

計畫名稱：106 年度沿海地區健康風險評估計畫之大氣擴散模式發展

所屬單位：生工所

研究團隊：STEMlab-時空間推估建模實驗室

計畫主持人：余化龍

研究人員：莊育權、康峰誌、顧尚真、莊紹榕、周宗徹、吳尚威。

資源需求：IFortran, MPI, open MPI, IOAPI, NetCDF, HD4, Zlib

使用期間：2018/6~

研究主題：

目前使用 WRF, CMAQ 等大氣擴散模擬軟體，針對雲林縣六輕工業區附近進行排放量模擬推估，其結果搭配不確定性、敏感度分析、汙染物毒理判斷後對於周遭居民進行健康風險評估。

研究內容概述：

本計畫為雲林縣環境保護局委託辦理之 106 年度沿海地區健康風險評估計畫，主要針對沿海地區居民進行健康風險評估，主要工作內容為根據離島工業區附近空間與時間環境暴露模式與資料建置，完成健康風險評估。由蒐集歷年來環境汙染監測資料進行汙染物時、空間分析與推估，並利用離島工業區排放之汙染物時、空間分析與推估結果進行沿海地區居民之健康風險評估。最後參考國內外採樣監測之架構與案例，提供整合健康與生態風險之離島工業區針對環境健康與生態效應監測系統之建議。團隊所建立之整套健康風險評估計畫未來也可用於分析其他地區。

研究工作詳述：

一. 簡介：

本計畫於 2017/12 月中時繳交第一次工作報告，2018/3 月中時繳交期中報告，並預計於 2018/8 月底時繳交期末報告。第 1 次工作進度報告其內容為整合過去監測資料：包括環境污染物的種類、環境污染物的監測濃度資料、環境污染物的監測地理資訊和環境污染物的毒理資料(包括基本物理化學性質和毒性研究資料)。並將上述資料匯入 PostgreSQL 資料庫同時配合 GeoNode 界面呈現出環境污染物監測濃度與雲林縣附近地理位置的相關性。另外根據雲林縣環保局提供之監測車監測項目，將 8 種 IARC 列為 2B 級以上之環境污染物列為優先評估的化學物質並收集毒理資料整合至資料庫中。優先評估的 8 種化學物質分別為苯，四氯化碳，氯乙烯，1,3-丁二烯，氯仿，1,2-二氯乙烷，三氯乙烯，四氯乙烯。

期中工作進度報告將資料建構分成三個部份進行處理與說明，包含資料蒐集、資料整理與資料庫建置。在資料蒐集部份，本計畫已蒐集相關所需資料以用於環境暴露模式與相關毒理資料查詢與使用。在資料整理部份，試著將所有資料依不同的特性分類並數化(數字化)。主要分為環境與毒理兩大部份。目前資料庫中已蒐集化學物質之相關毒理資料以雲林縣環保局監測車所偵測的物中列表中以 IARC 列為所規範圍 2B 以上為優先彙整的對象。未來工作會持續蒐集並更新資料，讓所有資料保持在最新的狀態。

在環境暴露評估方面，本計畫在利用 CMAQ 模擬空氣污染物的執行過程中，大氣擴散模式所需要的參數眾多，包含排放量、風速、風向、地表粗糙度、包溫比……等。以及進行推估離島工業區附近區域污染物濃度模擬範圍以距離離島工業區約半徑 10 公里為模擬區域，本次工作進行模擬的時間範圍為民國 103 年，模擬尺度為小時。暴露模式是利用貝氏統計與馬可夫鏈蒙地卡羅法重建污染物排放量再以 CMAQ 直接推估目標受體污染濃度對於排放量的敏感度，進而推估污染物的合理排放量，接著以污染物濃度的時空分佈用多介質傳輸模式估算不同介質中的暴露濃度，最後以雲林沿海地區當地居民的暴露因子以多暴露途徑的假設情境下估算雲林沿海地區當地居民的暴露劑量。

期中報告至期末報告期間之待做事項包含：

1. 資料庫建構會持續蒐集相關資料並更新，讓目前蒐集到的資料是保持在最新的狀態。
2. 持續建構環境暴露模式並將利用環境監測濃度資料來開發適合的推估模式，並完成推估臨海工業區中空氣污染物之大氣擴散模式與多介質模式之建構。

3. 利用已建構完成的暴露模式推估離島工業區附近不同介質之暴露濃度以應用於沿海附近居民之環境暴露評估。
4. 分析本計畫建構之模式與現行相關機關推薦使用之模式差異。

二. 問題描述:

如簡介中之環境暴露評估段落所提及，CMAQ 因所需運算處理之參數眾多，目前以實驗室擁有之計算資源，若欲模擬 103 年整年的資料量，所需運算時間約為半年，無法趕上期末報告繳交時間，若考慮減少模擬資料量，則可能對於結果方面有著較不佳之表現。故欲借用計中 HPC 之平行運算能力，大幅縮短運算所需時間。於 2018/1 月申請 guest05 試用帳號做測試後，若使用 16 個 core 同時計算約 15 天之資料量，所需計算時間約為 6 小時。以此類推，以 16 個 core 計算一年之資料量約需 7 天，比原本預計花上半年快了非常多。

三. 採用方法:大氣擴散模式

延續過去計畫使用 AERMOD 推估排放源-受體敏感度 (圖 1) 以推算其年平均濃度之空間分佈，今年預計以 WRF (Weather Research and Forecasting) 重建的氣象場驅動 CMAQ-DDM-3D (Community Multiscale Air Quality Decoupled Direct Method in Three Dimensions) 來推估排放源-受體敏感度。CMAQ-DDM-3D 在計算污染物濃度時同時模擬敏感度的傳遞 (Sensitivity Propagation) 直接計算排放源-受體敏感度。

過去計畫推估排放源-受體敏感度為大量隨機調整之排放情境與受體年平均濃度之線性代數解。各污染物獨立模擬，其排放量推估結果應與實際情境有所不同。CMAQ 同時計算所有污染物及其受體對應之敏感度，應可在維持排放源各污染物間比例 (Source Profile) 的前提下計算排放源-受體敏感度同時估計年平均濃度之空間分佈。

CMAQ 以「1 個大氣」為原則，目的是要將污染物間的反應納入模式運算。以光化反應為例，臭氧和氫氧自由基與人工或生物源排放之污染物反應會產生衍生污染物懸浮微粒。懸浮微粒的產生影響光照而反應到產生氫氧自由基的光解作用、溫度、風場、熱反應及排放速度。

CMAQ 模擬多污染物，大氣之間的交互作用。其中包括污染物傳輸、光化學反應、懸浮微粒、空氣中的毒物、酸性沉降、能見度等綜合氣象場對污染濃度進行推估。CMAQ 的 CTM (Chemistry-Transport Model) 以 ODEs (Coupled Ordinary Differential Equations) 預測 3 維格點中之污染物濃度 (圖 2)。

CMAQ 根據氣象及排放模式資料計算格點平流(Advection)及排放量並推算擴散(Diffusion)、化學轉換(Chemical Transformation)與流失(Loss)。CCTM 內各內嵌程序(Inline Process)與污染物傳輸同時進行。CMAQ 因此可以計算參數本身及參數間的反饋。例如光解反應速度與氣膠團距離遞減的關係。其他如有效率的耦合工廠運作及氣象化學環境、生物源排放、風塵、海鹽、與點源排放煙流攀升的模擬。

CMAQ 模擬使用 WRF 模式產生之氣象場來驅動污染物傳輸。環保署模式支援中心報告(環保署, 2017)指出雲嘉地區最佳模式設定為 GMTED2010(Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010)地形資料、WSM5(Single Moment 5-class scheme)微物理參數、YSU(Yonsei University scheme)邊界層參數。今年預計以此最佳模式設定配合海溫(NCEP FNL, 2000)及數據同化(Data Assimilation)全球探空及地面測站資料(NCEP ADP, 2008)與衛星輻射(NCEP GADS, 2009)重建 2014 年氣象場(圖 3)。2014 年氣象場與觀測值有顯著相關($p=0$;圖 4)且模式偏差無明顯季節與空間趨勢(圖 5)。數據同化後低估之氣壓溫度與高估的風速皆有明顯改善。相對溼度模擬則無明顯改善。

本計畫 CMAQ 模擬以 TEDS9.0(環保署, 2016)排放量資料使用 SMOKE(Sparse Matrix Operator Kernel Emissions)模式依工業分類代碼(SCC)將總有機物排放量分成多種污染物,另預計加入過去計畫蒐集離島工業區之有毒汙染物排放量一併進行模擬。

利用大氣擴散模式模擬其中的不確定性來自於下列幾個不同的方向:1. 模式輸入資料的不確定性;2. 資料觀測的不確定性;3. 模式內部參數的不確定性;4. 模式簡化物理機制後的不確定性;5. 大自然中隨機擾動的不確定性;6. 模式格點與實際受體地點差異。針對這些不確定性,WRF 模式目前對不同觀測資料與模式模擬機制進行數據同化以達到重建氣象條件的目的。

本計畫在利用 CMAQ 模擬空氣污染物的執行過程中,大氣擴散模式所需要的參數眾多,包含排放量、風速、風向、行星邊界層高度……等,研究區域內具有實際測量的觀測站非常的稀少,必定會利用一些現有知識的主觀假設或是其他模式模擬值來補足,因此,此時對於整個大氣擴散模式架構的不確定性的探討是非常重要的,在後續工作內容中,本計畫也會針對不確定性進行分析。

不確定性分析中,實際受體地點與模式格點差異應可透過地面實況的後驗分佈(Posterior Distribution)提升空間預測。以鄰近測站資料配合 CMAQ 模擬不只可用於驗證,更可依其資料分佈減少 CMAQ 輸出中的偏差。

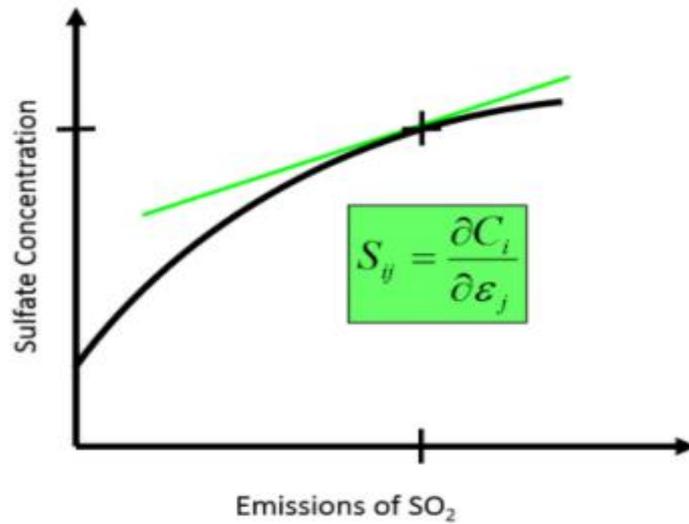


圖 1 排放源-受體敏感度示意。橫軸為污染源 (j) 排放量 (ϵ_j)，縱軸為受體 (i) 污染物濃度 (C_i)，排放源-受體關係的斜率為敏感度 (ϵ_{ij}) (USEPA, 2017)。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = Adv + Diff + R_c + E_c - S_c$$

where,

Adv = advection,

$Diff$ = diffusion,

R_c = chemical transformation of species c,

E_c = emissions of species c,

S_c = loss processes for species c

圖 2 CMAQ 各網格之基本機制，配合初始及邊界條件以 ODEs 求解各網格濃度。

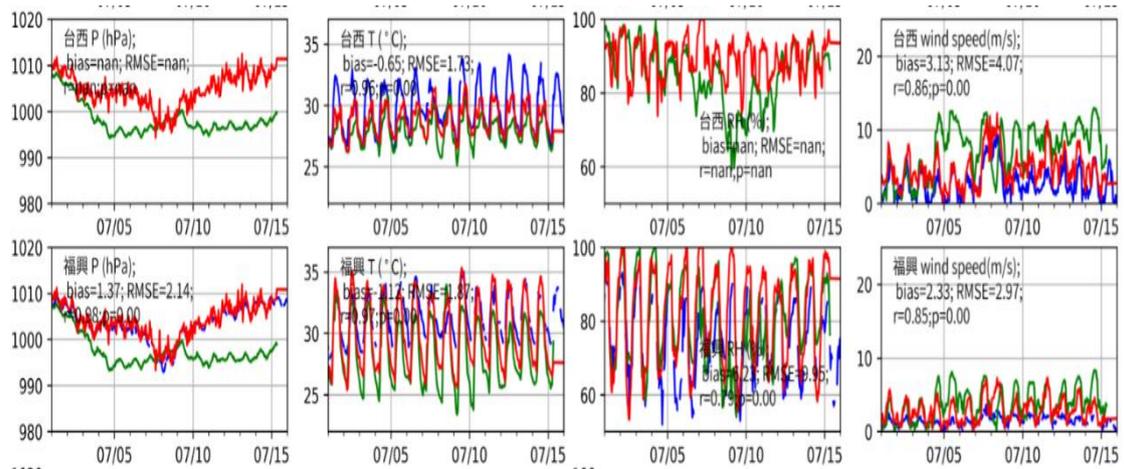


圖 3 WRF 模擬 (綠線) 與觀測資料同化 WRF 模擬 (紅線) 與觀測資料 (藍線, 鄰近氣象局測站)。大部分模擬資料低於觀測數據但已大致具備觀測之日變化週期。觀測資料同化後模擬結果明顯改善。

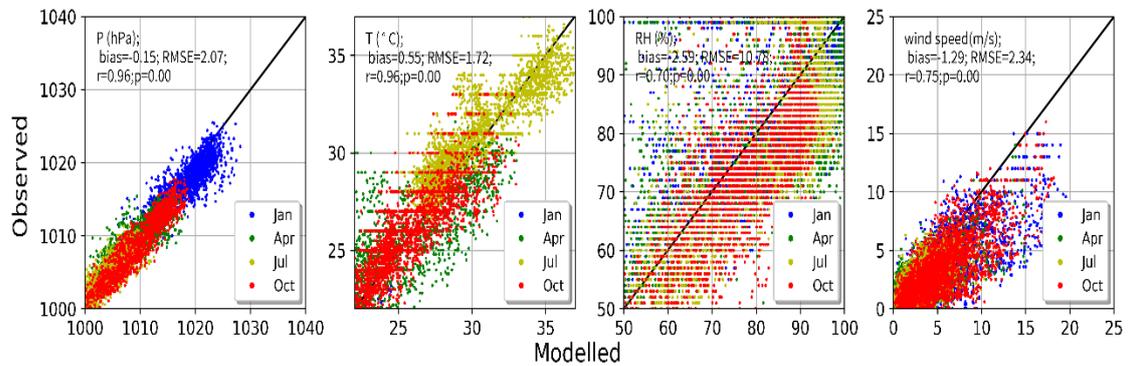


圖 4 觀測資料同化 WRF 模擬與工業區 0.4 度內觀測資料散布圖。氣壓、溫度、相對濕度、與風速在模擬 2014 四季(一月、四月、七月及十月, 1 至 15 日)中無明顯偏差。部分氣象站資料解析度有限, 預計以其鄰近測站資料將其補足。

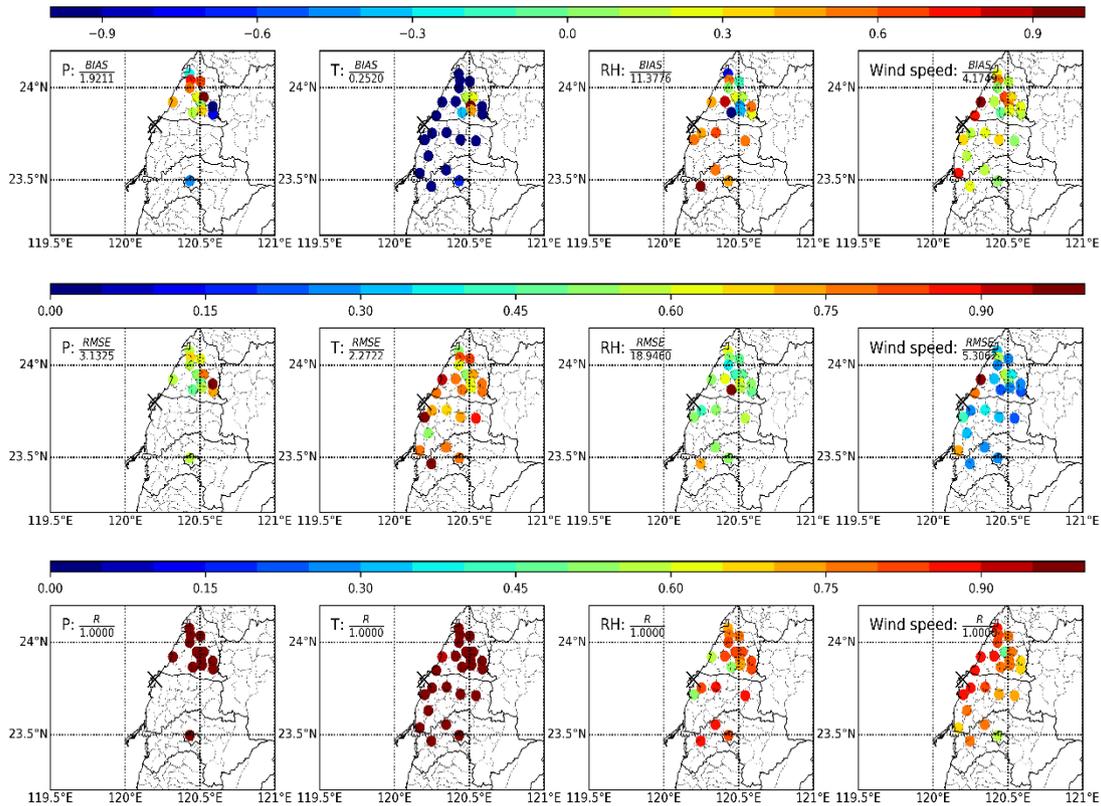


圖 5 觀測資料同化 WRF 模擬與工業區 0.4 度內觀測資料偏差之空間分佈。

四. 預期成效:

發展以離島工業區排放為基礎之環境暴露推估模型，為降低估算的不確定性，依實測數據發展以數學統計方法為基礎，進行空氣污染物(應自行參考可得資料規畫空氣污染物種，但至少須包含以雲林縣環保局監測車所測得物種及雲林縣特殊性工業區測站中國際癌症研究署組織(IARC)所規範 2B 級以上物質，如苯、氯乙烯、1,3-丁二烯、三氯甲烷、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、四氯乙烯等)之空氣擴散模式及多介質模式，及發展推估離島工業區污染排放量之數學統計模型。並模擬工業區附近民眾暴露模與評估健康風險，以模擬暴露濃度並評估健康風險。

五. 文献参考:

1. National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce. (2009), updated daily. NCEP GDAS Satellite Data 2004–continuing. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory.
<http://rda.ucar.edu/datasets/ds735.0/>. Accessed 20171129.
2. National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce. (2008), updated daily. NCEP ADP Global Upper Air and Surface Weather Observations (PREPBUFR format), May 1997 – Continuing. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory.
<http://rda.ucar.edu/datasets/ds337.0/>. Accessed 20171113.
3. OSPAR (2005). "Assessment of trends in atmospheric concentration and deposition of hazardous pollutants to the OSPAR maritime area."
4. Sevinc Ozkul, N. B. H., and Vijay P. Singh, Fellow, ASCE (2000). "Entropy-based Assessment of Water Quality Monitoring Networks." JOURNAL OF HYDROLOGIC 5: 90–100.
5. National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce. (2000), updated daily. NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory.
<https://doi.org/10.5065/D6M043C6>. Accessed 20171111.
6. Noll, K. E., Miller, T. L., Norco, J. E. and Rauffer, R. K., (1997). "An Objective Air Monitoring Site Selection Methodology for Large Point Sources." Atmospheric Environment 11: 1051–1059.
7. Arbeloa, F. J., Perez, C. C. and Latorre, A. P. M., (1993). "Air Quality Monitoring: Optimization of A Network Around A Hypothetical Potash Plant in Open Countryside." Atmospheric Environment 27A(5): 729–738.
8. Van Egmond, N. D. a. D. O. (1981). "Objective Analysis of Air Pollution Monitoring Network Data: Spatial Interpolation and Network Density." Atmospheric Environment 15(6): 1035–1046.
9. Hougland, E. S. a. N. T. S. (1976). "Air Pollutant Monitoring

- Siting by Analytical Techniques." J. Air Pollut. Control Assoc., 26(1): 51-53.
10. Dravy, W. P., P. J. Ossenbruggem, and C. J. Gregory, (1973). "Optimization of Urban Air Monitoring Networks." J. Environ. Eng., ASCE, 100(3): 577-589.
 11. USEPA. (2017), CMAQ Decoupled Direct Method in Three Dimensions (CMAQ-DDM-3D).
<https://www.epa.gov/cmaq/cmaq-decoupled-direct-method-three-dimensions-cmaq-ddm-3d>. Accessed 20171211
 12. (2017)行政院環境保護署, 強化空氣品質模式制度建立計畫(第二年). EPA-105 -FA18FA18 -03 -D045 期末報告定稿
 13. (2015)年, 104 年度六輕工業區土壤及地下水污染監測及應變計畫, 環醫工程顧問有限公司
 14. (2012)年, 桃園地區自來水重金屬潛在健康風險評估, 黃冠智
 15. (1997) 謝銘儒. "工業區空氣品質監測站網多目標分析." 國立交通大學環境工程研究所碩士論文.
 16. (1996) 曾國雄, 江勁毅. "空氣污染監測站之最適配置-多目標規劃方法之應用." 中國環境工程學刊 6(2): 99-105.
 17. (1990) 陳淨修, 呂承萱. "空氣品質監測網之規劃及配置準則." 臺灣環境保護 5: 75-87.
 18. 行政院環境保護署-毒管處毒理資料庫
http://flora2.epa.gov.tw/_ToxicWeb/ToxicUC4/database.aspx
 19. 行政院環境保護署-空氣污染排放量查詢系統
https://teds.epa.gov.tw/new_main2-0-1.htm#%E9%BB%9E%E6%BA%90
 20. 行政院環境保護署-毒災防救管理資訊系統毒化物資料--安全資料
http://toxiceric.epa.gov.tw/Chm_/Chm_index.aspx?vp=MSDS
 21. 行政院環境保護署-健康風險評估技術規範
 22. 美國環保署空氣毒物網站
<http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/hapindex.html>
 23. 美國毒性物質及疾病登記署毒物資料庫
<http://www.atsdr.cdc.gov/substances/index.asp>
 24. 美國勞動部規範
https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/toc/chmn_A.html
 25. 美國環保署整合風險系統(U.S EPA IRIS)
<http://www2.epa.gov/iris>
 26. 化學品分類及標示全球調和制度(GHS)
<http://ghs.osha.gov.tw/CHT/intro/search.aspx?cssid=3>
 27. 化學物質安全國際計畫(IPCS)