

空氣品質模式在防災預警之應用

黃麗蓉、林冠伶、林欣弘、陳淡容、黃柏誠、于宜強

國家災害防救科技中心 氣象組

摘要

國家災害防救科技中心為建構懸浮微粒物質災害的預警技術，建置 CMAQ(Community Multiscale Air Quality Model)空氣品質作業化模式與 HYSPLIT(Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectories Model)大氣擴散模式。分析 2022 年高污染事件的模擬結果顯示，CMAQ 模式對東亞與臺灣地區空氣污染物質的影響範圍與隨時間的變化趨勢有良好的模擬能力。而 HYSPLIT 大氣擴散模式，則可掌握突發事件污染物的軌跡與影響範圍。CMAQ 作業化模式的相關成果已上線於「天氣與氣候監測網」，提供使用者參考使用。其他如模式的建置與高污染事件的應用分析也於文章中進行說明與討論。

一、前言

臺灣地區在每年的秋季到隔年的春季是空氣品質問題較為嚴重的時間。由於受到不同天氣系統的影響，當東北季風增強時，可能將境外污染物帶進臺灣地區。當冷高壓出海時，臺灣地區風場轉為偏東風，西半部地區處於背風面，污染物則容易累積，進而影響空氣品質。同時，災害防救法中的災害項目亦包含了懸浮微粒物質災害，國家災害防救科技中心(以下簡稱災防科技中心)為建構面對此類型災害事件時的預警技術，透過 CMAQ(Community Multiscale Air Quality Model) 空氣品質模式作業化與 HYSPLIT(Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectories Model)大氣擴散模式的建置與應用，強化空氣品質預警資訊的提供。

災防科技中心自 2021 年下半年起，與中央大學大氣系多維空氣品質模擬實驗室團隊合作，引進 CMAQ 空氣品質模式，並結合災防科技中心之系集預報系統，建立 CMAQ 作業化模式，提供每日空氣品質污染物預報資訊。2022 年進一步引進 HYSPLIT 大氣擴散模式，利用其軌跡與濃度擴散模組，掌握突發事件可能對周遭地區造成的空氣品質影響。期望藉由 CMAQ 空氣品質模式與 HYSPLIT 大氣擴散模式的建置與應用，深化空氣品質預報知識，並強化細懸浮微粒物質災害之防救因應策略。

二、 CMAQ 空氣品質模式

CMAQ 空氣品質模式為美國環境保護署 (United States Environmental Protection Agency，簡稱 EPA) 所開發的空氣品質預報模式。此模式結合了大氣熱動力過程、大氣物理化學反應過程，並藉由分散式計算與開源框架的各種知識，來模擬多重的空氣品質問題，如懸浮微粒、對流層臭氧污染、有毒物質、酸沉降等。CMAQ 模式架構如圖 1，主要可分為氣象、化學與後處理三大部分。

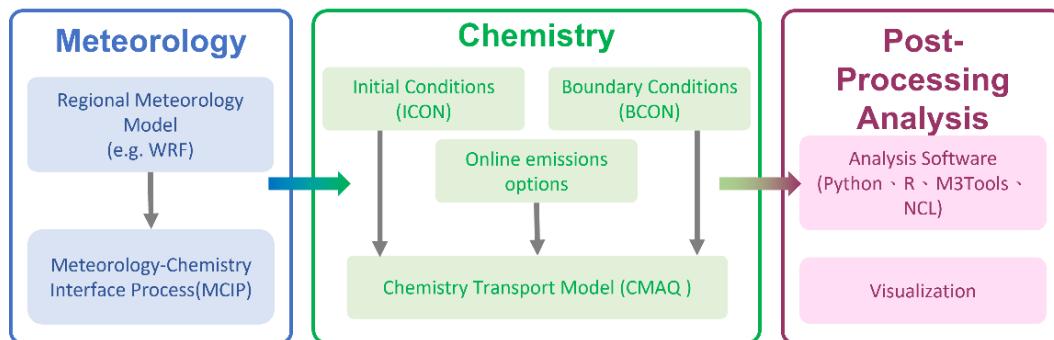


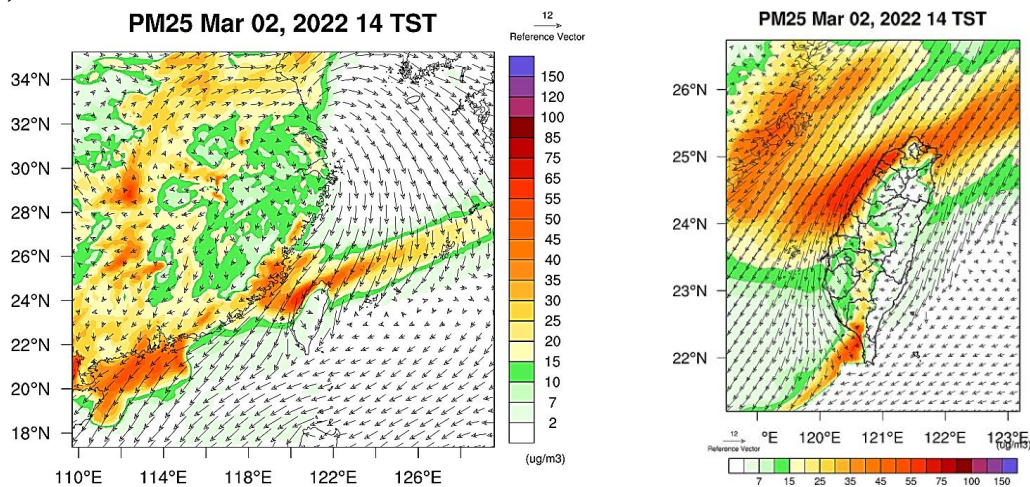
圖 1、CMAQ 模式架構圖

在氣象部分，CMAQ 空氣品質模式需要藉由氣象模式提供化學機制所需要的氣象資訊，進而推估污染物濃度與分布可能的變化。我們以災防科技中心的系集成員 N01 作為氣象場來源，其為三層巢狀網格，水平解析度分別為 45、15、5 公里，每 6 小時進行一次模擬。CMAQ 模式取內兩層網格資料進行模擬，所需資料為溫度、濕度、風場、邊界層高度等，第一層網格範圍包含東亞地區，第二層網格為臺灣地區，進行 72 小時之模擬。除氣象資訊之外，亦須利用化學模式，

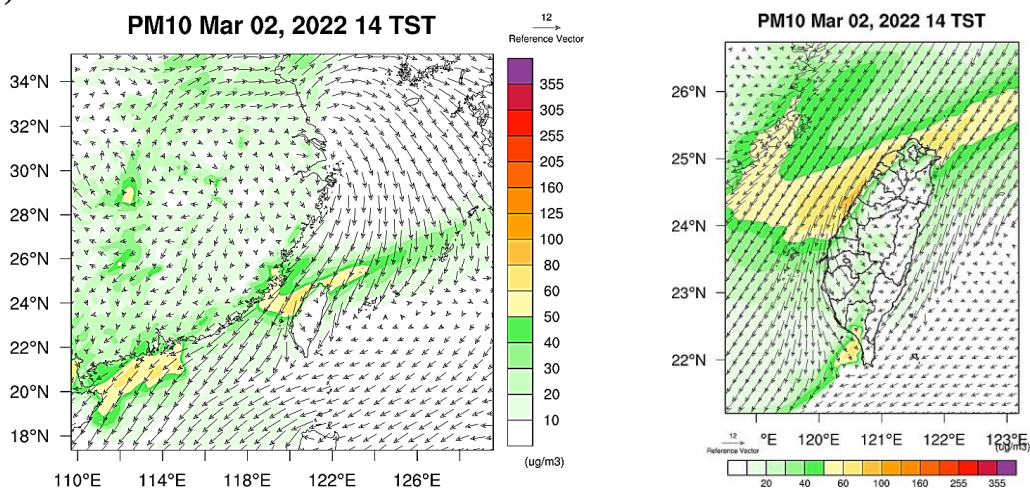
將擬真的空氣污染排放源資料，納入模式之中，以進行空氣品質模擬。

中央大學團隊利用自行建立的空氣污染排放系統，每日即時提供污染排放源資料，包含點源、線源與面源。點源為固定污染源，如工廠煙囪、電廠、學校；線源為移動污染源，如交通汽機車排放；面源則是除了點、線及生物源之外的所有其他污染源。其臺灣地區人為污染排放源是使用行政院環保署所公布之臺灣排放清單第 10 版，東亞地區排放源使用 2010 Model Inter-Comparison Study for Asia (MICS-Asia) 所提供之人為排放清單，生物排放源則使用模式中之 MEGAN 系統進行處理。災防科技中心的 CMAQ 空氣品質作業化模式自 2022 年 1 月起正式上線服務，每 6 小時即更新於「天氣與氣候監測網」空氣品質模擬頁面。提供未來 72 小時每小時之細懸浮微粒(PM_{2.5})、懸浮微粒(PM₁₀)、臭氧(O₃)、二氧化硫(SO₂)、氮氧化物(NO_x)、一氧化碳(CO)等污染物濃度分布資訊(圖 2)。

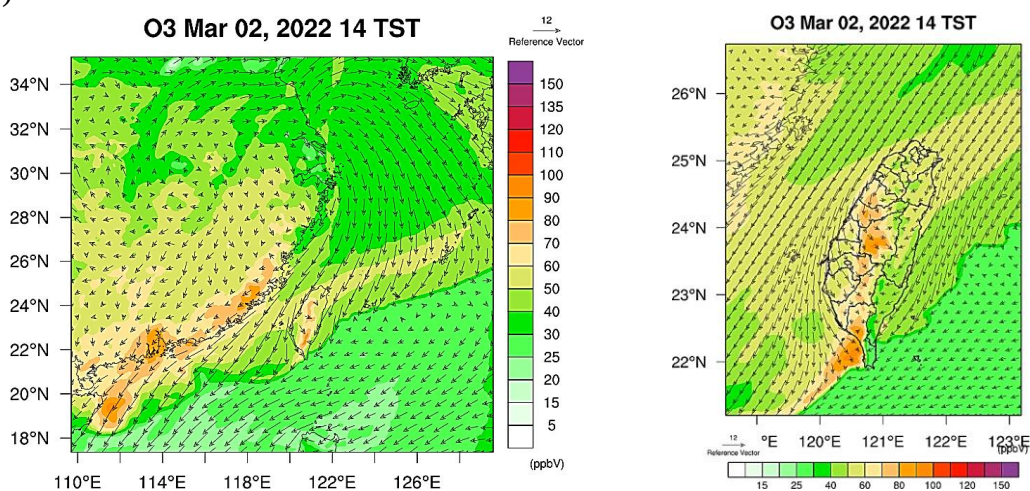
(a)



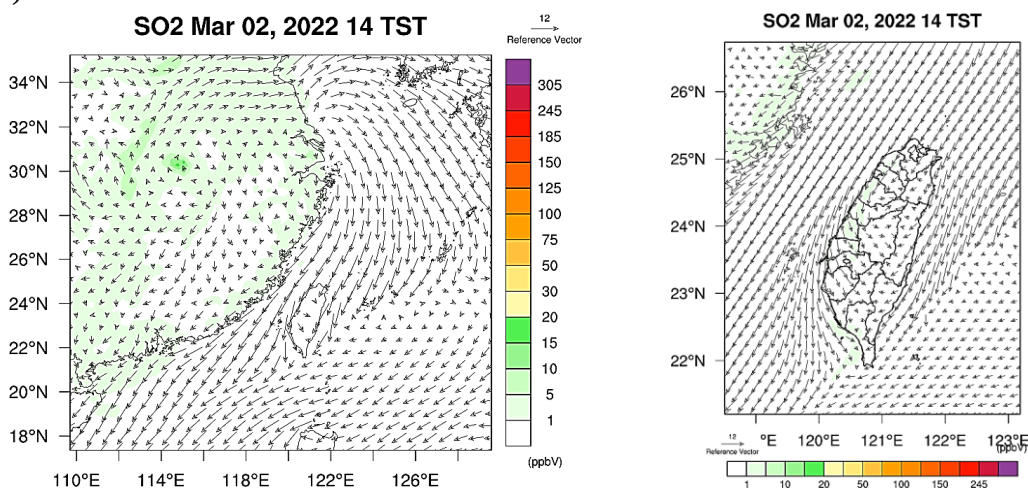
(b)



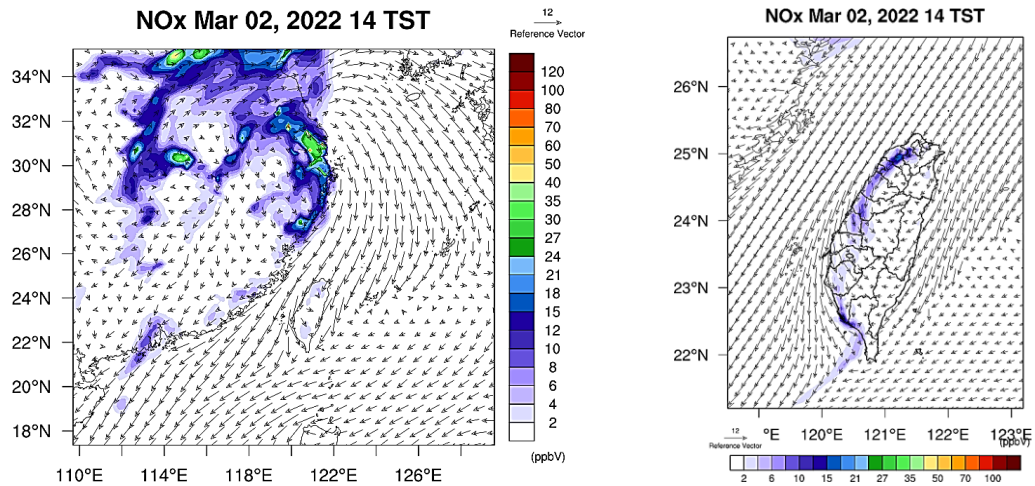
(c)



(d)



(e)



(f)

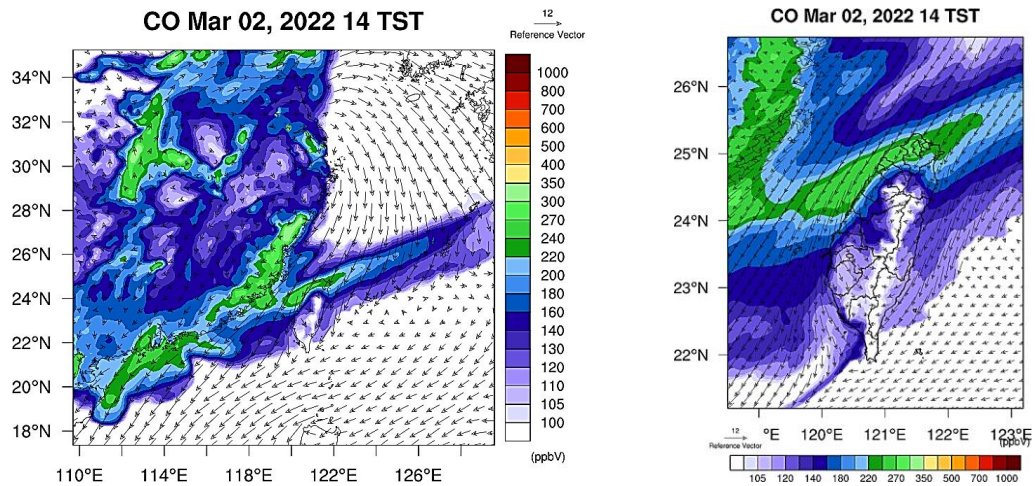


圖 2、CMAQ 模擬 2022 年 3 月 2 日 14 時，15 公里(左)與 5 公里(右)網格之(a)PM_{2.5}，(b)PM₁₀，(c)O₃，(d)SO₂，(e)NO_x，(f)CO 濃度分布圖。

我們以 2022 年 3 月初境外移入的高污染事件為例，2022 年 3 月 2 日，由於微弱鋒面通過(圖 3)，境外細懸浮微粒污染物隨東北季風南下，造成臺灣地區 PM_{2.5} 濃度升高。圖 4 為 2022 年 3 月 2 日 14 時 - 3 日 8 時，每隔 6 小時之 CMAQ 模擬 PM_{2.5} 濃度分布圖，圖中圓圈為環保署空品測站之 PM_{2.5} 濃度監測值。圖中顯示，由於境外細懸浮微

粒南下，臺灣西半部地區 $PM_{2.5}$ 的濃度逐漸升高，並隨著時間累積於中南部下風處地區。圖 4 的結果顯示，CMAQ 模式雖然低估此事件中中部以北之 $PM_{2.5}$ 濃度，但從測站之 $PM_{2.5}$ 濃度時間序列顯示(圖 5)，CMAQ 模式可掌握其隨時間變化之趨勢。

災防科技中心建置作業化的 CMAQ 空氣品質模式，定時模擬空氣污染物質影響資訊，以強化空氣品質預警資訊的提供。而透過分析 CMAQ 模式的模擬結果，加深對空氣品質預報知識的了解，進而增進面對此類型災害事件時的應變能力。

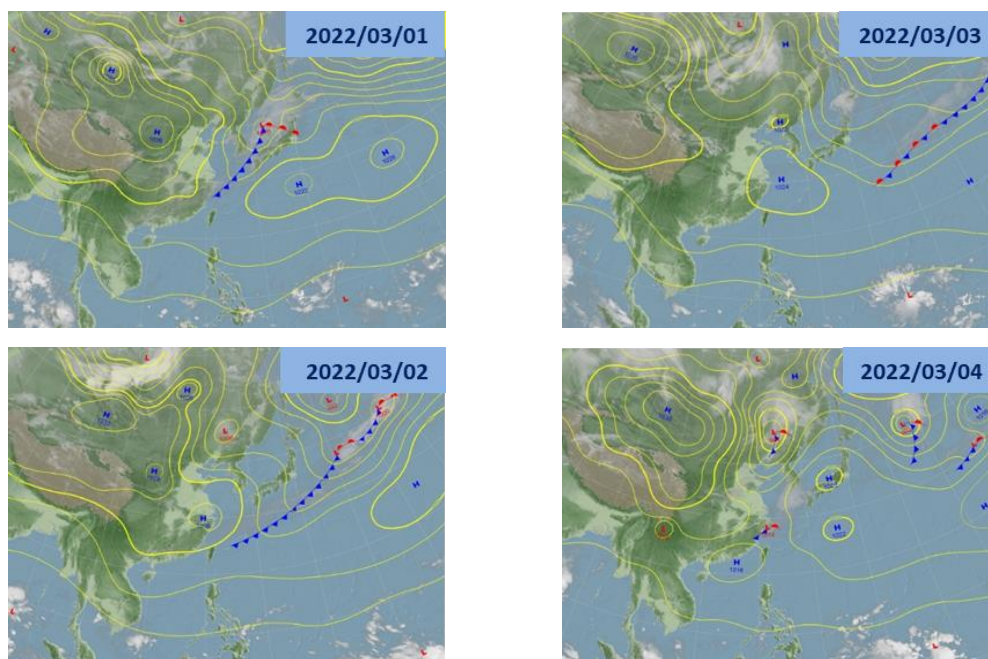
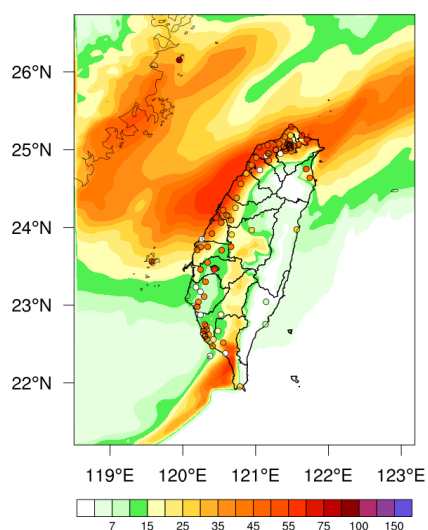
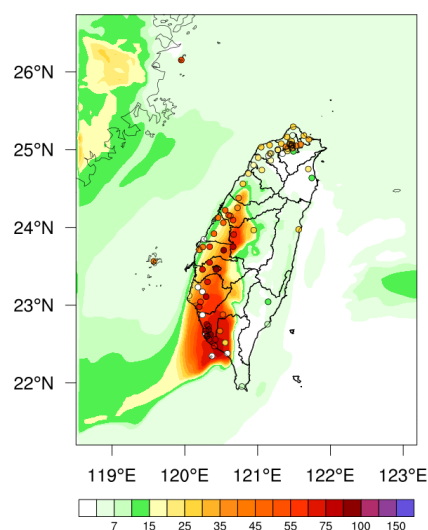


圖 3、2022 年 3 月 1 日-4 日中央氣象局地面天氣圖，皆為 00UTC。

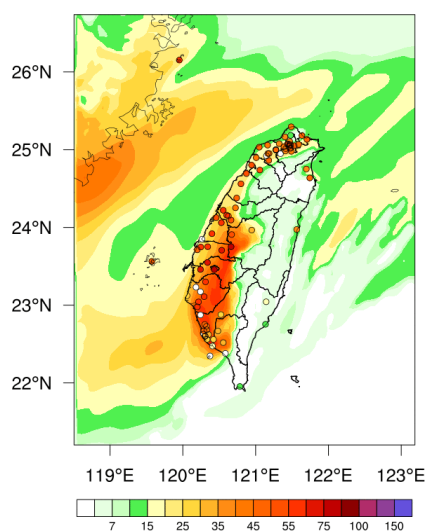
(a) 2022030214TST



(c) 2022030302TST



(b) 2022030220TST



(d) 2022030308TST

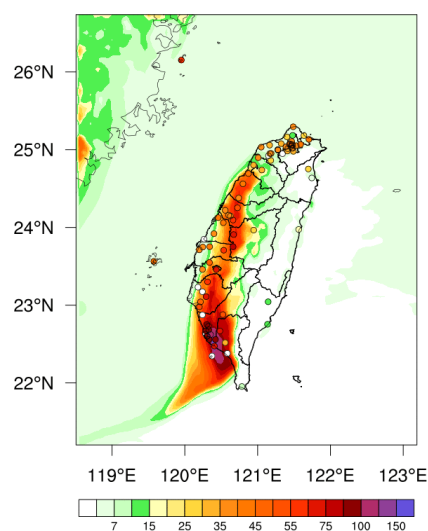


圖 4、2022 年 3 月(a)2 日 14 時，(b)2 日 20 時，(c)3 日 2 時，(d)4 日 8 時 CMAQ 模擬之 $PM_{2.5}$ 濃度分布圖，圖中圓圈為環保署空品站 $PM_{2.5}$ 監測濃度。

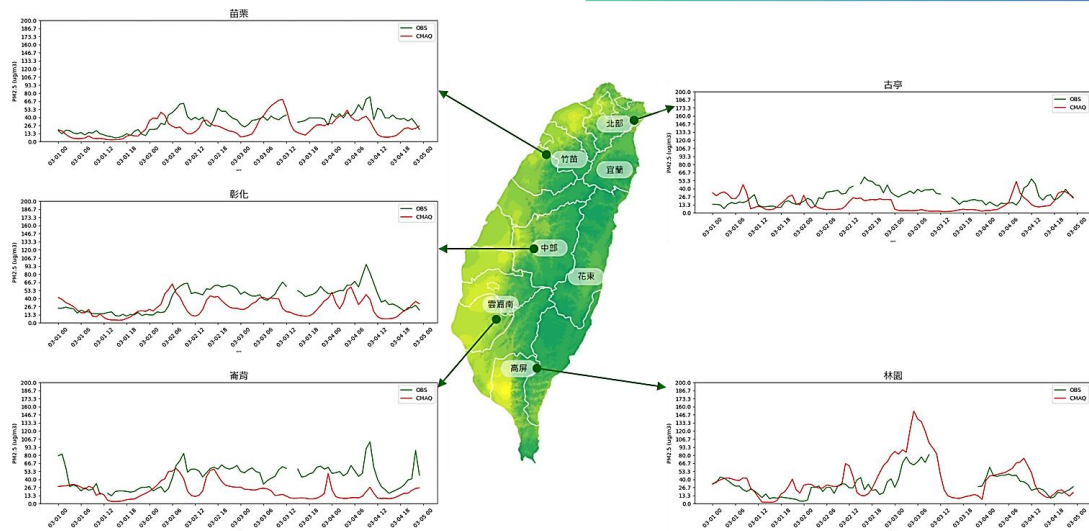


圖 5、2022 年 3 月 1 日- 4 日古亭、苗栗、彰化、崙背及林園測站之觀測(綠色線)與 CMAQ 模擬(紅色線)PM_{2.5} 濃度時間序列。

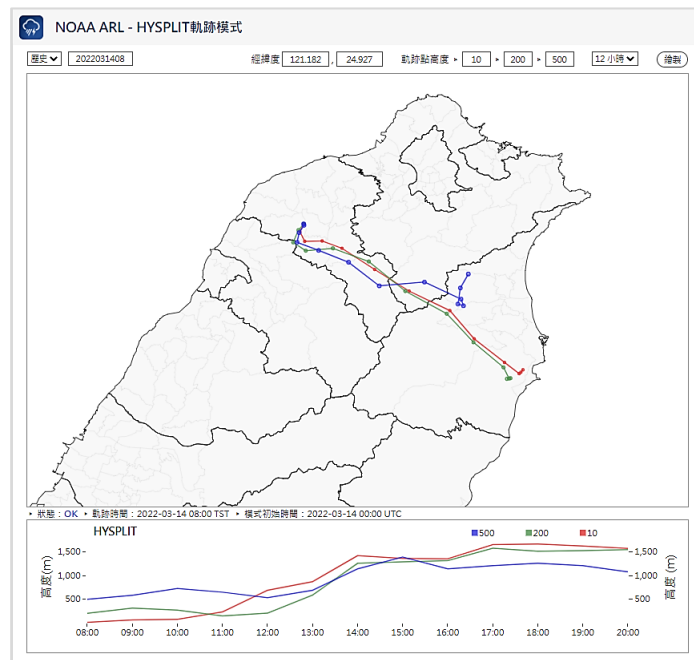
三、 HYSPLIT 大氣擴散模式

HYSPLIT((Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory))是由美國國家海洋與大氣管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)的空氣資源實驗室(Air Resources Laboratory, ARL)及澳洲氣象局共同開發的大氣擴散模式，是一個從簡單的氣塊軌跡到複雜的污染物擴散及沉降模擬的完整模式系統，且可使用多種氣象場資料來運算。災防科技中心引進 HYSPLIT 大氣擴散模式，配合已上線作業的 CMAQ 空氣品質模式，可讓空污預警的資訊更完整。

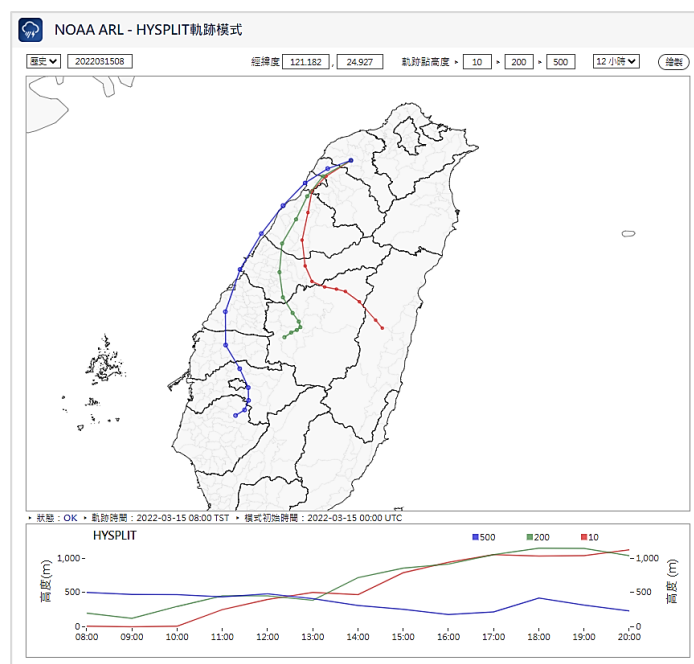
在 HYSPLIT 模式軌跡模組計算軌跡的過程中，運動方向是由風場平流所決定，因此每一條軌跡即反應了當時氣流的狀態。2022 年 3 月 14 日桃園市楊梅家樂福倉儲發生火災，漫天濃煙造成附近地區空

氣品質嚴重不良，位於其下風處的仁美國中也因此停課三天。本研究利用 HYSPLIT 軌跡模組進行計算，以了解此事件造成的細懸浮微粒之可能軌跡，HYSPLIT 所需之氣象資料同樣使用災防科技中心系集模式成員 N01 的 15 公里網格預報結果，並由 10、200 及 500 公尺三個不同高度進行 12 小時的軌跡計算。圖 6 為不同初始時間計算的軌跡圖，圖中上半部為三個軌跡的水平移動方向，下半部則為軌跡垂直移動隨時間的變化。圖 6 的結果顯示，火災發生時(圖 6a)，三個不同高度的氣流方向皆為往火災發生點的東南方移動，穿越山脈進入宜蘭地區距地面約 1500 公尺處。直到 3 月 16 日晚上(圖 6c)火災發生點的軌跡轉為往北離開臺灣陸地進入海面，該地區的空氣品質也逐漸好轉。

(a) Initial:2022031400UTC



(b) Initial:2022031500UTC



(c) Initial:2022031612UTC

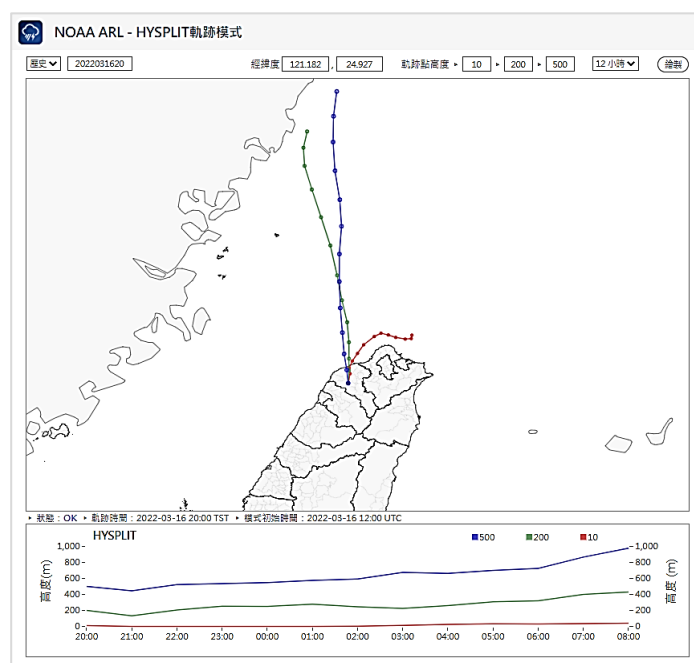
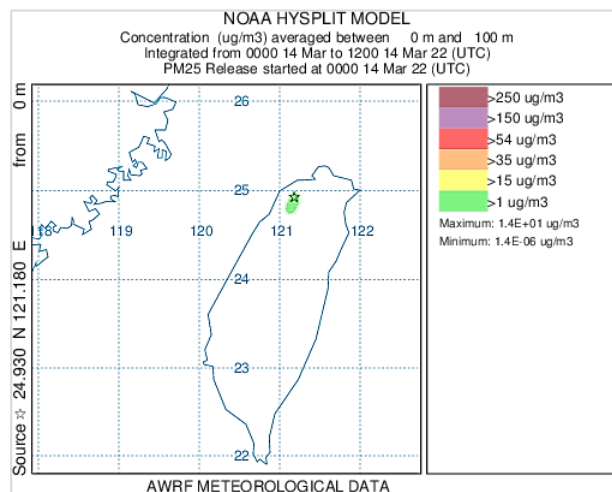


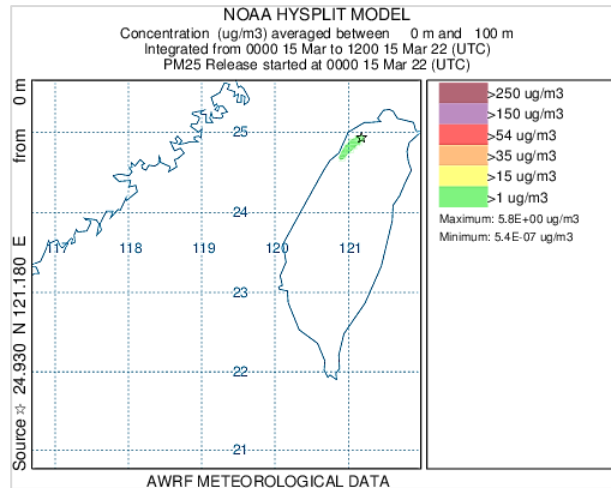
圖 6、HYSPLIT 計算楊梅家樂福倉儲火災 $PM_{2.5}$ 於高度 10(紅色)、200(綠色)及 500(藍色)公尺軌跡，模式初始時間分別為 2022 年 3 月 (a)14 日 00UTC，(b)15 日 00UTC，(c) 16 日 12UTC。

除軌跡模組外，亦可利用 HYSPLIT 之大氣擴散模組，探討污染物濃度擴散造成的可能影響。同樣以 2022 年 3 月 14 日楊梅家樂福倉儲火災為例，此事件燃燒面積約 2.6 萬坪，以露天燃燒稻草面積產生之 PM_{2.5} 排放量推算，此事件造成之 PM_{2.5} 可能排放量約 329.47 公斤，利用 HYSPLIT 之大氣擴散模組，進行 12 小時平均 PM_{2.5} 濃度分布計算。圖 7 為不同初始時間計算的濃度分布圖，結果顯示，濃度擴散分布的方向與軌跡計算的結果(圖 6)一致。此外，環保署於 3 月 15 日下午 3 時針對桃園地區發布空氣品質紫色警報，但由於排放量為推估，HYSPLIT 推估之濃度值較實際觀測低估(圖 7b)。若在事件發生時有較準確的排放量數值，配合當時的氣象預報結果，將可得到與實際較為接近的濃度分布，提供防災人員該突發事件可能造成之空氣品質影響資訊。

(a) Initial:2022031400UTC



(b) Initial:2022031500UTC



(c) Initial:2022031612UTC

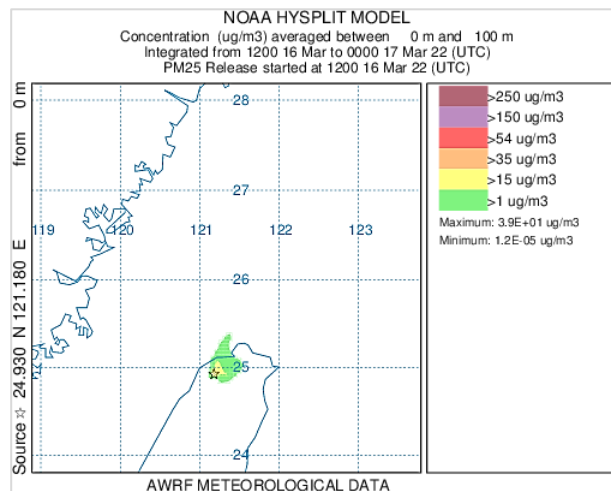


圖 7、HYSPLIT 計算楊梅家樂福倉儲火災 PM_{2.5} 12 小時平均濃度分布，星號為火災事件發生位置，模式初始時間分別為 2022 年 3 月(a)14 日 00UTC，(b)15 日 00UTC，(c) 16 日 12UTC。

四、 總結

CMAQ 與 HYSPLIT 模式的模擬結果顯示，CMAQ 模式可合理模擬東亞及臺灣地區，空氣品質污染物質的影響範圍與隨時間的變化趨

勢，而利用 HYSPLIT 大氣擴散模式，則可有效掌握局地突發事件的污染物質軌跡與影響範圍。

災防科技中心為強化對空氣品質災害之防救因應策略，建置 CMAQ 空氣品質模式，並完成作業化服務，產品圖資展示於「天氣與氣候監測網」，提供使用者參考使用。此外，進一步利用 HYSPLIT 大氣擴散模式建置空氣污染物質軌跡與擴散推估模組，評估局地突發空污事件可能造成的影響，強化對空污事件的預警能力。

參考文獻

- 1、Cheng, F.-Y. and C.-H. Hsu, (2019) Long-term variations in PM2.5 concentrations under changing meteorological conditions in Taiwan. Scientific Reports 9, 6635.
- 2、Cheng, F.-Y., Feng, C.-Y., Yang, Z.-M., Hsu, C.-H., Chan, K.-W., Lee, C.-Y., Chang, S.-C., (2021) Evaluation of real-time PM2.5 forecasts with the WRF-CMAQ modeling system and weather-pattern-dependent bias Atmospheric Environment. Atmospheric Environment, 244, 117909.
- 3、Stein, A. F., Draxler, R. R., Rolph, G. D., Stunder, B. J. B., Cohen, M. D., and Ngan, F. (2015). NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System, Bulletin of the American Meteorological Society, 96(12), 2059-2077.
- 4、TEDS-10.0, (2016) Taiwan Emission Data System Version 10.0. Environmental Protection Administration, Taipei, Taiwan, Republic of China.
- 5、United States Environmental Protection Agency. (2018). CMAQ (Version 5.2.1) [Software]. Available from <https://doi.org/10.5281/zenodo.1212601>