

探討邊界層參數化對氣象與空氣污染模擬結果的影響

金尚節 鄭芳怡

國立中央大學大氣物理研究所

摘要

隨著中國經濟的發展，其污染物排放情形也越來越嚴重，由於台灣位在東亞與東南亞的交接處，當鋒面系統通過或是高壓迴流的天氣型態，會受到中國污染物長程輸送的影响。此外台灣是開發中國家，在台灣本島排放的影響下，局地造成高濃度污染的情形也相當嚴重。

本研究利用WRF模式(Version 3.2.1)設定不同的邊界層參數化(YSU與MYJ)對於2003年4月兩種不同天氣型態模擬台灣春季的氣象場，分別是綜觀效應強的個案一(4/13~4/15)以及綜觀效應弱的個案二(4/17~4/19)，並且利用CMAQ模式(Version 4.4)，以WRF氣象場結果，配合排放資料，模擬2003年4月的空氣污染個案，討論兩種不同邊界層參數化在兩個期間對於空氣污染物傳輸、分佈情形的影響。

模擬的結果顯示，個案一期間，風場與邊界層高度模擬的差異使得污染物的分佈與傳輸有25(ppb)以上的差別；個案二期間，有明顯的日夜海陸風交替，白天海上風速以YSU大於MYJ(表示YSU的海風較強)，但是夜晚陸地風速為YSU小於MYJ(表示YSU的陸風較弱)。在污染物的時空分佈，YSU白天海風較強的情形，使得YSU污染分佈比起MYJ較集中於沿海以內的區域，且離岸處MYJ比YSU有較高的臭氧濃度分佈。夜晚NO與臭氧滴定效應，因為YSU陸風較弱，使得YSU臭氧低濃度分佈情形比較集中於排放源區。

一、前言

正確的空氣污染模擬需要準確的氣象場，而邊界層參數化為一重要物理過程，決定污染物的傳輸與擴散。不同的邊界層參數化對於大氣中質量、溼度以及能量傳輸的假設都不一樣，所以會造成不同的模擬結果。如此對於溫度、風速、風向、邊界層高度、濕度的傳遞大小、熱量的傳遞大小會有不同的模擬結果，這樣對於空氣污染物的傳送以及累積情形，將產生不同的結果。

近幾年，也有一些學者，(Misenis et al., 2006; Jankov et al., 2005, 2007; Li and Pu 2008; Borge et al., 2008)利用天氣研究與預報模式(WRF)，對於模式中各種物理過程的參數化做敏感度測試。

(Hu et al., 2010)的研究，針對美國德州地區，利用WRF模式選取三種不同的邊界層

參數化方法(YSU、MYJ以及ACM2)做模擬，探討三種不同邊界層參數化方法所得出來的各種氣象變數的差異，並且與觀測資料比對。

(Chiang et al., 2009)的研究，使用MM5模式來模擬氣象場，並且配合TAQM(Taiwan Air Quality Model)來模擬臭氧污染物受到東亞地區春季期間的傳輸、擴散情形，並且探討氣象場模擬的結果對於臭氧污染物濃度時空分佈的關係。

二、YSU 與 MYJ 的比較

(Hong and Pan, 1996)的文章提到YSU PBL scheme通量的計算方法，基本上使用K-theory方式，另外加上大尺度作用的逆梯度項，使得傳輸的方式由局部(local)變為非局部(non-local)，(Hong et al., 2006)的文章中

說明 YSU PBL scheme 邊界層高度是定義為 bulk Richardson number 等於零的高度。

(Janjic, 2001) 的文章說明 MYJ PBL scheme 考慮紊流動能(TKE)、紊流動能消散率(dissipation)等等變數的方程組, 計算模式大氣中的紊流效應, 以推得大氣中質量、熱量傳輸情形, 並且說明 MYJ PBL scheme 邊界層高度是定義為 TKE 為 0.1 數值的高度。通量的計算、邊界層高度的估計以及地表與大氣之間的計算過程, 這些是 YSU 與 MYJ 兩種邊界層參數化最主要的差異。

在台灣地區對於 WRF 模式中大氣邊界層物理過程的研究, 已知的訊息並不多。因此選取綜觀效應影響較強以及綜觀效應影響較弱的兩種不同天氣型態, 利用兩種不同的邊界層參數化(YSU 與 MYJ)進行氣象模擬, 藉此來探討 WRF 模式的 YSU 與 MYJ 邊界層參數化, 對氣象模擬結果的影響。再進一步使用 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) 模式, 以兩種不同邊界層參數化的 WRF 模式結果作為氣象背景環境進行模擬, 討論空氣污染的傳輸情形。

三、個案選取與模式介紹

個案選取的期間為 2003 年 4 月 13 日到 2003 年 4 月 20 日, 這段期間一開始有個滯留鋒面通過台灣, 而鋒面遠離之後的期間, 台灣附近則沒有明顯的天氣系統, 主要受較遠處的系統外圍環流影響。本篇研究探討台灣於春季期間的兩種不同氣象環境, 將 4 月 13 日至 4 月 20 日分為兩個期間做為討論, 分別是綜觀效應較強的期間(4 月 13 日至 4 月 15 日), 稱為個案一; 綜觀效應較弱的期間(4 月 17 日至 4 月 19 日), 稱為個案二。針對兩個期間台灣地區氣象場以及空氣污染物分佈做分析, 討論不同氣象環境下, 不同邊界層參數化的表現情形。

本篇研究 WRF 模式的內部設定見(表 2.1)。邊界層參數化使用 YSU 與 MYJ 兩種; 地表大氣過程則是使用 Monin-Obukhov (YSU) 與 Janjic Eta Monin-Obukhov (MYJ) 兩種; 地表土壤過程是使用 Noah 土地地表方法; 短波輻射傳輸過程使用 Dudhia 方法; 長波輻射傳輸過程使用 Rrtm 方法; 微物理過程

使用 WSM6; 積雲參數化使用 Kain-Fritsch 方法; 初始資料使用 NCEP 全球分析場 (FNL), 模擬的初始時間為 2003 年 4 月 1 日 00UTC, 模擬整個四月份。

WRF 中網格範圍的設定如(圖 2.1), 由最大的(D1), 網格解析度為 81 公里, 包含整個中國大陸以及日本、中南半島還有菲律賓地區; 第二個(D2), 網格解析度為 27 公里, 包含台灣以及中國東南部的華中上海與華南福建地區; 第三個(D3), 網格解析度為 9 公里, 涵蓋台灣以及大陸的福建地區; 最小的(D4), 網格解析度為 3 公里, 著重在整個台灣地區。

CMAQ 的全名為 Community Multiscale Air Quality, 為區域大氣化學傳輸模式, CMAQ 模擬中主要分為三大部分, 分別是(1)氣象場處理、(2)排放源資料處理、(3)化學傳輸機制處理。

排放源資料取自於(Street et al., 2003), 但是台灣的部分使用 TEDS(Taiwan Emission Data system, version 5.1, TEDS 5.1)排放資料庫, 此資料庫由張時禹老師的實驗室所提供。

四、結果與討論

4.1 個案一

圖 3.1 六張分佈圖的橫軸代表經度, 縱軸代表緯度, 陰影為風速的大小, 箭頭為風向, 分別為 4 月 14 日 00LST 以及 12LST 的風速與風向的 2D 分佈圖。在 00LST 這個時間, 兩個模擬都有捕捉到鋒面的結構, 在鋒面前緣處, YSU 的風速大於 MYJ, 風向則是在台灣的北側與西側有明顯冷暖空氣交會的情形, 特別位於台灣北側(約在北緯 27 度), YSU 主要以東北風為主, 但是 MYJ 卻偏為東風。而在 12LST, 鋒面有向南方移動的現象, 原先在北緯 27 度位置 YSU 與 MYJ 風向差異的地方, 也因為鋒面向南移動而移到北緯 26 度的位置。這樣 YSU 與 MYJ 在風場的差異, 將會影響到空氣污染物的傳輸情況。

圖 3.2 為 4 月 14 日 00LST 以及 12LST 邊界層高度的模擬結果。在 00LST 鋒面後緣的位置, YSU 與 MYJ 兩種邊界層參數化模擬出來的邊界層高度相差有 1000 公尺以

上。圖 3.3 為北緯 27 度東西向 TKE 的垂直剖面圖, 因為位於鋒面系統, 所以 TKE 可以發展至相當高的高度, 以致於 MYJ 模擬出相當高的邊界層高度。如此 YSU 與 MYJ 對於邊界層高度模擬的不同, 也將會影響到空氣污染物傳輸的情況。

圖 3.4 為 4 月 14 日 00LST 以及 12LST 臭氧濃度與風場的分佈圖。在 00LST 的時候, YSU 與 MYJ 在上海的外海處都有模擬出臭氧高濃度的情形; 對應到北緯 27 度 YSU 與 MYJ 風向不同的地方, 在濃度差異圖上看到臭氧濃度 YSU 與 MYJ 有 25(ppb) 以上的差異情形。造成的原因是 YSU 的邊界層高度比 MYJ 來的低, 如此造成 YSU 的臭氧污染物不容易向高處擴散而累積在低層, 另外是風向方面 YSU 主要為東北風, 如此讓累積於低層的臭氧污染物會順著東北風向下游地區傳輸。在 12LST, 隨著時間發現 YSU 將臭氧隨著東北風向下游處傳向台灣, 而 MYJ 在北緯 26 度的地方, 濃度並沒有很高。再進一步看濃度差異圖, 明顯的發現 25(ppb) 臭氧濃度差異區域有擴大並且從北緯 27 度南移到北緯 26 度的位置。

由以上討論發現, 針對鋒面通過台灣這段期間(4 月 13 至 4 月 15), YSU 與 MYJ 兩者對於風場以及邊界層高度的模擬結果是相當不一樣, 並且因為這兩種氣象場的差異, 使得大陸上海地區的臭氧污染物隨著鋒面以及東北風傳送至台灣北部, 濃度的差異有 25(ppb) 以上。

4.2 個案二

圖 3.5 為 4 月 17 日 00LST 與 12LST 的風場分佈圖。在夜晚 00LST 的時候, 看到 YSU 與 MYJ 模擬出來台灣西部以及西部外海的區域風速都相當的低, 並且發現風向以陸地吹向海上的陸風為主。但是在差異圖中, 發現海上的風速是 YSU 大於 MYJ, 而陸地上則是 YSU 稍微小於 MYJ。但是在 12LST 的白天, 台灣西部的風向以海洋吹向陸地的海風為主, 比起夜晚 00LST 風速也變得比較大, 在差異圖中, 海上的風速是 YSU 大於 MYJ, 但是陸地上則是 YSU 稍微小於 MYJ。

接下來為 4 月 17 日 00LST 與 12LST 的臭氧濃度與風場分佈圖見圖 3.6。在 00LST, 臭氧污染物的影響機制主要為消耗臭氧污染物的滴定效應(titration), 因此在都市發展比較先進、有較多污染物排放源的台灣西部地區, 在 YSU 與 MYJ 兩者的模擬下, 都有臭氧污染物濃度很低的分佈情形。YSU 所模擬出來的低濃度區域, 比起 MYJ 較集中於沿海以內的地區, 而 MYJ 模擬出來的低濃度區域則是向沿海以外擴散。配合濃度差異圖, 臭氧濃度在沿海以內是 YSU 小於 MYJ, 而沿海以外則是 YSU 大於 MYJ。造成這樣的分佈, 主要是因為受到風向的不同與風速大小分佈不同, 夜晚是以陸風為主, 在內陸的風速大小是 YSU 小於 MYJ。使得 YSU 比較容易累積 NO 在沿海以內的地區, 滴定效應造成的臭氧低濃度分佈比較集中在沿海以內。再來是 4 月 17 日 12LST 白天的分佈情形, 對於臭氧污染物的影響機制主要為生成臭氧污染物的光化反應, 於是同樣在台灣西部地區, 因為有較多污染物排放源, 所以 YSU 與 MYJ 兩者模擬結果, 在台灣西部地區臭氧污染物都有相當高濃度的分佈。YSU 模擬出來的高濃度區域, 比較集中於沿海以內, 而 MYJ 有比較往沿海以外擴散的情形。在差異圖中也發現沿海以內的源排放區, 臭氧污染物濃度值是 YSU 大於 MYJ, 但是沿海地區以外則是 YSU 小於 MYJ。

由以上討論得知, 此期間 4 月 17 至 4 月 19, 台灣西部有明顯的日夜海陸風交替, 由於 YSU 與 MYJ 對於風速的模擬在海上與陸地上有所差異, 此差異以及臭氧污染物在日夜受到光化反應(photochemical)與滴定效應(titration)的不同, 使得 YSU 與 MYJ 兩種對於模擬日夜臭氧污染物高、低濃度的分佈有不同的結果。

五、結論

本篇研究利用 WRF 模式(版本 3.2.1)以及 CMAQ 模式(版本 4.4), 以 WRF 模式模擬出來的氣象場結果, 配合排放源資料, 模擬兩種不同天氣型態期間空氣污染物傳輸與擴散的分佈情形。以及探討台灣春季期間, 兩種不同邊界層參數化(YSU 與 MYJ)在兩個不

同天氣型態下，對於氣象場以及空氣污染物分佈情形的表現。

在綜觀天氣效應較強的期間(4月13日至4月15日)，發現位於天氣系統(鋒面)，利用不同邊界層參數化模擬出來的氣象場有相當大的差異，例如：風場的分佈以及邊界層高度。在此期間由於受到鋒面通過，伴隨著空氣污染長程傳輸的現象，將上海地區產生的高濃度臭氧污染物向南傳遞至台灣。由於不同參數化有不同的氣象場結果，邊界層高度為YSU小於MYJ，如此導致YSU的低層臭氧污染物較不容易往高層擴散。另外在台灣北方風場模擬的不同，YSU的風向為東北風，MYJ偏為東風，如此YSU的臭氧污染物容易累積在低層並且隨著東北風向南方傳送至台灣，造成空氣污染濃度的分佈有相當大的差異。在這個期間，受到上海地區傳輸過來的臭氧濃度並沒有非常的高，大約為60至80(ppb)。

在綜觀天氣效應較弱的期間(4月17日至4月19日)，台灣西部有明顯的日夜海陸風交替的現象。白天受到海風的影響，YSU模擬出來的海風強度大於MYJ，使得白天受光化反應的臭氧污染物，其擴散能力較差，污染物比較集中於排放源區附近。在以陸風為主的夜晚，因為陸風風速YSU小於MYJ，使得NO較容易累積在排放源區附近，造成較高的臭氧滴定效應。這段期間，因為風速呈現較低的情形，造成臭氧濃度高達110至130(ppb)。整體而言，影響污染物最主要的氣象因素是風場。

六、參考文獻

Borge, R., V. Alexandrov, J. J. del Vas, J. Lumbreras, and E. Rodriguez, 2008: A comprehensive sensitivity analysis of the WRF model for air quality applications over the Iberian Peninsula. Atmos. Environ., 42, 8560-8574.
Chiang, C. K., J. F. Fan, J. Li, J. S. Chang, 2009: The impact of Asian continental outflow on the springtime ozone mixing ratio in northern Taiwan. Journal of Geophysical Research, 114, D24304, doi: 10.1029/2008JD011322 Hong, S. Y., H. L.

Pan, 1996: Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. Mon. Wea. Rev., 124, 2322-2339.

Hong, Y. Noh, and J. Dudhia, 2006: A new vertical diffusion package with explicit treatment of entrainment processes. Mon. Wea. Rev., 134, 2318-2341.

Hu, X. M., J. W. N. Gammon, and F. Zhang, 2010: Evaluation of Three Planetary Boundary Layer Schemes in the WRF Model, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 49, 1831-1844.

Janjic, 2001: Nonsingular implementation of the Mellor-Yamada level 2.5 scheme in the NCEP Meso model. NOAA/NWS/NCEP Office Note 437, 61 pp.

Jankov, I., W. A. Gallus Jr., M. Segal, B. Shaw, and S. E. Koch, 2005: The impact of different WRF model physical parameterizations and their interactions on warm season MCS rainfall. Wea. Forecasting, 20, 1048-1060.

Jankov, P. J. Schultz, C. J. Anderson, and S. E. Koch, 2007: The impact of different physical parameterizations and their interactions on cold season QPF in the American river basin. J. Hydrometeor., 8, 1141-1151.

Li, X., and Z. Pu, 2008: Sensitivity of numerical simulation of early rapid intensification of Hurricane Emily 2005: to cloud microphysical and planetary boundary layer parameterizations. Mon. Wea. Rev., 136, 4819-4838.

Misenis, C., X. M. Hu, S. Krishnan, Y. Zhang, J. Fast, 2006: Sensitivity of WRF/Chem predictions to meteorological schemes. Proc. 86th Annual onference/14th Joint Conf. on the Applications of Air Pollution Meteorology with the A&WMA, Atlanta, GA, Amer. Meteor. Soc., paper 1.8.

Streets, D. G., et al. 2003: An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the year 2000, J. Geophys. Res., 108, 8809,doi:10.1029/2002JD003093.

圖表說明

表2.1 WRF中各項物理參數的設定。

Table with 2 columns: WRF中各種設定, 設定. Rows include vertical layers (25 layers), boundary layer parameterization (YSU, MYJ), surface (NOAH), atmospheric-surface (Monin-Obukhov, Janjic Eta), shortwave radiation (Dudhia), longwave radiation (Rrtm), cloud parameterization (Kain-Fritsch), microphysics (WSM6), initial data (NCEP), and simulation start time (2003年4月1日00UTC).

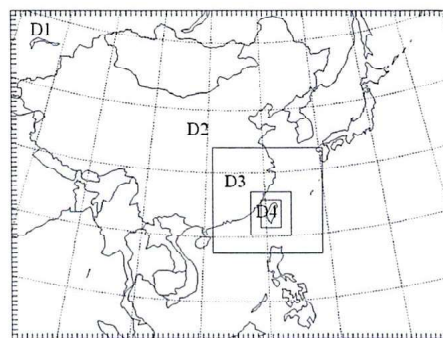


圖 2.1 WRF中四個DOMAIN的設定範圍。

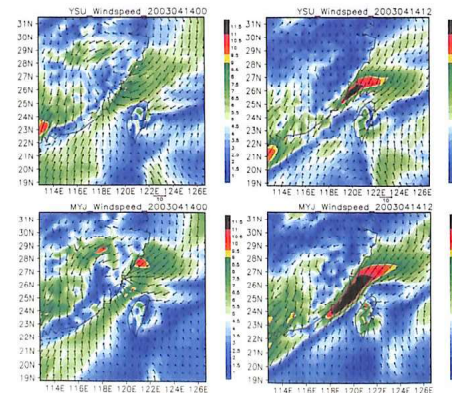


圖3.1 4月14日風速與風向分佈圖。左列，00LST；右列，12LST。

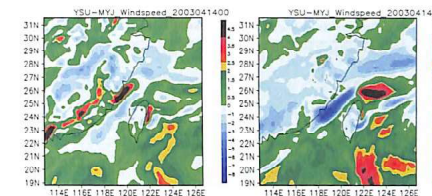


圖3.1(續) 4月14日風速與風向分佈圖。左列，00LST；右列，12LST。

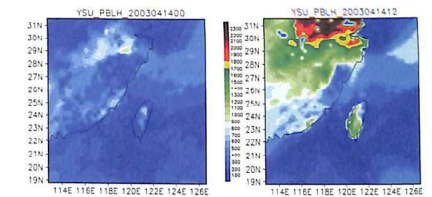


圖3.2 4月14日邊界層高度分佈圖。左列，00LST；右列，12LST。

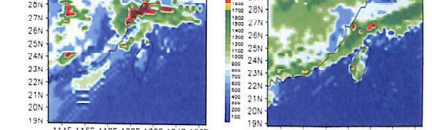


圖3.2 4月14日邊界層高度分佈圖。左列，00LST；右列，12LST。

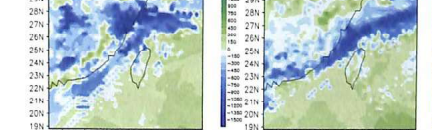


圖3.2 4月14日邊界層高度分佈圖。左列，00LST；右列，12LST。

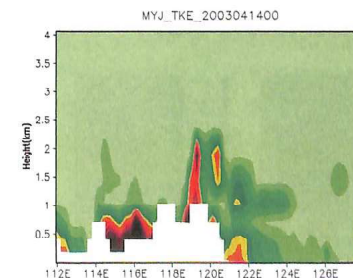


圖3.3 4月14日00LST；12LST，北緯27.5度TKE垂直剖面分佈圖。

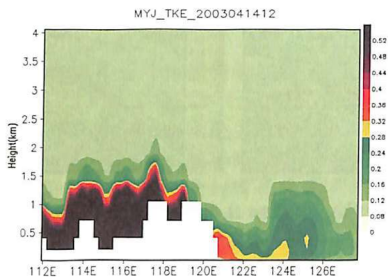


圖 3.3(續) 4 月 14 日 00LST ; 12LST, 北緯 27.5 度 TKE 垂直剖面分佈圖。

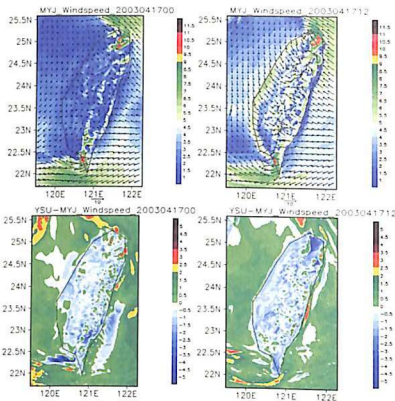


圖 3.5(續) 4 月 17 日風速與風向分佈圖。左列, 00LST ; 右列, 12LST。

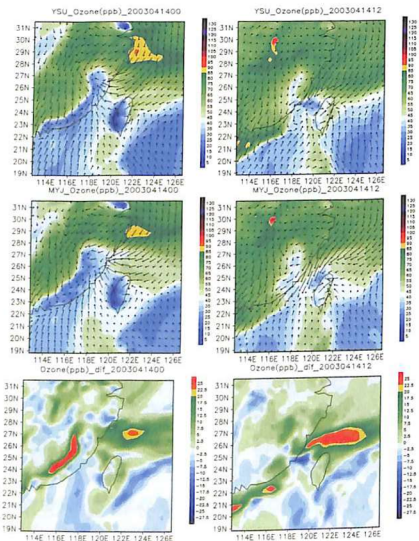


圖 3.4 4 月 14 日臭氧濃度分佈圖。左列, 00LST ; 右列, 12LST。

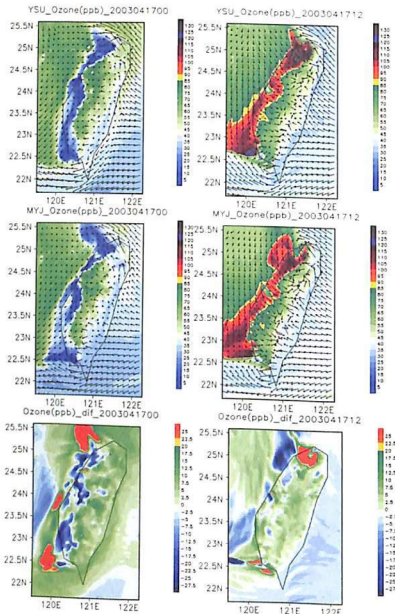


圖 3.6 4 月 17 日臭氧濃度分佈圖。左列, 00LST ; 右列, 12LST。

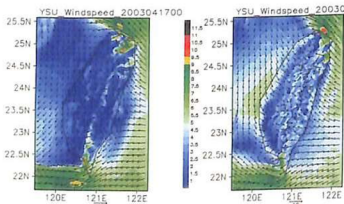


圖 3.5 4 月 17 日風速與風向分佈圖。左列, 00LST ; 右列, 12LST。