levels 1 to 13 for a point over the East-South sea in Taiwan : , in metres 4 , 12 , 24 , 44 , 81 , 113 , 142 , 220 , 345 , 479 , 624 , 770 , 909
5.	Coarse domain time step dt = 60 s. Fine1 domain time step dt = 15 s. Fine2 domain time step dt = 5 s.
6.	Integration time 36 h.
7.	Non-hydrostatic dynamics.
8.	YSU.MYJ.MRF PBL scheme.
9.	Radiation physics calls. Coarse domain = 45 min. Fine1 domain = 15 min. Fine2 domain = 5 min.
10.	rrtm longwave radiation scheme.
11.	Dudhia shortwave radiation scheme.
12.	Kain-Fritsch cumulus scheme.
13.	SST update.
14.	evaluates 2nd order diffusion term on corrdinate surfaces.
15.	horizontal Smagorinsky first order closure.
16.	Initial fields for both domains at 0000 UTC and lateral boundary conditions for the coarse domain at 12-h intervals for each day in 2004 were based on FNL. data The coarse domain provided lateral boundary conditions for the fine domain at every time step

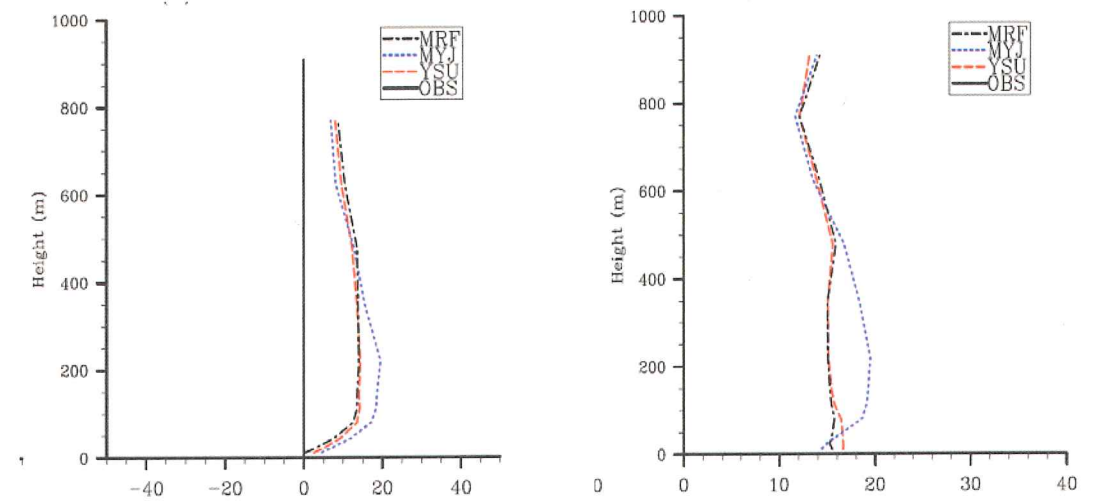


圖 6 相對溼度解析度 45 km 模式積分第 12 小時邊界層參數法與觀測值平均誤差及均方根誤差圖

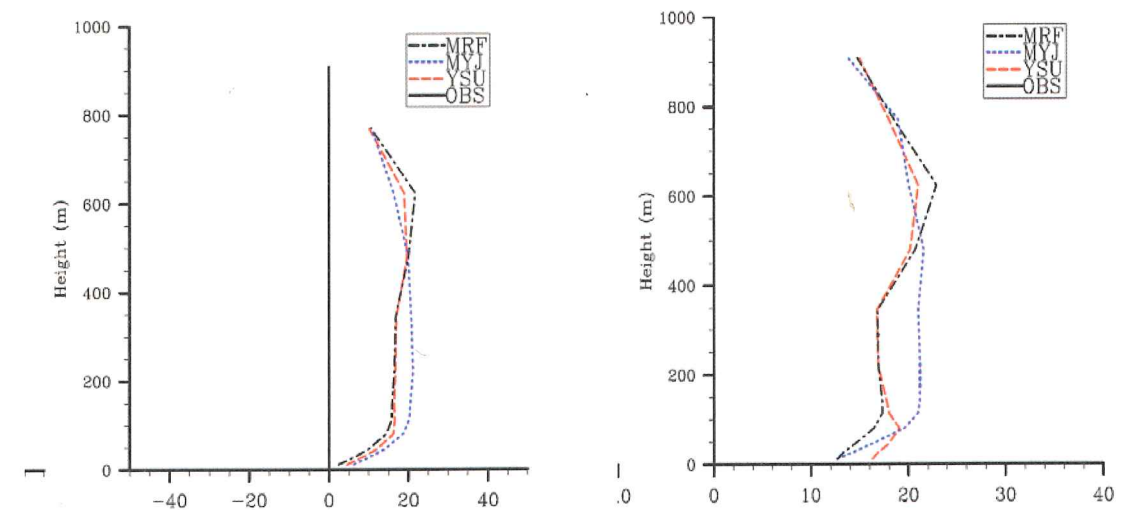


圖 7 同圖 6 但為模式積分第 24 小時

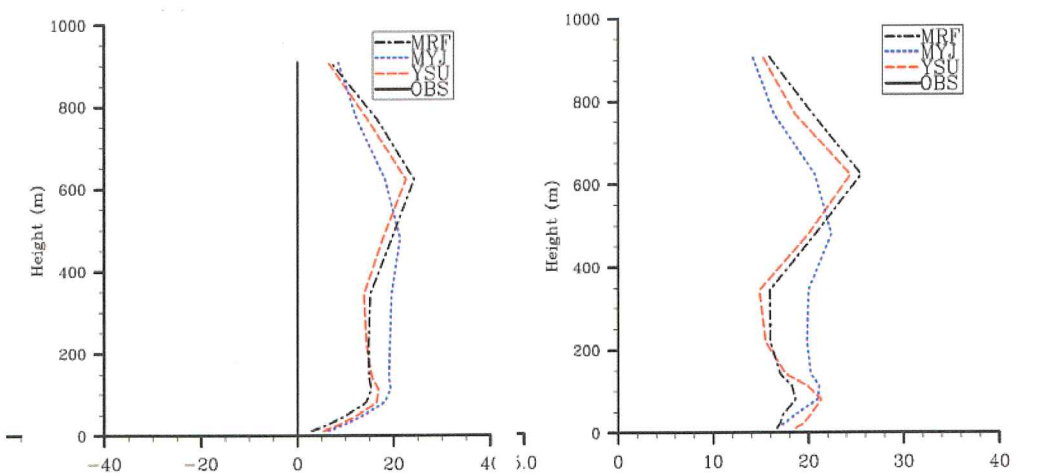


圖 8 同圖 7 但為模式積分第 36 小時

分時間長度為 36 小時，每隔 1 小時輸出一。模式採用 Two-way Nesting 而其物理參數法均採預設值，動力方面是使用 Eulerian 質量座標。

模式初始場是使用每 6 小時 NCEP Global Final Analyses (以下簡稱 FNL) 1.0°×1.0° 解析度的資料。由於我們所研究的主軸為邊界層內所發生的現象，希望能藉由高解析中尺度作業模式，掌握邊界層所發生的大氣現象，並對可預報度進行評估。所以針對不同邊界層參數化的物理過程進行可預報度測試，找出個案最佳的模擬選項。分別以 45 km、15 km 及 5 km 三種網格解析度，對高度 1000 m 以下進行 12 hr、24 hr 及 36 hr 時間積分。模式預報場利用 Bessel interpolation 方法內插至船測觀測點。利用船測近地層內(1000 m)之高解析探空資料中與模式近地層各相對應垂直座標面高度相近之相對濕度(Rh)、氣溫(Tc)、風速(Ws)及修正折射率(M)來計算平均偏差(Mean Error, 以下簡稱 ME)和均方根誤差(Root Mean Square Error, 以下簡稱 RMSE)(戚, 1978) [15]:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - O_i) \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - O_i)^2} \quad (5)$$

其中 F_i 是第 i 個模式預報時間與觀測時間相同之解析度、積分時間及地點均相同預報量場的值， O_i 為該觀測時間之觀測值。 n 為預報場樣本個數。當 ME 為負值，代表模式預報低估。反之則

高估。因在船上施放探空，故模式第 2 層以下常因無資料而無法比較。

(二) 不同邊界層參數法之可預報度分析模式積分第 12 小時，如圖 6，濕度有高估的情形，平均誤差 100 m 以上正偏差為 15%，MYJ 更可達 18%，至 500 m 以上正偏差減至 10% 以下，以 MYJ 正偏差較小。濕度在模式第 4 層以下以 MYJ 較佳，其他層以 YSU 及 MRF 表現為佳。均方根誤差濕度誤差的偏差值為 15% 左右，100 m 以上 MYJ 偏差值增高至 20%，低層濕度在模式第 4 層以下仍以 MYJ 較佳，其他層以 YSU 及 MRF 表現為佳。模式積分第 24 小時，如圖 7。平均誤差濕度在模式第 4 層以下以 MRF 較佳，其他層以 YSU 及 MRF 表現為佳，400 m 以上則為 MYJ 表現較佳。均方根誤差低層濕度在模式第 4 層以下仍以 MYJ 及 MRF 較佳，其他各層以 YSU 及 MRF 表現為佳。

模式積分第 36 小時，如圖 8。平均誤差濕度在模式第 4 層以下差異不大，其他各層以 YSU 及 MRF 表現為佳，500 m 以 MYJ 為佳。均方根誤差低層濕度在模式第 4 層以下仍以 MYJ 較佳，其他各層以 YSU 及 MRF 表現為佳。

四、結論

蔡(1990)[16]提出在學者的研究下，可利用同一數值模式的時間積分下，觀察誤差成長率的演進情形進行可預報度之研究，歐洲中心之中期天氣預報模式(ECMWF)的作業模式分析其 500 hPa 高度場的預測及分析值，高度誤差在 3.5 天左右成長兩倍。表 4 之縱座標分別表示在第 12、24 及 36 小時積分時間之垂直高度，若將 1000 m 高度分成

低層(0 至 100 m)，中層(100 至 500 m)，高層(500 至 1000 m)三層比較，橫坐標分別為風場、濕度場及溫度場之 WRF 模式不同解析度，分別為 5 km、15 km 及 45 km。

積分第 12 小時的風場、溫度及濕度的平均誤差與均方根誤差在高、中、低層整體表現均以 MRF 為佳，YSU 次之。MYJ 僅在中、低層風場預報上表現較佳。積分第 24 小時之中、低層溫濕度場以 MRF 表現為佳。中、低層風場以 MYJ 表現較佳。高層溫濕度以 MYJ 表現較佳，YSU 及 MRF 次之。高層風場以 MRF 表現較穩定。積分第 36 小時之中、低層溫濕度場以 MRF 表現為佳，YSU 次之。低層風場以 MRF 表現較佳。

高層溫濕度以 MYJ 表現較佳，YSU 及 MRF 次之。中、高層風場以 MYJ 表現較穩定。積分時間增加均有造成誤差值放大的情形。本研究顯示 WRF 模式在不同的邊界層參數法積分 36 小時後溫度平均誤差低估值及均方根誤差均成長為 1.8 倍左右。濕度平均誤差高估成長為 1.1 倍，均方根誤差成長為 1.3 倍。風速平均誤差低估值成長為 0.6 倍，均方根誤差值成長為 0.8 倍。個案研究期間，模式模擬表現維持相當之穩定度，其中邊界層參數法整體表現以 MRF 參數法為佳。若針對蒸發導管模擬所著重的邊界層低層表現，以 MRF 為最佳選項。另外，對高空導管模擬所著重的邊界層中層表現，以 YSU 為最佳選項。

表 4 WRF 模式邊界層參數法可預報度分析測試表

積分時間	分層	E	Ws			Rh			T		
			5	15	45	5	15	45	5	15	45
12hr	高層	E	F	F	F	J	J	J	A	U	A
		R	F U	F U	F U	F	F J	A	F	F	A
	中層	E	F	F	F	F	U	U	F	F	F
		R	F J	F J	F J	F J	F U	F U	F U	F U	F U
	低層	E	F	F	F	F	F	F	F	F	F
		R	F J	F J	F J	F U	F U	F	F J	F J	F U
24hr	高層	E	F	F	F	J	U	J	U	J	J
		R	F J	F U	A	J	J	U	J	U	J
	中層	E	F J	J	F	F J	F U	F U	F U	F	F
		R	F J	A	J	U	F U	F U	F U	F U	F U
	低層	E	J	F	J	J	F	F	F	F	F
		R	F U	J	J	F J	F	F	F	F J	F
36hr	高層	E	J	J	J	J	J	J	J	A	J
		R	J	J	J	J	J	J	J	A	J
	中層	E	J	J	J	U	U	U	F U	F	F
		R	J	F	F J	U	U	F U	F	F	F
	低層	E	F J	F J	F J	F	F	F	F	F	F
		R	F	F	F U	F J	F	F	F J	F	F

附註說明：U 為 YSU，J 為 MYJ，F 為 MRF，E 為平均誤差，R 為均方根誤差。U F J



五、參考文獻

- [1]周仲島、李文兆，2001：台灣地區都卜勒雷達資料發展應用計畫(I)。中央氣象局委託計畫，90頁。
- [2]Moszkowicz, S., G. J. Ciach, and W. F. Krajewski, 1994: Statistical detection of anomalous propagation in radar reflectivity patterns. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 11, 1026-1034.
- [3]Borsum, D. L., 1995: Doppler dilemma delineates danger from dirt, National Weather Service Western Region Tech. Attachment 95-07, 7 pp.
- [4]Doviak, R. J., and Zernic, D. S., Doppler Radar and Weather Observation, Azademic-Press, America, pp. 562, 1992.
- [5]Bean, B. R., and Dutton, E. J., Radio meteorology, Darmstadt, Germany, pp. 435, 1966.
- [6]Babin, S. M., "A case study of subrefractive conditions at Wallops Island, Virginia," *J. Appl. Meteor.*, Vol. 34, pp. 1028-1038, 1995.
- [7]Brooks, M. I., Goroch, A. K., and Rogers, D. P., "Observations of Strong Surface Radar Ducts over the Persian Gulf," *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 38, pp. 1293-1310, 1999.
- [8]Falodun, S. E. and Ajewole, M. O., "Radio Refractive index in the lowest 100-m layer of the troposphere in Akure, South Western Nigeria," *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, pp. 236-243, 2006.
- [9]Atkinson, B. W., Li, J. G., and Plant, R. S., "Numerical Modeling of the Propagation Environment in the Atmospheric Boundary Layer over the Persian Gulf," *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 40, pp. 586-603, 2001.
- [10]Zhu, M. and Atkinson, B. W., "Simulated Climatology of Atmospheric Ducts over the Persian Gulf,"

- Boundary-Layer Meteorology*, Vol. 115, pp. 433-452, 2005.
- [11]呂芳川、朱延祥，"台灣地區蒸發導管效應實驗及偵蒐效益分析(II)"，國防科技合作研究報告，國防大學中正理工學院，2004。
- [12]Louis, J. B., Radar Observation of the Atmosphere, Hemdon, India, pp. 324, 1973.
- [13]陳啟南、朱昌敏、呂芳川、陳文定，"夏季西南氣流對氣象雷達觀測影響之個案研究"，中央氣象局天氣分析與預報研討會，第23-26頁，2006。
- [14]Jeske, H., "State and limits of prediction methods of radar wave propagation conditions over sea," *Modern topics in Microwave Propagation and Air-Sea Interaction*, Rome, Italy, pp. 364, 1973.
- [15]戚啟勳、嚴夢輝，氣象統計學，國立編譯館，台灣台北，pp. 359, 1978
- [16]蔡清彥、柯文雄、許武榮，數值天氣預報，聯經出版社，台灣台北，p. 410, 1990。

A Case Study of the Numerical Simulation of the Atmospheric Duct over the sea---The Predictability for the Boundary Parameterization of the WRF Model

Yen-Tsen Lin¹ Chien-Liang Wang² Chung-Ming Chu³

Chinese Naval Meteorologic and Oceanographic Office¹
Institute of Technology Nation Defence University²
Nan-Jeon Institute of Technology³

ABSTRACT

The data observed over the sea area southeast of Taiwan from July 29 to August 5, 2004 are used and AREPS (Advanced Refractive Effects Prediction System) of U.S. Navel is implemented to analyze the characteristics of the evaporation ducts. The WRF (Weather Research and Forecast model) model is then used to simulate the atmospheric environment of the ducts for comparison.

During the observation period, the weather was affected by the Pacific Ocean High. The vertical mixing was suppressed by descents and the low-level refractive index was then increased. The predictability tests of this study indicate that the WRF Model has the ability to simulate the atmospheric structure near the sea surface. The stability of simulation was well maintained. For the simulation of the elevated ducts, the best boundary layer scheme is the YSU scheme. For the simulation of the evaporation ducts in the lower boundary, the best one is the MRF scheme. For the overall performance of the boundary layer scheme, the MRF scheme has the best results. WRF Model has the ability to predict the elevated and evaporation ducts for 12 and 32 hours, respectively.

Keywords: Atmospheric duct , Elevated duct , Evaporation duct , WRF model.