

應用 ALOHA 及 GIS 軟體探討毒化物洩漏之 初期緊急救護部署

Applying ALOHA and GIS Software to Analyze the Deployment of Initial Emergency Ambulance for Poisonous Chemical Leakage

邱建凱 Chien-Kai Chiu*

鄧子正 Tzu-Jeng Deng**

摘要

化學物質多具有腐蝕性、易燃性及危害性，若於製造、販賣、使用、儲存、廢棄等運作過程中，人員因操作不慎引致化學物質外洩散佈至大氣，將可能對鄰近居民與自然生態造成嚴重傷害。本研究即以中央研究院生物化學研究所為例，依地理位置與毒化物特性，應用 ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmosphere) 氣體擴散分析軟體模擬在各季節與極端氣候環境下毒化物洩漏後的危害範圍，並結合地理資訊系統劃設各消防駐點的救護服務範圍及送醫安全路徑，評估於災害發生時應如何妥善部署初期的緊急救護資源，以降低當地居民與救護單位面臨的危害風險。

關鍵詞：ALOHA、緊急救護資源、救護服務範圍

*中央警察大學防災研究所，碩士研究生（通訊作者：palai77@yahoo.com.tw）。

**中央警察大學防災研究所，教授。

Abstract

Most chemicals have corrosive, flammable and hazardous properties. Severe damages to human beings and natural environment may be caused by leakage of chemicals, which may occur from improper handling during manufacturing, selling, using, storing and discarding. This study takes the Institute of Biochemistry of Academia Sinica as an example, and uses ALOHA to simulate the hazard range of poison leakage in different seasons and extreme weather conditions according to geographic locations and toxicant characteristics, and combines with GIS to establish the ambulance service area of each fire station, and the safe routes to offer medical care. Assess how initial emergency ambulance resources should be appropriately deployed in the event of a disaster to reduce the risk of hazards faced by local residents and ambulance units.

Keywords: ALOHA, Emergency ambulance resource, Ambulance service area.

壹、前言

毒性化學物質運作往往伴隨著洩漏風險存在，為防範災害發生時可能對人命安全造成的威脅，有必要針對化學物質儲存場所進行模擬評估，以利規劃完善的區域應變機制。但回顧國內外相關毒化物擴散模擬研究（林祥安，2011；Lnanloo & Tansel, 2015；陳冠豪，2018），多係以境況模擬特定化學物質因洩漏（如化學工廠儲槽或槽車等）致使的危害後果，進而研擬居民疏散避難對策及防災整備，卻鮮少探討於此災害類型下可能間接影響的緊急救護需求量，若無針對現有的緊急救護能量作適當部署，屆時將使救護人員及待救患者同時暴露於危害之中，導致更多人員傷亡。有鑑於此，本研究奠基前人的研究模式，以人口稠密的都會區為研究對象，運用美國環保署（U.S Environmental Prevention Agency）與美國海洋大氣署（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）共同發展的 ALOHA（Areal Locations of Hazardous Atmosphere）後果分析軟體，推估毒性化學物質在大氣中的傳播範圍，並結合地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）介面功能，瞭解當地消防分隊於面對化災事件時應如何妥善部署初期的緊急救護能量，以降低毒化物洩漏時所造成的災害衝擊，提供業務主管機關於規劃化學災害緊急救護應變時的參考依據。

而我國針對化學物質依「毒性及關注化學物質管理法」可分為毒性化學物質、關注化學物質、既有化學物質與新化學物質，其中關注化學物質係指除毒性化學物質以外，經中央主管機關認定有污染環境或危害人體健康之虞的化學品；既有化學物質則係指經中央主管機關會商各目的事業主管機關後，建置於既有化學物質之清冊內；新化學物質則係既有化學物質以外的化學品。而毒性化學物質根據我國 2019 年公布的「毒性及關注化學物質管理法」第 3 條定義所述，乃指人為有意產製或在產製的過程中無意衍生的化學物質，目前公告列管物質達 340 種（行政院環境保護署，2019a），並將其區分為四大類。第一類在環境中較難分解，因此容易導致環境污染或危害人體健康。第二類為慢毒性化學物質，將造成人類生育能力受損、遺傳因子突變、腫瘤及其它慢性疾病。第三類屬急毒性物質，一旦經暴露將立即危害人體健康。第四類則具環境污染或有危害健康之虞者。依臺北市政府環境保護局（2019）公開資訊顯示，臺北市境內的大量運作毒性化學物質場所共計 7 所，分別為國立臺灣大學、國立臺灣大學醫學院、國立臺灣大學醫學院藥學專業學院、中央研究院、國防部軍備局生產製造中心第 202 廠、國防醫學院及國立臺灣師範大學，其中位於南港區中央研究院所儲存的毒性化學物質種類較多，對人體危害性相對較高，因此將其列為本研究的探討對象。

貳、文獻回顧

本研究首先回顧毒性化學物質的分類級別與處置準則，且透過相關文獻瞭解當地消防救護駐點可運用能量及服務範圍劃設原則，後續藉由 GIS 將研究區與毒化物災害潛勢範圍進行圖層疊合，以規劃災害初期救護指揮站、臨時治療區與車輛人員集結點，評估當發生毒化物洩漏意外時，如何妥善部署緊急救護資源。

一、毒化物洩漏之危害性與應變

目前常見的毒性化學物質應變參考指標分別為急性暴露指標（Acute Exposure Guideline Levels, AEGLs）、緊急應變規劃指引（Emergency Response Planning Guidelines, ERPGs）、瞬時緊急暴露指標（Temporary Emergency Exposure Limits, TEELs）及化學品保護行動準則（Protective Action Criteria for Chemicals, PACs），過去有關疏散撤離的參考濃度指標係以 ERPGs 為主（工業

技術研究院，2018)，而根據行政院環境保護署於 2018 年核定的「毒性化學物質災害防救業務計畫」中，當處理化災事件時將依 PACs 劃定管制區域。依其內容說明，PACs 係由美國能源部（US Department of Energy, DOE）的後果評估與保護行動小組（Subcommittee on Consequence Assessment and Protective Actions, SCAPA）所制訂，可將洩漏事故點的擴散範圍區劃為初期隔離距離與防護行動距離（圖 1），其中 PAC-3 圓形面積範圍即為初期隔離區域，在此區域內所有民眾皆應進行強制疏散，且救災人員需穿著防護衣物始能進入；而 PAC-2 正方形範圍則為防護行動區域，位於事故點之下風處，應嚴格限制且禁止民眾進入，並實施居家隔离或疏散撤離。

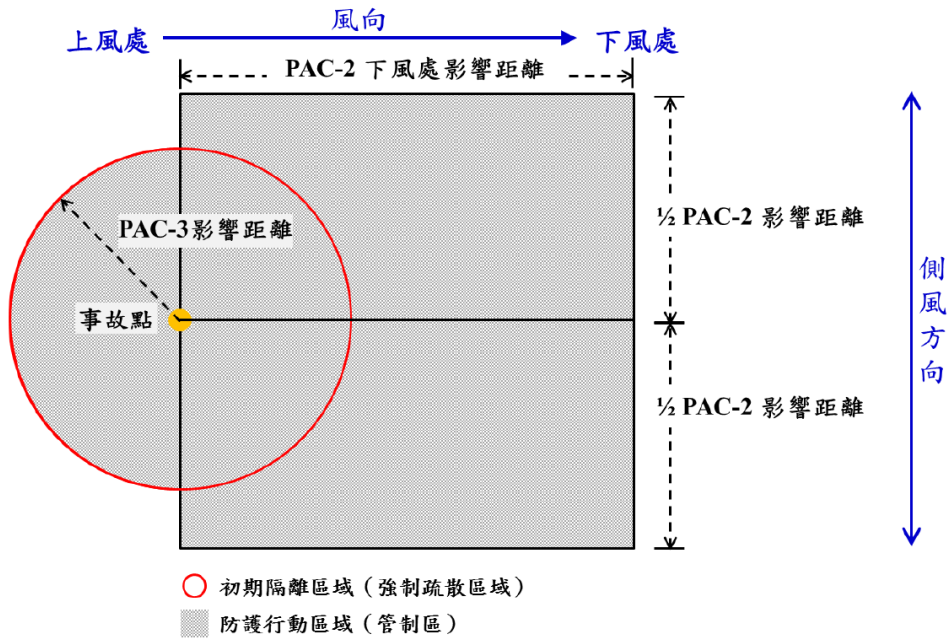


圖 1 PACs 管制範圍示意圖

資料來源：行政院環境保護署（2018）

另「毒性化學物質災害防救業務計畫」中亦指出，PACs 將毒性化學物質疏散避難與警戒區域劃分為以下啟動原則。當偵測或評估數值低於毒性化學物質濃度 PAC-1 或未達危害的濃度時，不進行疏散及封鎖動作，但需維持交通動線順暢，以利各救災車輛及資源進出，此範圍視為外圍區。而當偵測或評估數值介於毒性化學物質濃度 PAC-1 與 PAC-2 間時，則發布警戒管制區及就地避難警報，此範圍內視為冷區（Cold Zone），可於此上風處成立救護指揮站、檢傷

分類區及臨時醫療站，除了對患者施作必要的急救處置外，亦可避免救護人員的安全遭受危害。若偵測或評估數值超過毒性化學物質濃度 PAC-2 時，則須發布疏散警報並劃定警戒區域，或做適當的就地避難，此範圍內視為暖區（Warm Zone），亦稱除汙區，為人員汙染管控的區域。而當偵測或評估數值超過毒性化學物質濃度 PAC-3 時，則發布疏散警報，並執行必要的強制疏散，此範圍內為熱區（Hot Zone），即為受毒性化學物質直接汙染的區域。有關 PACs 的管制區域劃分，如下圖 2 所示。

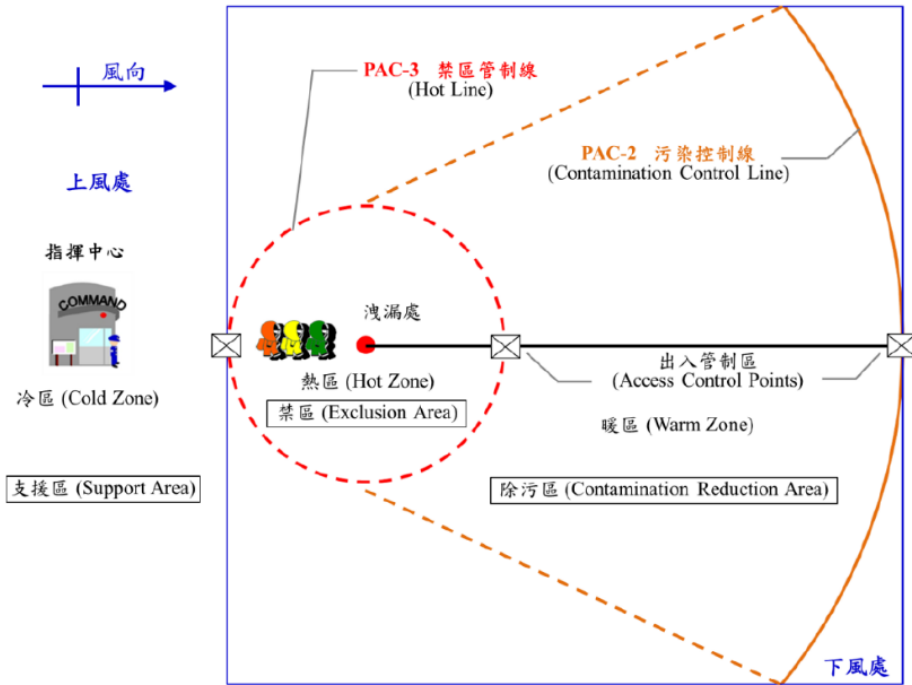


圖 2 PACs 管制區域劃分示意圖

資料來源：行政院環境保護署（2018）

另依「毒性化學物質災害疏散避難作業原則」中規定，平時政府機關應建置與更新毒性化學物質防災資料庫，一旦有化災發生之虞，始能立即提供各救災單位予以參考使用。且當地環境保護局須隨時掌握各地風速及風向，若發生化災事故，則可依毒化物的擴散程度與即時氣象條件，分析研判災害現場可能受影響的危害潛勢區域，以提報指揮官與現場應變單位擬定適當救災行動決策。

二、毒化物洩漏之緊急救護系統配置考量

緊急救護系統在都市防災結構上是不可或缺的要件之一，如何在災難現場延續受災民眾生命的維持，為緊急救護系統的首要任務。目前臺北市總計有 45 個消防救護駐點（臺北市政府消防局，2019），各駐點至少配置 1~3 台救護車輛，當面臨大規模化學災害事故時，現場初期應變指揮官除進行救災工作外，亦須針對毒化物特性與大氣環境劃設各警戒管制區域，其中醫療救護站與車輛人員集結處應設立於冷區範圍內，且在考量大量傷病患的前提之下，必須選定適當的廣域開放空間，如學校、公園或廣場等，方便傷病患安置與救護資源能量集結。

另為瞭解各救護車輛抵達災區先後順序，以縮短救護的整備作業時間，可藉由區域內救護服務範圍估算得知，其定義係以救護駐點為中心，沿車輛可行駛的道路向四周擴散，並於一定時間內到達救護現場之距離所構成的範圍（周國祥，2009）。現今國內外法規並無針對救護服務範圍之劃設方式予以規範，惟我國根據「直轄市縣市消防機關員額設置基準」規定，以消防車在 5 分鐘內必須抵達救災現場且服務面積 9 平方公里設一消防分隊，然目前救災救護指揮中心派遣的救護車輛皆附屬於消防分隊內，若依上述規定劃設救護服務範圍，將無法符合各駐點的轄區特性，如道路寬廣地區，行車速度較快；人車密度較高之區域，其行車速度相對較慢。意指若未將救護車輛的平均行駛速度納入考量，則難以估算出實際距離範圍。

而我國學者對於救護服務範圍之計算方式，主要以救護車平均行駛速度及出勤反應時間估算或檢討可涵蓋的區域範圍（吳文祥等人，2008；高嘉懋，2008；周國祥，2009；陳彥泊，2015），然而根據上述文獻回顧結果可知，採用的數據資料不相同，計算出的服務範圍大小亦將有所差異。故本研究基於此論點，為求得最符合實際出勤狀況的救護服務涵蓋範圍，將蒐集各駐點救護車輛的個別平均出勤反應時間與平均行駛車速（邱建凱、鄧子正，2020），依此計算出各救護駐點不同的服務距離，並經由 GIS 推估各救護服務所涵蓋之範圍。

本研究將南港區中央研究院作為探討對象，故針對災害發生初期的緊急救護能量部署，皆以南港區的消防救護駐點為主，其按照與中央研究院的距離遠近，依序為舊莊消防分隊、南港消防分隊及成德消防分隊，而地理位置分布則如下圖 3 所示。

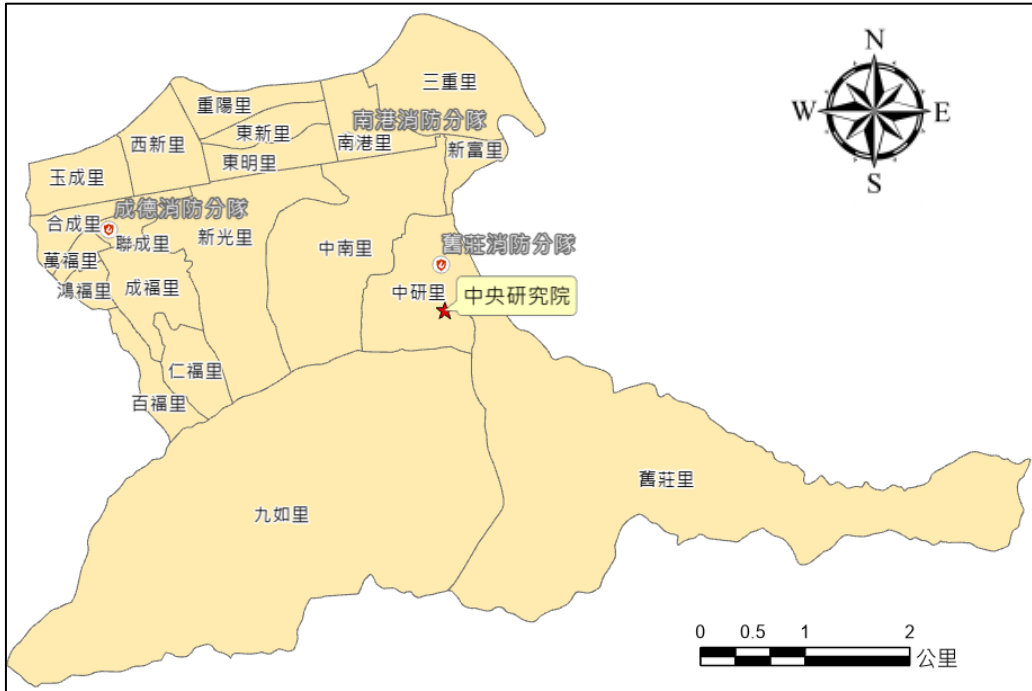


圖 3 南港區消防救護駐點分布圖

三、ALOHA 擴散模擬軟體與地理資訊系統

ALOHA 擴散模擬軟體為美國環保署風險管理法案 (Risk Management Program, RMP) 於 1996 年建議使用的後果分析軟體。根據美國國家環境保護局 (U.S. Environment Protection Agency) 2007 年 ALOHA 使用手冊中指出，其可依化學物質特性、儲存容器設備規模及大氣環境條件，分別模擬毒性氣體洩漏、油池火災、蒸氣雲爆炸、BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) 及噴射火焰等，推估可能受威脅的危害影響範圍，如毒化物危害、爆炸性氣雲擴散、爆炸過壓、火災熱輻射等，藉此提供初期災害應變指揮官進行決策參考等相關資訊。

目前 ALOHA 擴散模擬軟體為免費軟體，版本 5.4.7，內建有上千筆常使用的化學物質資料。而 ALOHA 共可進行兩種情境模擬。第一種為最嚴重情境 (Worst Case Scenario, WCS)，模擬在大氣條件最穩定的狀況下，假設運作場所內單一容器內容物，於短時間內全部洩漏所造成的潛勢範圍。第二種為可能替代情境 (Alternative Case Scenario, ACS)，依據可能洩漏的條件，並以運作最大

量的單一容器連接槽體的最大管徑為破孔大小，模擬化學物質運作工廠的災害情況。以上述兩種情境而言，若已知有儲存槽體的相關資料、化學物質的狀態、破孔管徑與位置等，由可能替代情境進行模擬；若無可替代情境的模擬參數，即以最嚴重情境為主（U.S. Environment Protection Agency, 2007）。

GIS 則是一套能即時展示相關空間資訊的電子地圖處理系統，目前使用層面相當廣泛，舉凡防救災系統、土地使用規劃、交通運輸、環境保育，至一般民眾的食衣住行與育樂等方面，皆可廣泛應用（謝惠紅，2015）。透過各圖層的編輯、資料庫的管理、查詢、分析、展示及製圖等工作，將資料分析處理後呈現的結果，提供予相關領域之專家或決策者作為規劃或政策制定的重要參考（陳錦嫻、黃國展，2013）。本研究採 ArcGIS Pro 版本，藉由疊圖分析（Overlay）將研究區域和 ALOHA 呈現的毒化物洩漏汙染範圍進行圖層套疊，以瞭解其危害影響空間資訊，後續利用路網分析（Network Analysis）功能，劃設各緊急救護服務範圍與最短後送醫院路線，作為評估其可及性與路徑行駛安全之依據。

參、研究方法

一、環境背景資料蒐集

（一）毒性化學物質特性

本研究以臺北市南港區的中央研究院作為探討對象，其為我國最高學術研究機構，院內設有生物化學、應用科學等相關實驗室，因此有使用毒性化學物質的必要性。依臺北市政府環境保護局公開毒性化學物質大量運作場所資料顯示，中央研究院院區內目前共有 14 所研究單位運作三氯甲烷、苯、甲醛、二氧陸圜、啖、二甲基甲醯胺及甲醯胺等七種毒性化學物質，其中甲醛更分類為第二、三類毒化物，對人體具有危害性，本研究即以甲醛洩漏時可能造成的災害潛勢，探討其影響範圍。

依甲醛（Formaldehyde）災害防救手冊中說明，其為無色、易燃、具毒性的腐蝕性液體，有強烈辛酸氣味，聯合國編號為 1198。若不慎接觸將對人體皮膚造成損傷，吸入後其蒸氣亦會嚴重刺激鼻咽及氣管，甚者將可能致命、罹患癌症且造成遺傳性缺陷。而根據物質安全資料表則顯示，甲醛的八小時日時量平均容許濃度（TWA）為 1ppm；短時間時量平均容許濃度（STEL）為 2ppm；立

即致危害濃度(IDLH)為 20ppm。美國能源部(U.S. Department of Energy, DOE) 於 2016 年公告，有關甲醛的暴露濃度等級如下表 1。

表 1 甲醛暴露濃度等級

化學品	PAC-1	PAC-2	PAC-3
甲醛 (Formaldehyde)	0.9 ppm	14ppm	56ppm

資料來源：U.S. Department of Energy (2016)

若為甲醛洩漏之化災現場，其氣體濃度於 20ppm 以上或未知濃度的狀況下，人員應穿著 A 級防護衣始能進入救災；如氣體濃度在 20ppm 以下且空氣中氧氣濃度高於 19.5% 的區域時，則穿著 C 級防護衣具即可（行政院環境保護署，2019b）。災區內的病患如須運送至冷區接受治療，均應進入暖區的除汙通道後方可進入醫療站，避免人員間出現交叉汙染疑慮。

(二) 鄰近敏感地區

依「中央研究院毒性化學物質危害預防及應變計畫」與實地調查結果顯示，各鄰近敏感地區依類別可區分為學校、醫院與交通（表 2），其中以學校類別居多，若採取強制疏散時須慎重考量脆弱人口的移動性問題。而有關醫院及交通等敏感地區，則皆分布於中央研究院之北側（圖 4）。

表 2 鄰近敏感地區

類別	名稱
學校	中央研究院附設幼稚園
	私立欣苗幼稚園
	私立南光幼稚園
	私立莒光幼稚園
	私立新莒光幼稚園
	胡適國小
	舊莊國小
	白雲國小
醫院	聯合醫院忠孝院區

類別	名稱
交通	南港車站
	捷運南港站
	捷運南港展覽館站

資料來源：中央研究院毒性化學物質危害預防及應變計畫暨本研究彙整

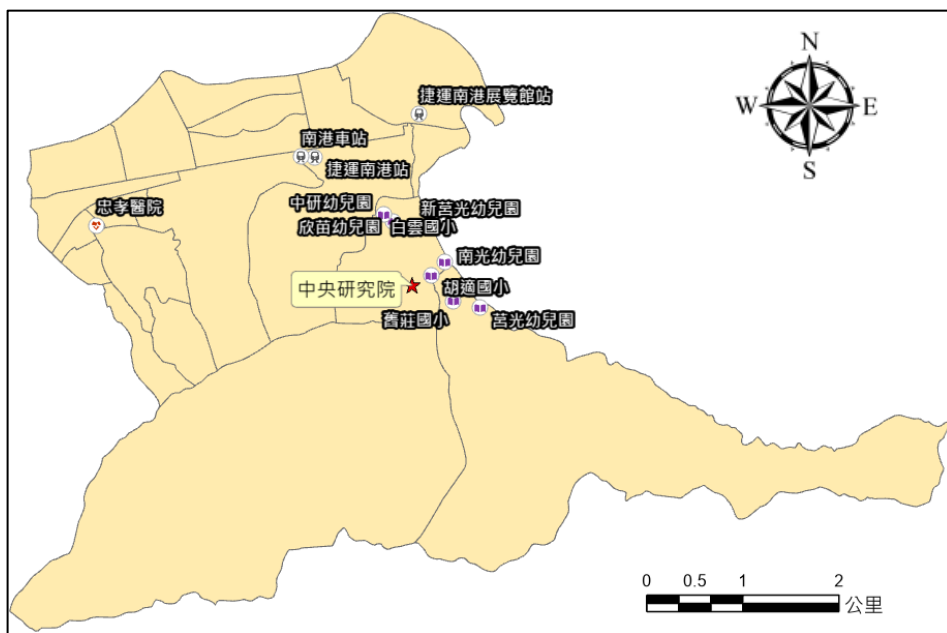


圖 4 鄰近敏感地區分布圖

二、擴散模擬情境

本研究彙整中央氣象局（2019）南港觀測站的平均氣候資訊（表 3），但因南港觀測站於 2018 年 6 月撤站，故僅蒐集 2013 年至 2018 年 6 月的氣候資料進行統計。而後續將以一年氣候條件差異性最大的夏季（6 月至 8 月）與冬季（12 月至 2 月），境況模擬在平均與極端氣候的環境下，分析甲醛洩漏時其危害影響範圍之結果，作為災時初期緊急救護資源部署的參考依據。

表 3 平均氣候數據統計表

季節	氣溫 (°C)	風速 (m/s)	風向 (360 degree)	相對溼度 (%)
夏	29.5	1.3	48.0 (東北)	75%
冬	17.1	1.1	65.6 (東北東)	78%

資料來源：本研究彙整

統計結果顯示，南港觀測站夏季的平均風向分佈多以東北風為主，冬季則為東北東方向。另為模擬極端氣候條件下可能造成的危害影響範圍，因此須統計各季節的平均最高與最低溫度（表 4）。而在彙整最大一小時年平均風速時，因受中、強度颱風的影響較容易出現極端值，故採用歷史風速紀錄多數超過 7 m/s 的數值，設定為最嚴重情境（WCS）之模擬參數。

表 4 平均最高與最低溫度統計表

季節	平均最高溫度 (°C)	平均最低溫度 (°C)
夏	37.1	24.0
冬	27.9	9.6

資料來源：本研究彙整

三、緊急救護系統能量

本研究將現有緊急救護系統能量區分為救護駐點的車輛裝備與人力運用、救護服務範圍可及性，以及送達醫院的安全路徑等，依能量不同而有所差異，其相關資料如下所述。

(一) 救護駐點之車輛裝備與人員

臺北市南港區各救護駐點配置的車輛與員額如表 5，一旦南港區發生疑似化災事件而有出勤之必要時，即由其擔任初期的災害救援能量，所屬單位的救護人員應穿著 C 級防護衣並於待命區內聽從現場指揮官指示進行急救處置。

表 5 南港區 2019 年救護車輛與員額配置

南港區	救護車數 (輛)	員額配置 (人)
舊莊消防分隊	1	23
南港消防分隊	1	24
成德消防分隊	2	24

資料來源：臺北市政府消防局 (2019) 暨本研究彙整

(二) 緊急救護服務範圍

由於臺北市政府消防局救護車行車電腦於油門發動後即開始記錄行駛車速，且每隔 10 秒鐘紀錄之。為篩選龐大且不合理的數據，本研究依我國「道路交通安全規則」第 93 條規定，有關狹窄道路車輛行駛限速為 30 km/hr，而救護勤務因講求易達與時效性，盡量少選擇行駛於狹小巷弄中，因此將車行速度設定於 30 km/hr 以上，以汰除短距離移動所記錄的車速，且為排除日夜車流量的差異，故將數據蒐集時間設定為早上 8 時至傍晚 17 時，進而彙整 2018 年南港區各救護駐點的平均反應時間，依此與各平均行駛車速合併計算後，求得各緊急救護服務距離 (表 6)。

表 6 南港區各救護駐點之服務範圍

南港區	舊莊消防分隊	南港消防分隊	成德消防分隊
平均出勤反應時間 (min)	3.5	3.5	4
平均車輛行駛速度 (km/hr)	45.9	45.0	41.5
救護服務距離 (km)	2.68	2.63	2.77

資料來源：本研究彙整

後續應用 GIS 將臺北市街道設定為路網圖，並利用路網分析 (Network Analysis) 功能中的服務範圍 (Service Area)，設定通過路徑為緊急救援車輛可行進之模式，依前述求得的各服務範圍距離作為救護車最遠可抵達的延伸路線，依此劃設南港區各救護駐點的服務範圍。

(三) 最短送醫時間與行經路徑

依 2019 年臺北市政府衛生局公布的「臺北市急救責任醫院急重症病人專科醫療處置能力總表」中，目前臺北市總計有 21 間急救責任醫院，其中具有化學災害處置能力的急重症醫學中心，分別為內湖三軍總醫院、萬芳醫院、馬偕醫院、臺大醫院及臺北榮民總醫院。以南港區而言，內湖三軍總醫院為最近的醫學中心，但災時因傷病患過多恐癱瘓特定醫療機構處置能量，故均採取分流方式後送醫院。本研究將運用路網分析（Network Analysis）的最近設施點（Closest Facility）功能，模擬中央研究院及上述醫學中心的交通動線，並與危害擴散範圍進行圖層套疊，以瞭解送醫路徑之安全性，其中行進車種亦設定為緊急救援車輛。

肆、資料分析與結果

一、ALOHA 模擬擴散範圍

本研究採最嚴重情境（WCS），故依 Pasquill-Gifford 分級表（見附錄）將大氣穩定度設定為 F 級（極度穩定，無垂直對流且不受雲層覆蓋影響），並以中研院生物化學研究所（ $25^{\circ}2'35''N$, $121^{\circ}36'47''E$ ）實驗室人員因操作不慎導致甲醛洩漏為情境，將狀態設定為連續釋放（10 分鐘內持續洩漏），且天氣條件設定為晴朗無雲，但由於無法清楚得知中研院甲醛存量，因此總洩漏量乃參考院內 2018 年甲醛總使用量設定為 100 kg/hr。後續應用 ALOHA 軟體境況模擬夏季與冬季在平均氣候條件下，分析各 PACs 的管制範圍差異（圖 5、圖 6）。

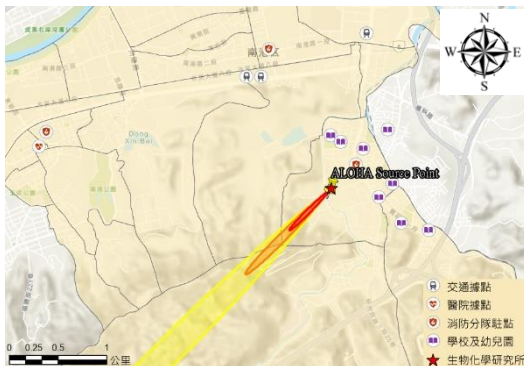


圖 5 夏季平均氣候擴散模擬圖



圖 6 冬季平均氣候擴散模擬圖

上圖藉由 ALOHA 模擬而得的甲醛洩漏危害範圍由內至外分別代表 PAC-1、PAC-2 與 PAC-3，從中可瞭解在不同季節裡，毒化物擴散的差別主要取決於風向，所幸各敏感地區大多位於危害影響範圍東側，且各消防救護駐點亦皆位於影響範圍外，然此乃年平均盛行風向模擬出的結果，若欲判別全區域風向影響的危害性，則須以各 PACs 容許濃度的距離作為半徑，探討所涵蓋的面積範圍，以應變風向不同所造成的災害衝擊（圖 7、圖 8）。

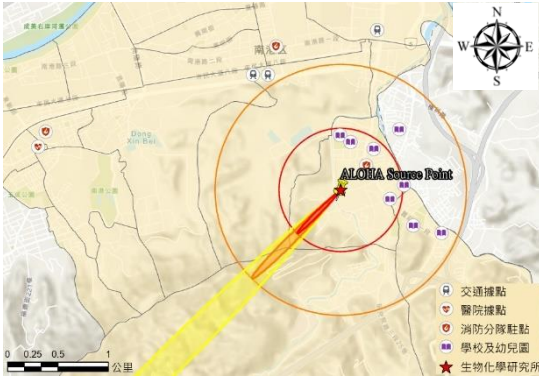


圖 7 夏季全區域風向擴散模擬圖

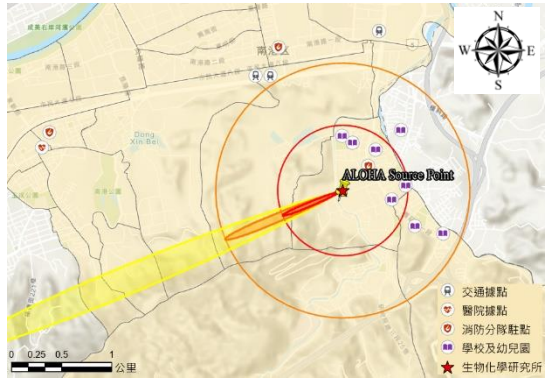


圖 8 冬季全區域風向擴散模擬圖

依不同季節的全區域風向擴散模擬（圖 7、圖 8）可得知，對於學校敏感地區而言，大多分布於 PAC-3 與 PAC-2 範圍內，雖不在平均氣候條件下的潛勢擴散區，但為確保區域內人員健康安全，若中研院實驗室不慎發生甲醛洩漏意外時，公部門應針對鄰近的 8 間學校及幼兒園採取疏散撤離，並劃定警戒管制線。另由於舊莊消防分隊較靠近中央研究院且位於 PAC-3 的熱區範圍內，平時整備時建議仍須事先擇定適當的臨時據點，以應付捉摸不定的氣候環境。後續本研究將再針對夏季及冬季的平均最高與最低溫度，境況模擬極端氣候下的擴散程度，從中瞭解區域風險（圖 9、圖 10）。

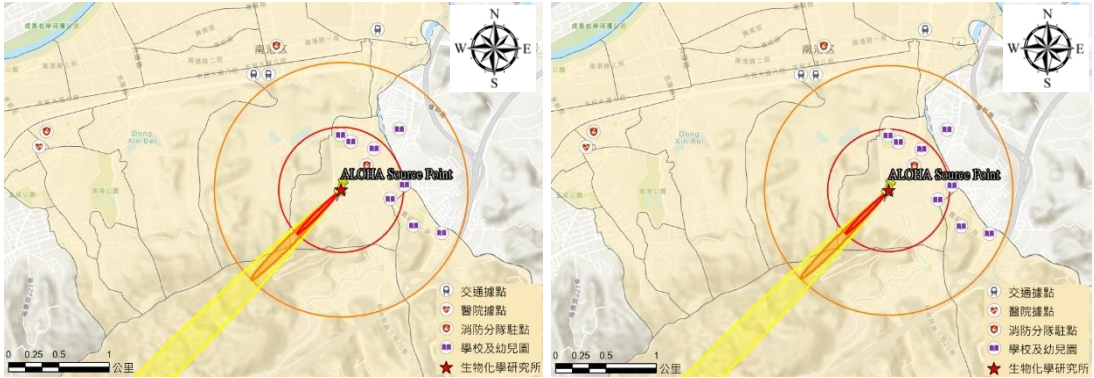


圖 9 夏季平均最高溫度與最低溫度擴散模擬圖

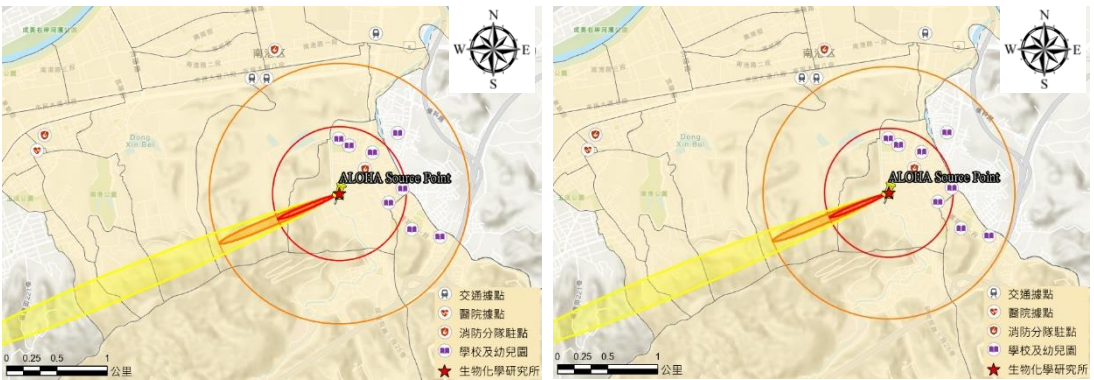


圖 10 冬季平均最高溫度與最低溫度擴散模擬圖

由圖 7 至圖 10 可知，無論夏季或冬季的平均氣候條件，亦或年平均最高與最低溫的極端氣候環境，ALOHA 模擬甲醛洩漏時的 PAC-2 全區域擴散範圍均完全涵蓋南港區中研里，因此災時須優先針對中研里採取強制疏散或管制。另在擇定救護指揮站的地理區位考量上，除了送醫動線順暢之外，須妥善規劃車輛集結點與臨時治療區，以維護救護人員與傷病患之安全性。而藉由各擴散模擬圖亦可瞭解，當面對不同溫度變化的氣候條件，其所呈現的危害距離（表 7）將隨溫度的升高而延伸，兩者之間呈正相關，且冬季的危害距離因受風速影響，反觀較夏季大。整體而言，不同溫度因變化的幅度較小，故仍可依平均氣候條件下的模擬範圍進行災害應變規劃。

表 7 溫度影響危害距離之比較表

季節類別	PACs	溫度	危害距離 (公尺)
夏季	PAC-1	最低溫度	3,862
		平均溫度	3,862
		最高溫度	3,862
	PAC-2	最低溫度	1,115
		平均溫度	1,125
		最高溫度	1,138
	PAC-3	最低溫度	547
		平均溫度	552
		最高溫度	560
冬季	PAC-1	最低溫度	3,701
		平均溫度	3,701
		最高溫度	3,862
	PAC-2	最低溫度	1,134
		平均溫度	1,147
		最高溫度	1,166
	PAC-3	最低溫度	579
		平均溫度	587
		最高溫度	598

另外，若欲得知在最高風速條件下甲醛洩漏的擴散潛勢範圍，首先設定夏季與冬季的平均氣候條件固定，而考量將以最大風速的全區域進行模擬，故依 Pasqill-Gifford 分級表將大氣穩定度設定為 D（風速須大於 6 m/s），並利用 ALOHA 模擬最大風速 7 m/s 時甲醛洩漏的擴散範圍。結果顯示當風速增強時，危害潛勢區域將因空氣稀釋作用而縮減，且視季節的不同朝東北或東北東盛行風向蔓延。圖 13 及圖 14 則分別為夏季與冬季的最高風速擴散範圍圖，從中可發現受危害影響的風險區域均位於中研里內，因此在最大風速的氣候模擬條件下，並考量其它消防車組救災動線，可將鄰近的廣域開放式停車場擇定為初期救護指揮部署的設立區位。

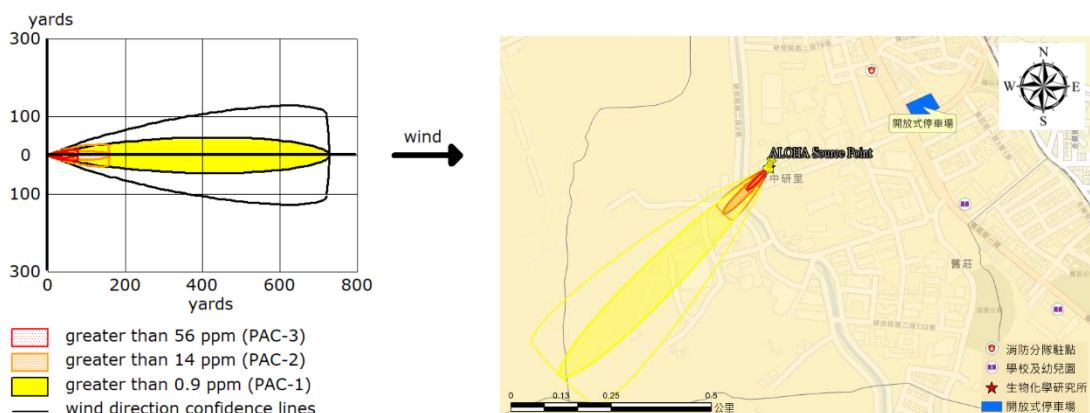


圖 13 夏季最高風速全區域擴散模擬與範圍圖

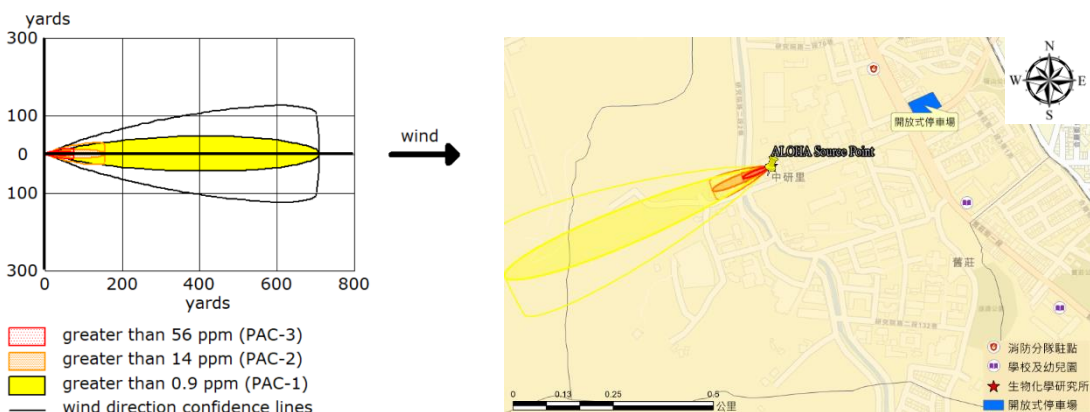


圖 14 冬季最高風速全區域擴散模擬與範圍圖

二、救護服務範圍

本研究為瞭解南港區各緊急救護能量抵達的先後順序，以及後送醫院路程是否間接影響救護資源調度，首先彙整臺北市政府消防局 2018 年南港區緊急救護案件平均出勤反應時間與救護車輛行駛速度，依此劃設各救護駐點的服務範圍（圖 15、圖 16），而舊莊消防分隊因鄰近中研院且常年均位於危害潛勢範圍內，當化災事故發生時，應可於第一時間進行災難應變任務，故緊急救護服務範圍之劃設僅針對南港、成德消防分隊探討其可及性，以作為災時救護能量的規劃配置。

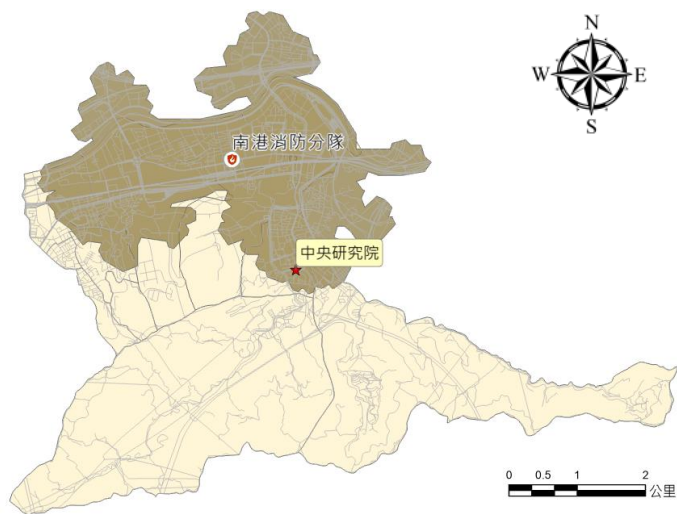


圖 15 南港消防分隊救護服務範圍

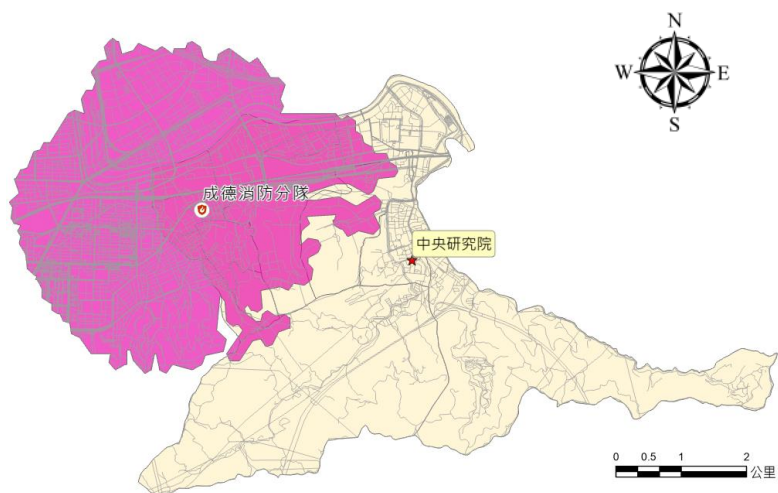


圖 16 成德消防分隊救護服務範圍

藉由南港與成德消防分隊的救護服務範圍可得知，當中央研究院生物化學實驗室發生毒化災事故時，除鄰近的舊莊消防分隊能立即擇定適當地點成立初期救災救護指揮站之外，南港消防分隊因服務範圍涵蓋中研院，故為後續第二梯次抵達的支援車組，且檢視行經救災的交通動線皆位於上風處，應可避免救災人員受到嚴重波及。另由於成德消防分隊的救護服務範圍未及中央研究院，應屬第三梯次抵達的緊急救護能量。然而，根據南港區各消防駐點的救護服務範圍可發現其皆未涵蓋臺北市毒化災專責醫院，此亦說明救護車輛勢必將耗費時間於送醫路程，進而影響緊急救護資源的調度。

三、送醫行經路線及 PACs 管制範圍

為瞭解救護車送醫動線是否具有安全性，本研究運用地理資訊系統 (GIS) 的最近設施點 (Closest Facility) 功能，模擬中央研究院至各毒化災專責醫院的最短行經路線。藉由前述的潛勢擴散圖可知，夏季與冬季的平均盛行風向為東北及東北東，而救護車行經醫院的動線主要分布於中研院的東側，均位於危害範圍外之區域。然而，此乃盛行風向的模擬結果，若欲得知其它風向可能造成的乘載風險，則須依危害範圍較廣的冬季全區域風向擴散圖進行模擬 (圖 17)，結果發現於南港區中研里北側交界處以南的研究院路二段均顯示為 PAC-3 災害潛勢路徑，故可於交界處設置出入熱區的管制站 (Access Control Point)，接續延著研究院路一段往北至忠孝東路七段路口則設置除汙管制區 (Contamination Reduction Area) 及除汙通道 (橘線)，並於北側 PAC-1 區域另擇定設置救護指揮站、檢傷治療區及車輛人員集結區，以避免救護人員健康遭受威脅。

由於中央研究院至各化災專責醫院的最短行經路徑皆須通過上述交通動線，因此本研究以內湖三軍總醫院為例，應用 GIS 將送醫行進路線及 PACs 管制範圍繪製如下。

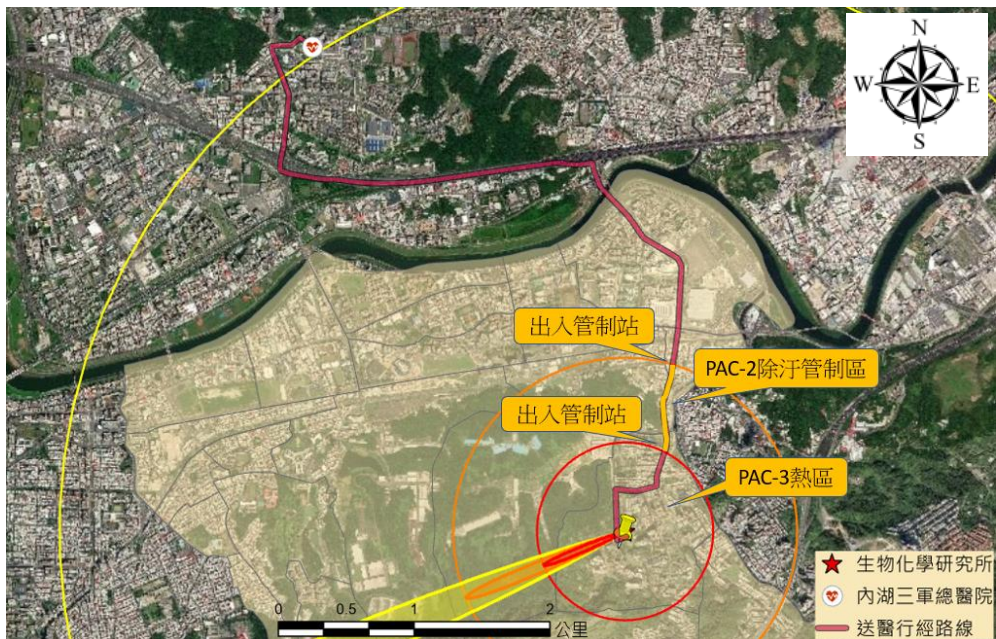


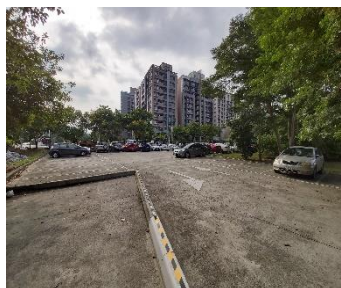
圖 17 送醫行進路線及 PACs 管制範圍圖

四、初期緊急救護區位部署

本研究以南港區中央研究院為探討對象，模擬當生物化學研究所實驗室人員因操作不慎導致甲醛洩漏時，初期的緊急救護能量應如何妥善部署。而藉由中央研究院研究中心組織規程及編制表（中央研究院，2016）可知，中研院目前員額配置約為 233~331 人，在尚未考量周邊鄰近居民的受災影響下，可發現當毒化物不慎洩漏時，將導致大量傷病患事故（Mass Casualty Incident, MCI）發生，以現有南港區各緊急救護能量（表 5）均無法承受如此巨大的災害衝擊，亟需仰賴跨區域的救護支援，若於事前無完整的規劃，必定延誤災時應變時間。而前述提及有關 PAC-1 範圍中的救護指揮站、檢傷治療區及車輛人員集結區等，皆可於化災初期交由南港區各救護單位部署成立，以利支援量能持續挹注。

相關救護部署配置區位，則可參考中研院甲醛擴散的 PACs 模擬範圍圖資，若化學品洩漏時的氣候條件為季節盛行風向（圖 5、圖 6），考量救護指揮站的設立位置著重於臨時醫療與車輛裝備集結空間，須以道路安全性較佳且便於後送醫院的廣域開放空間為首選，因此建議鄰近院區的開放式停車場（照片 1）得作為災害初期現場救護指揮站開設駐點。而若評估其它風向可能造成危害影響的範圍，則可參考全區域風向模擬圖（圖 7、圖 8），由圖可知，鄰近中研院的舊莊消防分隊因地處化災發生時須立即撤離的 PAC-3 警戒管制範圍內，故作為災害初期的救援單位，應於 PAC-1 區域中擇定適當的安全據點成立現場救災救護指揮樞紐。

而本研究於 2019 年 10 月開始進行實地調查，發現可在南港區中研里以北的四分河濱公園（照片 2）成立出入熱區的管制站，而災時救護指揮站、臨時治療區與車輛人員集結點則建議設立於研究院路一段交南港路一段的南汐公園（照片 3），因其腹地較大且出入口皆為無障礙通行空間，周邊交通均可通往化災專責醫院，應可使災害初期的整體緊急救護資源發揮極大功效。



照片 1 開放式停車場



照片 2 四分河濱公園



照片 3 南汐公園

伍、結論與建議

一、結論

本研究應用 ALOHA 氣體擴散軟體模擬中央研究院實驗室若不慎發生甲醛洩漏時，可能將引致的危害影響程度及初期救護能量配置，其結論如下所述。

(一) 甲醛擴散影響範圍

在 ALOHA 模擬甲醛洩漏的最嚴重情境（WCS）下，其危害影響範圍將因風向不同而有所差異。當氣候環境溫度愈高，引致的危害距離則愈廣，相較之下，風速與擴散範圍呈負相關，意指風速越強，PACs 的危害範圍越小且集中。本研究藉由 ALOHA 模擬中研院實驗室甲醛洩漏的結果發現，若氣候條件設定為盛行風向或最高風速時，危害範圍將僅侷限於西南或西南西方向，而若考量其它風向可能造成的災害衝擊，則須參考全區域擴散模擬圖資。

(二) 緊急救護能量分析

中研院生物化學研究所若發生毒化物洩漏意外時，將由南港區各消防救護駐點為主要救援單位。本研究以平均盛行風向及最高風速的氣候條件下進行模擬時發現，南港區各消防分隊均在 PAC-1 安全範圍內，而後續採用全區域風向模擬則顯示僅鄰近的舊莊消防分隊位於 PAC-3 的熱區內。為使初期災害應變行動得以發揮作用，一旦第一梯次抵達的舊莊消防分隊發現即時氣候條件非盛行風向時，則須立即擇定適當的臨時據點作為搶救指揮、臨時醫療及支援人力集結之中樞。而以目前南港區的緊急救護能量尚不足應付化災事件造成的威脅，僅能針對化災初期予以規劃資源部署，後續應衡量跨區域的救護支援能否完善運作。

(三) 救護服務範圍與送醫路徑安全性

為規劃災害初期可運用的救護能量，本研究依南港區各消防駐點作為救護服務範圍之探討對象，以評估救護資源配置的作業順序。結果發現舊莊消防分隊因距中央研究院僅約 150 公尺路程，故將其視為化災初期肩負救護指揮之任務，而南港消防分隊則為第二梯次抵達的支援單位，可協助完成前置救護後送的相關必要措施，以縮短後續救護支援單位的後送醫院時間。另南港區各救護服務範圍因均未涵蓋化災專責醫院，恐拉長送醫時間而影響救護能量，應重新檢視化災時救護調度之應變機制。而若評估中央研究院至臺北市各毒化災專責醫院的送醫路徑安全性，則須視即時風向狀況，如面對非季節盛行風向時，以南港區中研里北部交界處南側的研究院路二段最具危害威脅，應於其交界處設置出入管制站，以防止災情持續擴展。

二、建議

(一) 鄰近敏感地區之安全考量

依 ALOHA 模擬全區域甲醛擴散的危害範圍，鄰近敏感地區以學校及幼兒園類別涵蓋比例最高，相對其危害影響性較大。因此，建議政府公部門於規劃地區毒化災緊急應變計畫時，須多加留意境內學齡脆弱人口的移動性問題，針對其疏散動線與指定避難據點的安全性，應作為主要考量項目。

(二) 複合型災害之預防與應變規劃

本研究試圖以夏季與冬季的氣候條件模擬毒化災擴散範圍，進而規劃災害初期之緊急救護資源區位部署。然化災事件若係由大規模地震災害所引致，亦或極端強降雨造成路段淹水而導致交通動線受阻，將使化災搶救工作無法立即於第一時間發揮成效。有鑑於此，後續建議可將複合型災害情境納入各化災演習的預防與應變規劃內，以應付突發狀況發生。

(三) 研究限制與未來研究建議

1. 模擬情境限制

應用 ALOHA 境況模擬時有擴散時間與距離限制，其分析時間須為洩漏設定 60 分鐘內，且模擬求得的擴散距離將不超過 10 公里，另該軟體尚未考量大氣稀釋與植物吸收等影響，故模擬計算的範圍相對較保守，若實際用於毒化災現場，建議可搭配直讀式儀器 (Direct-Reading Instrument, DRI) 監測化學物質於環境中之濃度，以採行適當的應變措施。

2. 模擬條件限制

本研究因資料蒐集限制，無法獲取中研院各研究所的甲醛儲存量，故僅就甲醛存放位置與總使用量進行最嚴重情境（WCS）模擬，用以瞭解若不慎發生毒化災事故時，當地救護單位應如何妥善部署初期緊急救護區位，不致造成出勤人員傷亡及延誤災害應變時間。另本研究僅針對夏季與冬季平均（非）盛行風向與最高風速進行模擬，若為其它天氣條件，則視當時 PACs 管制範圍部署初期緊急救護之區位配置。

3. 未來研究建議

本研究聚焦於化災初期緊急救護區位部署，未來研究建議可運用類似演算法等方式，推估在面對不同類型的毒化災事件，需挹注多少的救護資源始足以因應大量傷病患事故。另本研究僅依 2018 年緊急救護案件的平均出勤反應時間與行駛車速予以計算南港區各救護駐點之服務範圍，未來若進行相關研究，除了建議增加歷年救護數據以貼近實際出勤狀況之外，亦可探討毒化災事故若係由交通意外造成時（如化學槽車翻覆等），其救護資源能量於災害現場或運輸動線上應如何妥善規劃與部署，避免人員暴露於高風險之危害下。

致謝

本研究由衷感謝臺北市政府消防局救災救護指揮中心及緊急救護科提供研究資料；另感謝兩位匿名委員提供寶貴審查意見，使文章修改更臻完整，謹致謝忱。

參考文獻

- 工業技術研究院（2018）*毒化災疏散避難作業與應變處置原則指引*，2019 年 9 月 18 日取自於 https://toxicdms.epa.gov.tw/News_/getFile.ashx?id=7303
- 中央研究院（2016）*中央研究院研究中心組織規程及編制表*，2020 年 4 月 15 日取自於 <https://www.sinica.edu.tw/en/articles/317>
- 交通部中央氣象局（2019）*觀測資料查詢系統*，2019 年 9 月 19 日取自於 <http://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/index.jsp>
- 行政院環境保護署（2019a）*毒災防救管理資訊系統*，2019 年 9 月 20 日取自於 <https://toxicdms.epa.gov.tw/>

- 行政院環境保護署 (2019b) *毒性化學物質簡介*, 2019 年 9 月 20 日取自於 <https://www.tcsb.gov.tw/cp-92-313-9da3e-1.html>
- 行政院環境保護署 (2018) *毒性化學物質災害防救業務計畫*, 2020 年 2 月 20 日取自於 <https://www.tcsb.gov.tw/dl-980-b57a7b42da244f71bfb20b8bc024c947.html>
- 直轄市縣市消防機關員額設置基準, 內授消字第 0940002472 號令 (2005 年 6 月 20 日)。
- 吳文祥、林進財、江宜蓁、彭廣興 (2008) 運用地理資訊系統於緊急醫療救護資源分布之研究-以臺北市及高雄市為例, *醫護科技學刊*, 10(1): 41-53。
- 周國祥 (2009) *緊急救護服務範圍之研究-以台北縣為例*, 臺灣大學地理環境資源學研究所碩士論文, 未出版, 臺北。
- 林祥安 (2011) *毒性化學物質災害疏散避難規劃之研究-以大園工業區為例*, 國立中央大學土木工程學系碩士論文, 未出版, 桃園。
- 毒性化學物質災害疏散避難作業原則, 環署毒字第 0950013674 號令 (2006 年 2 月 17 日)。
- 毒性及關注化學物質管理法, 總統華總一義字第 10800005221 號令 (2019 年 1 月 16 日)。
- 邱建凱、鄧子正 (2020) 應用 GIS 於都市邊緣地區急重症緊急救護之風險評估, *災害防救科技與管理學刊*, 9(1): 25-41。
- 高嘉懋 (2008) *到醫院前緊急醫療救護勤務機動性配置之研究*, 中國文化大學建築及都市計畫研究所碩士論文, 未出版, 臺北。
- 陳彥泊 (2015) *緊急救護服務及派遣原則之空間化研究*, 逢甲大學都市計畫與空間資訊學系碩士論文, 未出版, 臺中。
- 陳錦媽、黃國展 (2013) *ArcGIS 地理資訊系統入門與應用*, 初版, 新北市: 新文京開發出版股份有限公司。
- 陳冠豪 (2018) *運用有害氣體擴散模式(ALOHA)探討公共危險物品運作場所儲槽洩漏之危害-以安平工業區某壓克力工廠為例*, 吳鳳科技大學消防研究所碩士論文, 未出版, 嘉義。
- 道路交通安全規則, 交通部交路字第 10850124421 號令、內政部台內警字第 1080872962 號令 (2020 年 1 月 2 日)。
- 臺北市政府環境保護局 (2019) *毒性化學物質大量運作場所公開資訊*, 2019 年 9 月 15 日取自於 https://www.dep.gov.taipei/News_Content.aspx?n=46CF15C455648ECE&sms

=8E0B16DC6964C5D2&s=1284CCDE0EA07969

臺北市政府衛生局 (2019) 臺北市急救責任醫院急重症病人專科醫療處置能力總表, 2019 年 9 月 16 日取自於

<https://health.gov.taipei/News.aspx?n=061CB390E84FB59B&sms=EF332BC69D752D57>

臺北市政府消防局 (2019) 機關組織架構圖, 2019 年 9 月 24 日取自於
<https://www.119.gov.taipei/detail.php?type=article&id=14937>

臺北市政府民政局 (2019) 臺北市每月各里人口數及戶數, 2019 年 9 月 24 日取自於

<https://ca.gov.taipei/News.aspx?n=F98484FF6E3A5230&sms=D19E9582624D83CB>

謝惠紅 (2015) *地理資訊系統：Quantum GIS 實作範例*, 初版, 臺北市：華都文化事業有限公司。

Lnanloo, B. and Tansel, B. (2015) Explosion impacts during transport of hazardous cargo: GIS-based characterization of overpressure impacts and delineation of flammable zones for ammonia, *Journal of Environmental Management*, 156: 1-9. doi: 10.1016/j.jenvman.2015.02.044

Pasquill, F. and Smith, F.B. (1983) *Atmospheric Diffusion*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, US: New York.

U.S. Environment Protection Agency (2007) *ALOHA User's Manual*, Retrieved September 15, 2019 from

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P1003UZB.txt>

U.S. Department of Energy (2016) *Revision 29 Protective Action Criteria Chemicals with AEGLs, ERPGs, and TEELs*, Retrieved February 20, 2020 from
<https://edms.energy.gov/pac/TeelDocs>

附錄：Pasquill-Gifford 大氣穩定度分級表

風速 (m/s)	日照程度			夜間雲覆蓋量		任何時間
	高	中	低	略陰 $\geq 4/8$ 雲層	$\leq 3/8$ 雲層	陰天多雲
<2	A	A-B	B	F	F	D
2-3	A-B	B	C	E	F	D
3-4	B	B-C	C	D	E	D
4-6	C	C-D	D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D	D

資料來源：Pasquill and Smith (1983)