

空氣污染源解析模式 之發展與應用

文・圖／廖合堂、吳章甫

談到空氣污染，就不得不提一下1952年12月發生的「倫敦霧霾事件（London smog of 1952）」，這起英國史上最嚴重的空氣污染事件，造成了上千人死亡，十數萬人引發呼吸道疾病。主要原因是工業革命以後，燃煤的大量使用加上不利於擴散的氣象條件，使得空氣污染物（主要是硫氧化物）濃度嚴重超標。這起著名的空污事件不但成了課堂上的示範教材，也影響了各國空氣污染防治法規的修訂。

然而即使有這些法規存在，空氣污染仍持續影響群眾之健康。經過長期的研究，世界衛生組織的癌症研究中心（International Agency for Research on Cancer, IARC）已經將室外空氣污染歸類為「Group 1：經確證會引起人類癌症者（carcinogenic to humans）」。相關研究亦指出長期暴露於低濃度的空氣污染，仍舊對健康會有相當大的危害。

我國環保署於1993年9月設置完成空氣品質監測網，持續監控全國之空氣污染物包含臭氧（ O_3 ）、細懸浮微粒（ $PM_{2.5}$ ）、懸浮微粒（ PM_{10} ）、一氧化碳（CO）、二氧化硫（ SO_2 ）及二氧化氮（ NO_2 ）之濃度分布及長期趨勢。後續又設置光化學評估監測站（Photochemical Assessment Monitoring Stations, PAMS），針對臭氧前趨物中數十種揮發性有機化合物（volatile organic compounds, VOCs）進行監測，以瞭解高臭氧形成機制。並以此為依據，擬定及推動各項空氣污染防治措施。

但是隨著社會的發展，空氣污染物的來源與組成也越趨複雜。為了降低民眾暴露於空氣污染物，需要發展比過去更加有效之控制策略。因此釐清污染物來源並定量其對空氣污染及健康風險之貢獻程度也成為當前持續需關注的議題。

由於大氣環境是一個複雜的系統，為了簡化問題的複雜度，遂帶動了各種數學統計模式的發展與應用。不同的模式之間各有其優勢及限制，因此這裡並不加以比較，僅簡單介紹我們實驗室常使用之模式。

土地利用迴歸模式

傳統以環保署空氣品質測站監測值代表暴露值之作法有其限制，無法考慮到空間變異性，對於距離測站較遠之民眾可能會錯估暴露值。近年來，地理空間資訊在流行病學研究上的應用日益廣泛。特別是地理資訊系統（Geographic Information Systems, GIS）的發展更促進了此類型研究的普及。其中，土地利用迴歸（Land Use Regression, LUR）模式，即是利用地理空間資訊（例如：道路長度、土地利用類別與面積等）與空氣污染物濃度建立關



係式。一方面可以瞭解各個土地利用變項對空氣污染物濃度的貢獻量，另一方面也可利用此關係式推估距離測站較遠之地區的濃度值。我們即曾經利用空氣品質測站的資料建立土地利用迴歸模式，並用以推估臺北都會區居民的 NO_2 和 $\text{PM}_{2.5}$ 個人暴露量，而後評估個人暴露量與急性心血管效應之間的關係。另一方面，在北、高兩地使用家戶採樣資料建立的土地利用迴歸模式也發現 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度具有明顯的垂直差異，大致趨勢為低樓層暴露濃度會大於中與高樓層之暴露，但差異大小仍會受氣象條件與各地點環境特性影響。

受體模式

所謂受體（receptor）可以簡略解釋為承受污染物的個體，而此個體可以是一個人、一個地點甚或是一個城市，端看研究目的與設計而定。以受體為基礎的污染源解析模式（receptor-based source apportionment models），簡稱受體模式（receptor models），是以質量平衡方程式（mass balance equations）為核心，利用受體點採樣監測所得到的各類化學物質種類與濃度資料，回推污染源特徵與貢獻量。我們實驗室即曾以受體模式之化學質量平衡法（Chemical Mass Balance, CMB），推估臺北都會

區空氣中的戴奧辛濃度主要來源為交通排放。我們也曾於臺灣北部及中部地區分別收集PM_{2.5}成分資料，搭配光化學評估監測站VOCs監測數據，以正矩陣因子法（Positive Matrix Factorization, PMF）解析研究地區污染物來源與評估其貢獻量。

放諸四海而皆準

正因為模式具有簡化問題的特性，在求解的過程中只能盡可能地逼近真值。然而在真值未知的狀況下，模式的運用必須格外謹慎，以免偏離真值而不自知。我們建立土地利用迴歸模式時主要參考歐洲空氣污染世代研究計畫（European Study of Cohorts for Air Pollution Effects, ESCAPE）所訂定之規範，透過詳盡的指引可以降低人為或主觀意識造成的偏差。受體模式則是參考已發表文獻及美國環保署針對其開發之受體模式應用軟體之操作指引。臺灣對受體模式之應用自CMB開始已有十數年以上經驗，然而過去受體模式並未有國際間共通的技術指南，直到2014年歐洲地區才發布一份公開的受體模式指引“European Guide on Air Pollution Source Apportionment with Receptor Models”。為了強化各個研究間模式運用與結果判讀的一致性，我們也透過舉行論壇的方式邀請國內外相關之專家學者參與座談並蒐集回饋意見，以促使政府研訂確實可行的受體模式使用指南。如此一來，在控制策略的擬定上將更為有效且具備其法源依據。

結語

空氣污染是道複雜的難題，我們致力於模式的發展與運用正是為了化繁為簡，讓這道難題變得易解。在此同時，也需要凝聚各界的共識與通力合作，不要為了短暫的利益犧牲了長遠的環境與健康。（本專題策畫／公共衛生學系張靜文教授）

參考資料：

- [1] 環境保護署，空氣品質監測網（<https://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/default.aspx>）。
- [2] 衛生福利部國民健康署，細懸浮微粒（PM_{2.5}）之健康自我保護專區(<https://www.hpa.gov.tw/Pages/List.aspx?nodeid=441>)。
- [3] Wu, C.F., Lin, H.I., Ho, C.C., Yang, T.H., Chen, C.C., Chan, C.C. 2014 “Modeling Horizontal

and Vertical Variation in Intraurban Exposure to PM_{2.5} Concentrations and Compositions”
Environmental Research, 133, 96-102.

[4] Ho, C.C., Chan, C.C., Chio, C.P., Lai, Y.C., Chang-Chien, G.P., Chow, J.C., Watson, J.G., Chen, L.-W.A., Chen, P.C., Wu, C.F. 2016 "Source Apportionment of Mass Concentration and Inhalation Risk with Long-Term Ambient PCDD/Fs Measurements in an Urban Area" Journal of Hazardous Materials; 317: 180-187.

[5] Liao, H.T., Yau, Y.C., Huang, C.S., Chow, J.C., Watson, J.G., Chou, C.C.K., Wu, C.F. 2017 "Source Apportionment of Urban Air Pollutants Using Constrained Receptor Models with a Priori Profile Information" Environmental Pollution, 227, 323-333.



廖合堂小檔案

國立臺灣大學公共衛生學院職業醫學與工業衛生研究所博士後研究員。國立臺灣大學公共衛生學博士，研究領域為空氣污染與暴露評估。曾獲臺大公共衛生學院傑出畢業生、研究生優秀論文獎、中華民國斐陶斐榮譽學會榮譽會員以及美國 Air & Waste Management Association 博士論文獎。化學系出身的理科人最後投入公共衛生研究，以基礎學科的背景持續在公衛的領域深耕經營。

吳章甫小檔案

吳章甫教授畢業於臺灣大學公共衛生學系，並於美國西雅圖華盛頓大學環境衛生系取得碩士與博士學位。2004 年回國於母系任教，並合聘於環境衛生研究所，以及職業醫學與工業衛生研究所。他的研究領域主要為空氣品質暨暴露評估模式與光學遙測技術。2017 年 7 月起接任公共衛生學系系主任並兼任公共衛生學院副院長。