

空污事件管理決策支援系統之建立與測試

以台灣臺中市工業區異味陳情為例

江舟峰¹、蔡清讚²、余雅芳³、葉嘉宏³、鄭榕真³、蔡經綸³

¹ 中國醫藥大學風險管理學系，臺中市

² 中國醫藥大學公共衛生學系，臺中市

³ 中國醫藥大學風險分析中心，臺中市

摘要 環境科技技術日新月異，但是異味事件的管理仍有相當困難，主要是因為異味陳情係根據該地區民眾短期之感官認知，而管道排放之異味分子係以儀器檢測，加上巡查與陳情時間甚難同步。有鑑於此，本研究建立一套網路版「空污事件管理決策支援系統」，開發之工具模組包括：異味陳情資料庫、重點點源資料庫、異味閾值資料庫、區域氣象資料庫、當地氣象資料庫、全台解析地形資料庫、ISCST3擴散模擬模組/操作介面、風險指標模組/操作介面、風花圖/操作介面、風險地圖/操作介面等。以visual.basic.net 程式語言撰寫，資料庫以SQL Server 撰寫，操作介面以Graphical user interface (GUI)友善操作方式，配合Arc GIS動態圖台呈現陳情點位。本研究以台灣臺中市2011年異味陳情事件為例，測試本系統各項工具模組。首先以頻率分析探討空間及時間發生潛勢(Potential)，進而選擇某一陳情日，繪製風花圖，研判異味源，據以作為ISCST3模擬情境，演算日均異味風險指標，繪製等異味風險圖，撰寫風險溝通表單等。案例測試結果實證本系統具有友善操作、即時演算、良好潛勢與風險預測能力，值得各界採用。

關鍵字：決策支援系統、異味潛勢分析、事件模擬、異味風險地圖

1. 前言

台灣臺中市某工業區自1973年開發迄今，進駐營運廠家高達900多家，行業類別多達20餘種，雖造就經濟發展，但也造成異味問題，尤其是工業區北邊為某大學校園，異味事件成為臺中市陳情事件之首，一直是學生與附近居民關切的重要環境問題。本研究有鑑於此，乃嘗試開發一套網路版「空污事件管理決策支援系統」。該系統以visual basic.net 程式語言撰寫，資料庫以SQL Server 撰寫，可即時上載各項監測資料，根據命題需求，自動執行各項統計分析，輸出圖表，做為即時決策支援之參考（江，2011；江及蔡，2013）。

本系統包括多種資料庫、查詢演算介面、擴散模擬模組、風花圖、異味風險地圖等，期能協助臺中市環保局於異味事件發生時，即時回應，派遣稽查人員儘速到現場採樣蒐證，亦能根據當時風向風速，以ISCST3異味事件模擬(Event modeling)方式，追蹤可能污染源。本研究進一步研擬一

套異味陳情事件潛勢分析程序，以2010~2012等三年陳情資料為例，測試陳情事件之時間與空間潛勢分析 (Potential analysis)能力，並自2011年陳情資料中，挑選若干主要事件，測試本系統之異味事件預測能力，期能藉此即時追蹤污染源，解決多年來之異味陳情問題。

2. 研究方法

2.1 事件分析流程

本研究研擬一套陳情事件分析流程，如圖1所示。首先經由陳情點位年頻率分析 (Frequency analysis)，獲得每年之年十大陳情點位，再針對此年十大陳情點位之事件，進行時間及空間的分析。於陳情地點方面，依照陳情點位密集度及屬性，建立若干陳情區塊，再分析各區塊之陳情頻率百分比；於陳情時間方面，由年十大陳情點位月頻率分析，獲得最頻陳情月份或季節，及發生於該月份或季節之主要陳情點，再經由風花圖分析 (Windrose analysis)，得到低風速及最頻風向，藉此推論疑似異味源所在之範圍。

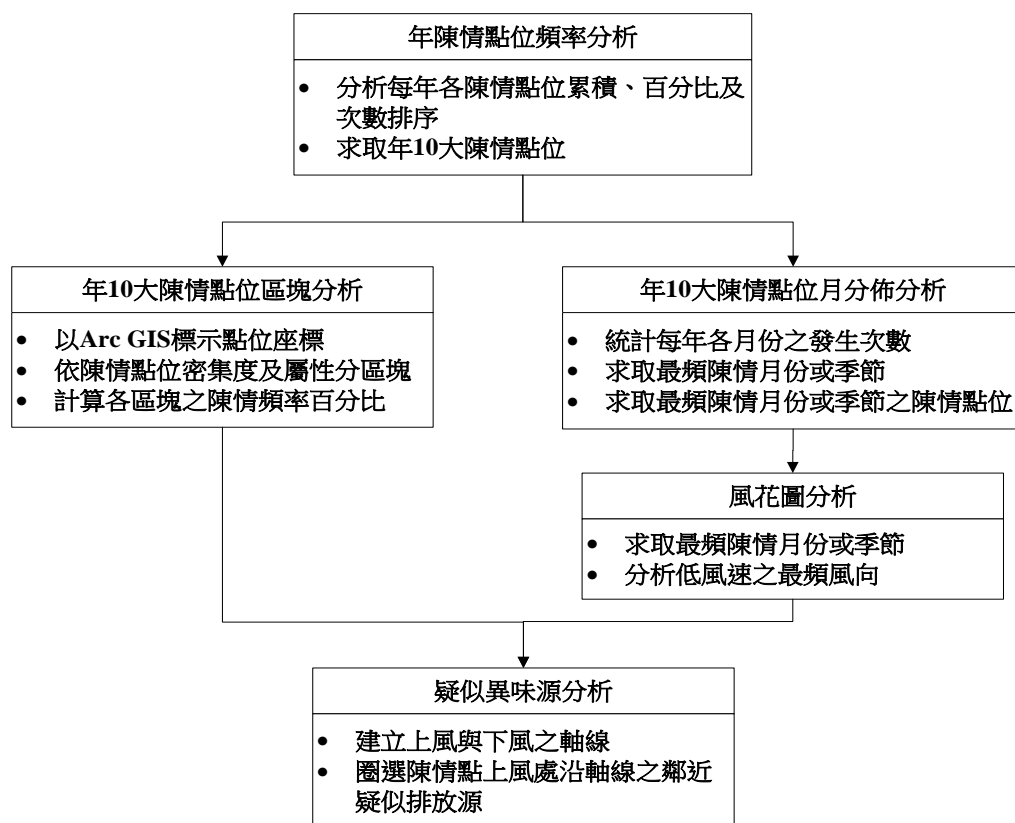


圖 1. 異味陳情事件分析流程圖

2.2 異味事件模擬

本研究採用國際間廣為接受之多點源高斯擴散模式 Industrial Source Complex Short Term 3 (ISCST3)，以逐時氣象資料，模擬異味事件發生日之時均值 (Hourly average)，再參考 Ranzato 等人 (2012)之時峰係數 (Hourly peak factor)，換算時均值為時峰值。當事件發生時，為利於快速決策，本研究以 visual basic.net 程式語言撰寫，並輔以 Graphical user interface (GUI)友善操作介面，納入參數包括：基地名稱、模擬中心點位置、網格大小、區域氣象站、當地氣象站、氣象年期、異味物種、管道編號、排放量 (Emission rate)等，經點選輸入條件後，該模組即可以自動方式 (Auto-ISC3)，抽取該次模擬所需資料，組合模擬所需各項輸入檔。另以 SQL Server 建立關聯資料庫，透過介面友善操作視窗選單方式，與系統所需參數檔案連結，依據模擬所需條件產生 Task.txt 檔，自動演算異味物種擴散濃度，操作流程如圖 2，略述如下：

1. 挑選擬模擬事件，輸入事件日期，進行當日連續 24 小時之逐時模擬。
2. 針對疑似異味源，查詢本系統之「重點點源資料庫」之排放管道及排氣條件資料表，得到模擬所需參數：管道 X、Y 座標、管道高度、高程、等效口徑、排氣速度、排氣溫度等，組成輸入檔 LOCATION。
3. 針對疑似異味源，查詢本系統之「污染物排放量資料庫」，得到模擬所需之物種及排放量，考量排放濃度前 5 大物種，組成輸入檔 SRCPARAM。
4. 查詢區域及當地氣象站，即台電東大氣象站及臺中氣象站之逐時氣象資料，組成輸入參數檔 ME。
5. 設定模擬範圍，包含工業區及鄰近大學，3.5 × 3.5 公里，結合台灣環保署 200 公尺解析地形檔，挑選位於模擬範圍內之網格點，再加上年十大陳情點位及該事件之陳情點，組成輸入參數檔 DISCART。

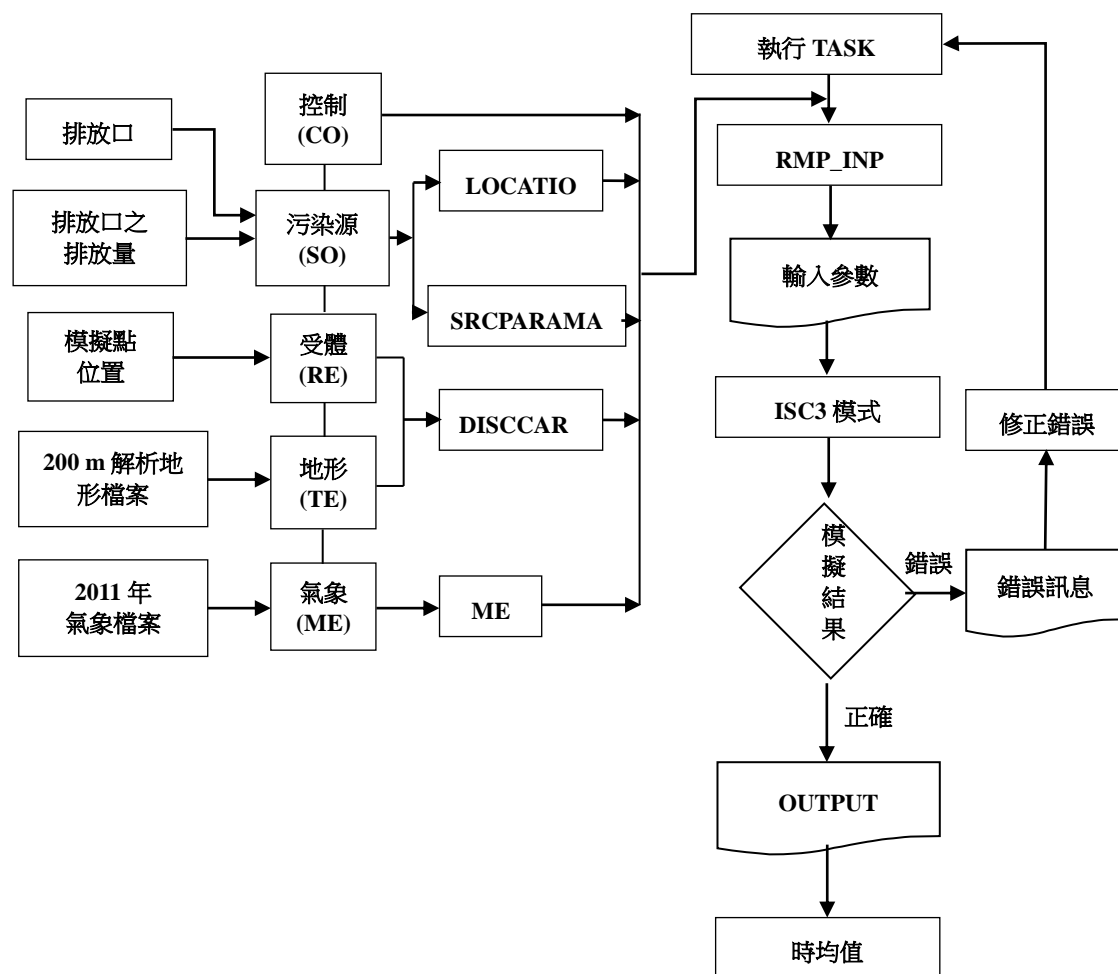


圖 2. Auto-ISC 空污模擬自動抽取組合輸入檔之操作流程圖

2.3 異味閾值分析

經 ISCST3 之事件模擬所得之單一物種之日均值及時均值，將該值除以該物種之異味閾值 (Odor threshold)，即為該物種之異味比值 (Odor unit, OU)，至於某一異味事件之累積 OU，為該事件之各別物種之 OU 加總，或稱異味風險 (Odor risk, OR)，即 $OR = \sum OU = \sum (C/T)$ ，其中，C 為模擬所得之日均或時均濃度，T 為文獻中某物種之異味閾值，若 $OR \geq 1$ ，代表異味事件可能發生。若欲模擬更真實的陳情情境，亦可將時均值轉換為時峰值，再計算時峰值之 OR (Ranzato 等人, 2012)。

2.4 風險地圖與溝通表單

異味風險地圖係以 Arc GIS 之等高線圖工具(Contour)繪製。首先透過本系統取得基本底圖資訊，包含：路網圖、重要地標點位、基地範圍、各採樣點及陳情點坐標後，以各自定義之統一座標系統為基準，完成基本基地底圖之繪製。接著，將模擬結果之加總之 OHI 值，以距離反比權重 (Inversed distance weight, IDW) 予以空間內插，以繪製作異味風險地圖。本研究並繪製：陳情點及最大著地濃度點等二種 OHI 直方圖，套疊於該風險地圖邊角，成為該地圖之次地圖 (Subplot)，以增加該風險地圖之時間趨勢闡述能力 (Lahr & Kooistra, 2010)。

此外，每張風險地圖均會搭配風險特徵與溝通表單，風險溝通表單之格式，參考江等人 (2008) 之格式，分為三大部份：研究主題、前提說明、風險特徵描述 (Risk characterization)，其，第二部份之前提說明包括風險典範架構之前三步驟，即「危害鑑定 (Hazard identification)、劑量反應評估 (Dose response assessment)、暴露評估 (Exposure assessment)」，而第三部份中即為該典範架構第四步驟之「風險特徵描述」，包括：定量描述、定性描述、整合描述，其中，「整合描述」必須以一般民眾可以理解的語言予以闡述 (US National Academy of Science, 1983; 1944)。以利使用者正確判讀，本研究主張溝通表單必須放置於該風險地圖之同一頁下方，不可分別放置，避免錯誤解讀。

3. 結果與討論

3.1 事件管理決策支援系統

本研究之事件管理決策支援系統係由「文獻管理」及「事件管理」平台所組成，其架構如圖 3 所示，其中事件管理平台納入之工具 (Tool) 或模組 (Module) 有：異味陳情資料庫、重點點源資料庫、異味閾值資料庫、區域氣象資料庫、當地氣象資料庫、全台解析地形資料庫、ISC3 擴散模擬模式/GUI 操作介面、風險指標模式/GUI 操作介面、風花圖/GUI 操作介面、風險地圖/GUI 操作介面等，本系統可針對特定基地之需求，持續擴增資料庫或工具模組。文獻管理平台進一步提供 5 個國際毒理資料查詢之介面，以及重要毒理參數專有名詞的解釋，以利使用者解讀毒理資料庫的內容。此外，本研究針對污染物別或污染源別，也精選重要國際期刊，撰寫 1-2 頁之延長摘要 (Extended abstract)，供決策者參考國際案例。

如圖 1 之分析流程圖所示，當某一陳情事件發生時，可利用事件管理平台之「異味陳情資料庫」，進行空間及時間頻率分析，預測高潛勢 (High potential) 區塊與時間，配合事件日之風花圖繪製，追蹤疑似異味源。陳情資料經巡察登載後，可自動即時上載或定期輸入本系統，經由系統管理者查核後，以資料表匯入陳情資料庫內。操作時，可於 GUI 選取所需參數，包括：基地、期程、均期後，按下「執行」鍵，系統即會開始分析該期程發生之所有陳情事件，呈現十大最頻點位分佈直方圖 (Location histogram) 與月份分佈直方圖 (Monthly histogram)。後續可套用「風花圖」工具，繪製日、月、季或年風花圖，依據上下風軸線，判定疑似異味源。進一步可使用「ISC3 事件模擬」模組，

點選輸入條件，自動執行事件當日逐時之擴散模擬，統計時均值 (Hourly mean)換算為時峰值 (Hourly peak)濃度，輸出陳情點、最大逐點及數個重要點之當日逐時均值及峰值統計表，並據此繪製等濃度圖 (Contour)，呈現受體點之日均濃度及時均濃度之短期變化，呈現於克制化之 GIS 動態圖台、列印或將統計表輸出至電子試算表，以達到即時決策分析之效能。

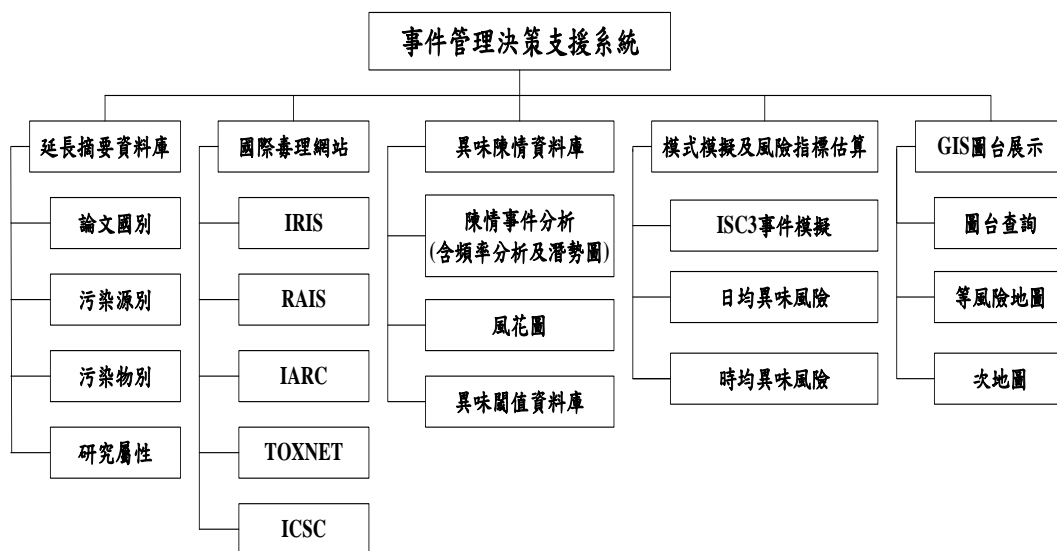


圖 3. 事件管理決策支援系統架構圖

3.2 陳情點位與異味源分析

臺中市 2011 年十大陳情點位分析結果，顯示陳情點位主要坐落於臺中工業區及鄰近東海大學校區內。將 X、Y 座標標註於 ArcGIS 地圖上，可檢視整體點位之空間分布，本研究進一步將陳情點位以代碼 A~J 命名，並以圓形圖示大小表示陳情次數，如圖 4 所示，依據其屬性及密度，將陳情點位歸納為四大區塊，分別為：工北區、工南區、東大區及住工區，其中以工北區陳情頻率最為顯著，占當年陳情 28.2%，依序為：東大區 (19.3%)，住工區 (5.4%)及工南區 (3.6%)。進一步分析陳情月份，結果如表 1，發現最頻陳情出現於春季 (3~5 月) 及夏季 (6~8 月)，分別占年十大陳情頻率 44.4% 及 37.4%，座落區塊主要為工北區 (代碼：A 及 B) 及東大區 (代碼：C~F)，最頻陳情月份發生於 2011 年 5 及 6 月，分別占年十大陳情頻率 20.3% 及 19.6%。

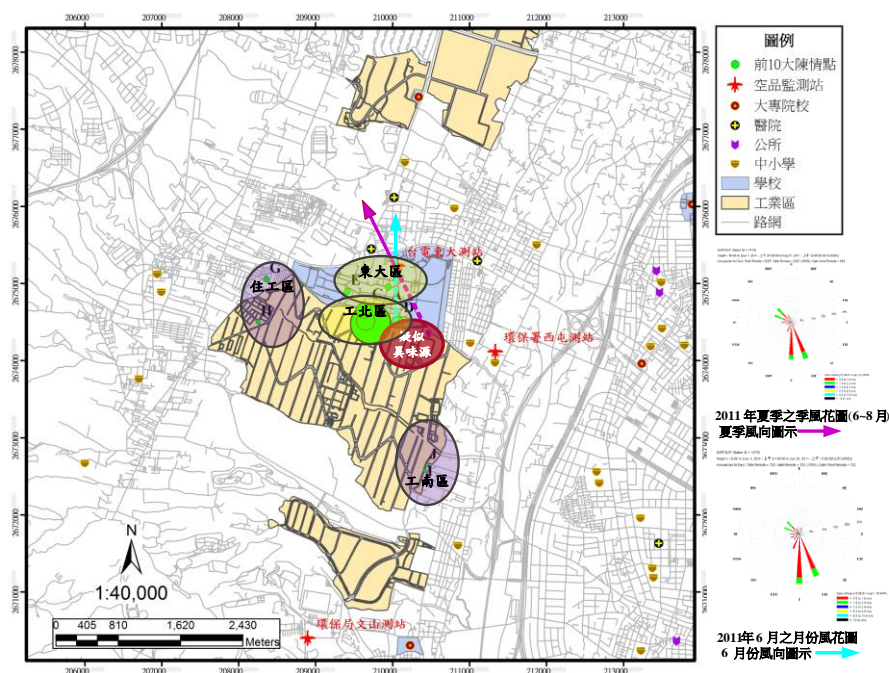


圖 4. 十大陳情點位分析結果與異味源推測地圖

表 1. 十大陳情點位月頻率分析結果表

陳情季節	陳情月份	陳情次數	陳情頻率百分比(%)	陳情點位代碼 (次數)
冬	1	1	0.6	J(1)
	2	10	6.3	A(3),B(2),D(1),H(1),I(3)
春	3	11	7.0	B(8),C(1),E(1),H(1)
	4	27	17.1	A(15),B(4),E(4),H(3),G(1)
	5	32	20.3	A(13),B(4),C(2),E(2),G(4),H(2),I(2),J(3)
夏	6	31	19.6	A(12),B(2),C(4),D(4),E(3),F(5),I(1)
	7	14	8.9	A(3),B(1),C(2),D(1),E(2),F(1),H(2),I(1),J(1)
	8	14	8.9	A(4),B(1),C(3),D(2),E(1),F(3)
秋	9	6	3.8	A(1),B(2),C(2),E(1)
	10	4	2.5	A(1),E(3)
	11	4	2.5	C(1),E(3)
冬	12	4	2.5	A(2),E(1),B(1)

註：工北區 (A、B)、東大區 (C~F)、住工區 (G、H)、工南區 (I、J)

根據當地氣象資料，本系統繪製季及月風花圖，分析低風速及最頻風向，發現春季靜風頻率達 15.7%，低風速最頻風向多出現於北風、北北西及西北風，發生頻率約 8~11%，夏季靜風頻率達 22.3%，

較春季高，低風速最頻風向出現於南風及南南東風，頻率約達 13%左右。進一步分析 6 月份風花圖，發現靜風頻率達 16.9%，低風速最頻風向及頻率與夏季類似，配合圖 4 之上下風關係，可推測夏季及 6 月污染源來自南方及南南東方，即位於臺中工業區之某疑似廠家，如圖中之紅圈。

3.3 事件模擬與風險地圖

本研究以 2011 年 6 月 3 日之陳情事件為例，使用本系統之 ISC3 之事件模擬選項，以該疑似源為排放管道，選取該管道之前五大異味物種，預測最大著地點及陳情點日均濃度及 OR 值，如表 2 所示。針對各物種異味閾值之選擇，本研究蒐集美國工業衛生協會 (American Industrial Hygiene Association, AIHA) (AIHA, 1989)、日本環境衛生中心 (Japan Environmental Sanitation Center, JESC) (Nagata & Takeuchi, 1990) 及台灣工業技術研究院(2011) (Industrial Technology Research Institute, ITRI)之閾值資料，依保守情境採取三者最低者，演算異味風險，顯示 OR 值主要係由閾值較低之乙醛及臭氧所貢獻。

表 2. 事件模擬結果之最大著地點及陳情點位日均值及 OR 風險值

項次	污染物種	異味閾值(ppm)	最大著地		陳情點	
			濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OR	濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OR
1	丁酮	16 ^a	3.78	0.00	1.95	0.00
2	氨氣	1.5 ^b	1.30	0.00	0.67	0.00
3	乙醛	0.0015 ^b	2.42	0.90	1.25	0.46
4	乙烯	17 ^c	0.93	0.00	0.48	0.00
5	臭氧	0.0032 ^b	1.61	0.26	0.83	0.13

^a美國工業衛生協會 (American Industrial Hygiene Association) (AIHA,1989)

^b日本環境衛生中心 (Japan Environmental Sanitation Center) (Nagata and Takeuchi, 1990)

^c台灣工業技術研究院 (Industrial Technology Research Institute) (工研院，2011 年)

本系統進一步將逐時模擬結果，繪製等日均異味風險地圖，如圖 5 所示。當日陳情時間為 18:09，陳情地點為該圖紅點之女子宿舍，日均模擬結果顯示焦點區 (Hotspot) 位於東海大學校園內之附屬高中，OR 值約為 1.2 > 1，表示異味事件可能發生，而陳情點女子宿舍 OR 值約為 0.6，兩者相距約 400 公尺。根據風險地圖左下方次地圖，可看出陳情點之女子宿舍於上午 7-9 點有顯著之 OR 值，且高達 5，但較陳情時間提早約 10 小時，說明陳情時間與最大濃度時間之間可能有延遲。圖 5 下方之風險溝通表單闡明模擬情境與風險特徵，唯因為排放濃度檢測採用密閉管道傅立葉轉換宏外光譜分析法 (Close-cell Fourier transform infrared, CC-FTIR)，為現場連續監測之篩檢級技術，會有相當之不確定性；另，ISC3 為惰性模擬，會高估增量濃度，但是，本次推估僅採用前五大物種，可能會有疏漏；而日均 OR 可能低估即時之時峰值異味；地圖繪製採用採用 IDW 之空間內插法 (n=302)，綜合研判推估結果屬於中度可信賴。

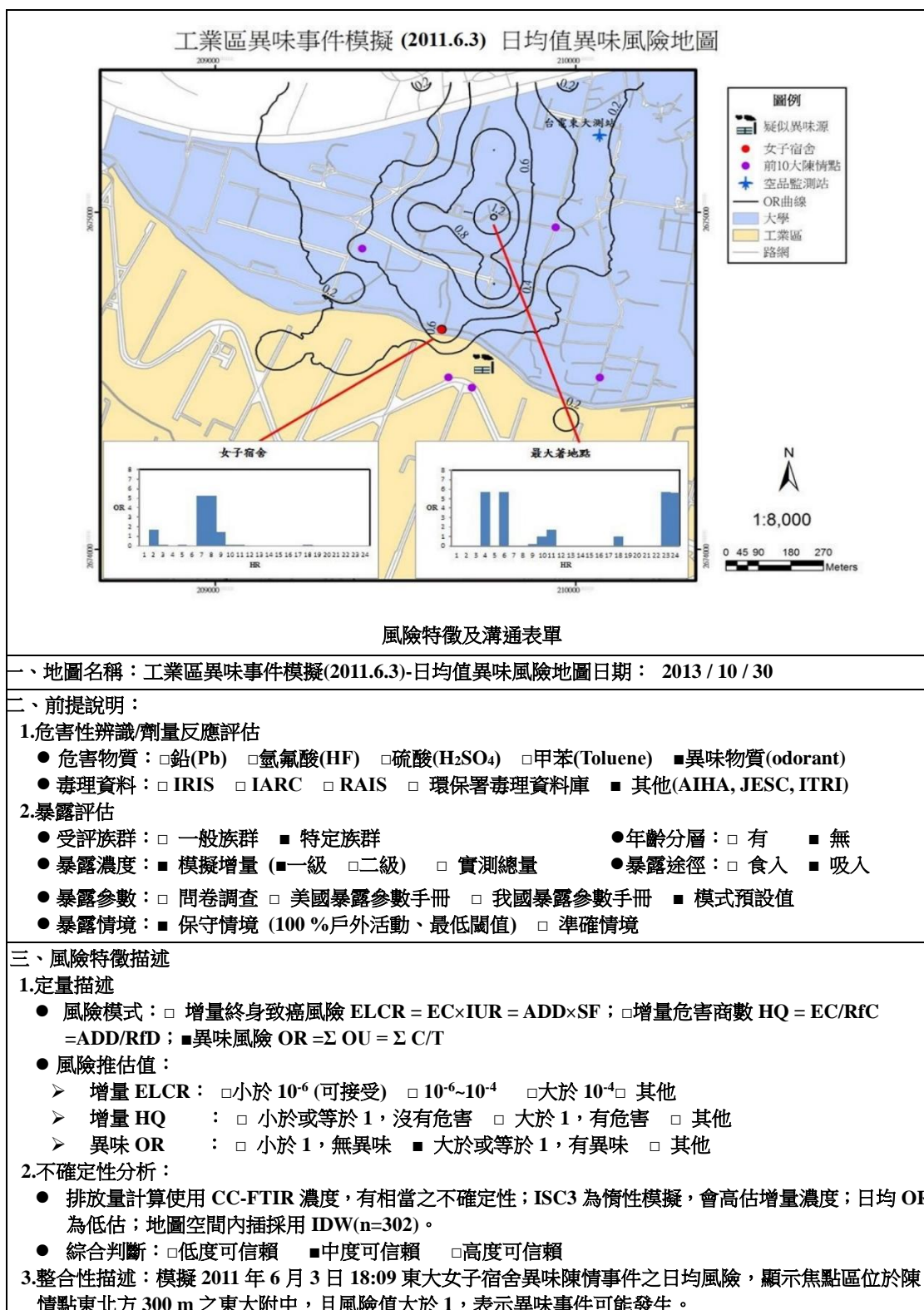


圖 5. 2011 年 6 月 3 日異味事件模擬結果之等日均異味風險地圖與溝通表單

參考文獻

1. American Industrial Hygiene Association (AIHA). 1989, Odor thresholds for chemicals with established occupational health standards. TRC Environmental Consultants, Inc., AIHA, Akron, OH 44311-1087.
2. Lahr J and Kooistra L. Environmental risk mapping of pollutants: State of the art and communication aspects. 2010. Sci of Total Env, 408:3899-907.
3. Nagata Y and Takeuchi N. 1990. Measurement of odor threshold by triangle odor bag method. Bulletin of Japan Environmental Sanitation Center, 17: 77-89.
4. Ranzato L, Barausse A, Mantovani A, Pittarello A, Benzo M., Palmeri L. 2012. A comparison of methods for the assessment of odor impacts on air dispersion model CALPUFF. Atm. Env. 61:570-79.
5. US National Academy of Science (US NAS). 1983. Risk assessment in the federal government: managing the process (The Red Book). Washington D.C.
6. US National Academy of Science (US NAS). 1994. Science and judgment in risk assessment (The Blue Book). Washington D.C
7. 江舟峰。2011。臺中市中部科學工業園區健康風險評估計畫期末報告，臺中市環保局委託計畫。臺中市：臺中市環保局。
8. 江舟峰、蔡清讚。2013。健康風險評估決策資源系統之建置與範例分析。中華民國環境工程學會 2013 環境諮詢與規劃管理研討會，高雄，台灣。
9. 江舟峰、凌明沛、林家玉、蔡配凌。2008。中部地區民眾淋浴健康風險評估與風險特性化研究。中台灣醫誌，13:27-34。
10. 台灣工業技術研究院。2011。臺中工業區工廠排放管道 CC-FTIR 調查計畫報告書。臺中市：臺中市環保局。

誌謝

本研究所需部份經費係由台灣臺中市政府補助，計畫編號為 P0342。承蒙臺中市環保局空氣品質課同仁，提供本研究所須各項數據資料，謹致謝意。本決策支援系統之程式撰寫委由臺中市律豐科技公司開發。若需進一步洽詢本系統之各項應用，可聯絡江舟峰教授 amur.chiang@gmail.com。