



氣候變遷與空氣品質對健康之衝擊

陳伶伶／國立臺北科技大學環境工程與管理研究所 研究助理教授

全球暖化與氣候變遷議題，伴隨著科技文明興起、生態環境改變、極端氣候加劇，已是全世界不得不面對的現象，對人類的生存環境造成嚴重衝擊。世界氣象組織（World Meteorological Organization，簡稱 WMO）與世界衛生組織（World Health Organization，簡稱 WHO）在 2012 年召開特別大會時，共同發表「圖解健康與氣候（Atlas of Health and Climate）」^[1]指出，如果我們為因應全球暖化與氣候變遷的問題，各國政府需建立有助於預測疾病與照顧弱勢及高齡族群的服務；2014 年聯合國氣候高峰會議結論提到，未來希望能夠透過全球各方面的共同協助與合作，以減緩氣候變遷可能帶來的影響與衝擊，WHO 亦將氣候變遷對健康的影響列為首要課題之一；WHO 與 WMO 後續於 2015 年共同推出「熱浪與健康預警系統指引（Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development）」^[2]，持續的結合氣候相關的議題與資訊，提供更多的健康服務。

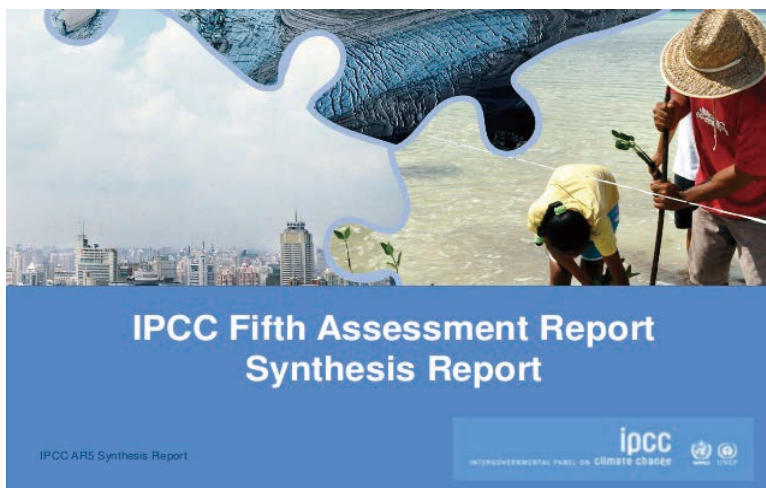
簡介

Anthony Costello 等人^[3]研究指出，氣候變遷是 21 世紀對人類健康最大的衝擊；政府間氣候變化專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change，簡稱 IPCC）於 2014 年提出第五次氣候變遷評估報告（The Fifth Assessment Report，簡稱 AR5）^[4]，將氣候變遷對人類的衝擊分為「直接衝擊」與「間接衝擊」，前者定義為溫度變化造成冷／熱傷害及乾旱、水災、暴雨等極端事件造成之意外傷害（如：死亡率與致病率增加），依據 WHO 於 2012 年提出「氣候變遷與健康的十個事

實」(10 facts on climate change and health)^[5]報告指出，推估在 90 年代，氣候變遷造成的熱浪、暴雨、洪水等極端氣候事件，可能造成全球大約 60 萬人死亡，且依據國際災害資料庫（International Disaster Database, EM-DAT）統計 2000 年至 2009 年的天然災害造成的經濟損失高達 8,900 美元^[6]；後者主要是因為溫度與雨量改變，影響生物的生長與分布，或是溫度上生造成二次空氣污然物（如：臭氧與懸浮微粒）的生成，影響呼吸道及心臟血管疾病的盛行率增加，依據華盛頓大學健康與指標評估研究所（Institute for Health Metrics

and Evaluation）於 2017 年 10 月 29 日在 The Lancet 刊登的研究結果指出，2015 年約有 900 萬人死於空氣污染的問題，即全世界每 6 名死者中，就有一人因空氣、水、土壤及工作環境污染引起的疾病死亡，且空氣污染對全球經濟造成沉重負擔，估計每年因空氣污染造成的經濟損失達 4.6 兆美元，佔全球經濟 6.2%^[7]。

由此可知，氣候變遷與空氣污染底卻會對健康造成衝擊與危害，因為兩者間具有關係性，氣候變遷使地方氣候、降雨模式、日照時數等產生變化，因此間接影響空氣中有



害人體健康的物質濃度，本文將介紹氣候變遷與空氣品質對於健康的衝擊，提供環工（環管）跨領域研究者參考。

氣候變遷對空氣品質之衝擊

氣候變遷造成的健康衝擊可能包括極端溫度（高溫或低溫）、空氣污染、水災、乾旱及傳染病^[8]，對於兒童、少年、身心障礙者及年長者等脆弱族群（fragile populations），因氣候變遷引發的極端天氣事件，可用資源、認知與危機意識不足，因應環境變化較脆弱，健康危害風險較高，如以患有心血管疾病或面性病的年長者來說，因應氣候變化的能力較差，容易生病或使原有疾病惡化，相對增加患病率及死亡率。另如溫度上升會使二次空氣污染物（如臭氧與懸浮微粒）生成，會影響呼吸道與心血管疾病的就診和死亡增加。

研究指出氣候變遷對於空氣污染物最顯著之影響是臭氧^[9,10]，臭氧的濃度會受到經濟發展、能源使用和當地氣候條件等的影響^[11]。美國環保署研究指出^[12]，美國多數地區因氣候變遷衝擊，高度可能會造成地表臭氧濃度上升，夏季每日最大臭氧連續監測 8 小時後，臭氧值會增加 2 ~ 8ppb，極端氣候條件下，臭氧濃度大幅上升的機會增加，然報告也指出，這樣的研究結果仍是會受到假設及排放物空間及濃度的影響。此外，溫度上升使氣象條件改變，對空氣中的懸浮微粒行程機制也產生變化，因為溫度會間接促成二次微粒的產生，可能造成區域性的懸浮微粒污染濃度增加或降低^[13]。歐洲就氣候變遷與當地污染排放對葡萄牙婆爾圖程式的衝擊進行研究，研究指出在 2046 至 2065 年間，因氣候變遷衝擊，使得都市氣溫上升，空氣變得乾燥，進而使的臭氧與懸浮微粒的濃度提升，進而導致空氣品質不佳^[14]。

氣候變遷與空氣品質對健康之衝擊

國家衛生研究院整理 2010 年至 2016 年國內外極端溫度與健康衝擊 14 篇相關研究文獻發現，年長者確實為臺灣高溫情境下之高風險族群，心血管及呼吸道等疾病會與大氣溫度具顯著風險相關性^[15]。如極端高溫（大於 31°C 以上）對於患有心血管疾病的患者，一般最有可能在溫度最高的那天，死亡風險最高^[16]；日夜溫差對 65 歲以上年長者心血管與呼吸道疾病有顯著影響，且會隨著地理位置與溫度的變化，影響健康的情況也不同^[17]。

Kjellstrom 等人^[18]研究指出，氣候變遷與氣候變化對於慢性疾病有負面的影響，簡而言之，即氣候變遷的影響，會使環境條件改變，產生相對應的事件發生，進而對健康造成衝擊。如：人類暴露於熱浪環境中，可能產生缺水、心血管疾病、呼吸道疾病和腎臟疾病等現象，致病或致死情況增加；人類暴露於空氣污染環境中，可能產生心血管疾病、呼吸道疾病和氣喘發作等現象，致病或致死情況增加。此外，慢性病死具有季節性^[19]，尤其是心血管疾病^[20]。由此可知，氣候變遷衝擊下，溫度上升與極端溫度事件（如熱浪），以及氣候變遷與空氣污染的交互影響，會影響人類的心血管及呼吸道疾病。

心血管系統疾病

全球溫度上升，會影響人類身體的健康效益，如：心肌梗塞、缺血性中風住院、心臟病等，最嚴重則會導致總心血管疾病死亡^[21-23]。

另全球極端溫度事件發生頻率日益增加，如極端高溫/低溫，國際間也開始逐漸探討有關極端溫度事件與健康的衝擊評估，然目前尚未有統一的標準或方法進行健康衝擊評估，多以溫度百分比為分類準則，如：極端高溫定義範圍有 99.5、99、97、95 及 90 百分位溫度值，極端低溫定義範圍則 1、5 及 10 百分位溫度值^[24]。Chung 等人（2015）研究 1994 年至 2007 年臺灣極端溫度事件（極端高溫與極端低溫）對總心血管系統疾病的相關性，研究發現極端高溫對人類身體健康衝擊為立即性，另極端低溫對人類身體健康衝擊為延遲性。國外研究多以討論熱浪事件對總心血管系統疾病的相關性，如：紐西蘭 1979 年至 1997 年熱浪事件導致總心血管疾病死亡的風險增加 1.86%^[25]；美國 1999 年至 2010 年熱浪事件導致熱中風就醫的相關風險為 2.54^[26]；東亞四國 1979 年至 2010 年溫差在 6.4 度至 12.6 度將可能會導致總心血管疾病死亡，溫度增加 1 度，導致總心血管疾病死亡風險增加 0.81%^[17]。

此外，溫度升高會使得二次空氣污染物（如：臭氧與懸浮微粒）等生成，且人類暴露於空氣污染物下會對其健康產生衝擊，即氣候變遷（如：溫度）與空氣污染（如：臭氧與懸浮微粒）對健康疾病（如：心血管疾病死亡）交互影響，會造成健康衝擊（如：增加死亡風險），相關研究結果已知與心血管系統疾病死亡率增加有關。如：Li 等人（2011）研究中國 2007 年至 2009 年間，氣溫與懸浮微粒對總心血管疾病死亡的

交互影響，研究結果發現，在高溫下，懸浮微粒暴露會增加總心血管疾病風險 0.92%，溫度與空氣污染間具有交互作用；Sario 等人（2013）研究歐洲 1990 年至 2004 年間，熱浪／高溫與臭氧／懸浮微粒對心血管疾病死亡的交互影響，研究結果發現，熱浪／高溫與臭氧／懸浮微粒對心血管疾病死亡具正向交互作用。國內也有相關研究運用次級資料（如：全民健保資料、死亡登記、中央氣象局氣象因子監測資料、環保署空氣污染物監測資料）分析氣候與健康的相關性。如：Lin 等人^[27]研究臺灣北部、中部及南部都會區 2000 年至 2008 年間，極端高溫／低溫對總心血管疾病死亡的交互影響，研究結果發現，在極端高溫下，導致總心血管疾病死亡之相對風險 1.08，另在極端低溫下，導致總心血管疾病死亡之相對風險 1.20。

呼吸系統疾病

全球溫度上升、極端氣候事件頻率增加、氣象條件與空氣污染的交互作用，如心血管系統疾病一樣，也會影響人類的呼吸系統疾病。如：溫度上升導致總呼吸系統疾病死亡及總呼吸系統疾病就醫的增加，Chung 等人^[21]研究指出，1994 年至 2003 年臺北市總呼吸系統疾病死亡，溫度每上升 1 度，總呼吸系統疾病死亡的風險增加 9.3%；Lin 等人^[22]研究美國紐約 1991 年至 2004 年間總呼吸系統疾病就醫情況，溫度每上升 1 度，總呼吸系統疾病就醫的風險增加 2.7%；Ostro 等人^[23]研究美國加州 1999 年至 2005 年總呼吸道疾病的情況，溫度每上升 1 度，總呼吸道疾病住院的風險增加 0.50%。另極端溫度事件及溫差也會導致總呼吸系統疾病就醫與死亡情況增加。如：Huynen 等人^[25]研究 1979 年至 1997 年熱浪事件對總呼吸系統疾病死亡的影響，研究結果發現，熱浪頻率增加，導致總呼吸系統疾病死亡的風險增加 12.82%；Chung 等人^[21]研究 1992 年至 2006 年美國極端高溫對總呼吸系統疾病就醫的影響，研究結果發現，在極端高溫下，導致人類總呼吸系統疾病就醫的風險增加 4.3%；Kim 等人^[17]研究 1979 年至 2010 年間東亞四國在溫差 6.4 度至 12.6 度間對總呼吸系統疾病死亡的影響，研究結果發現，溫差增加 1 度，導致人類總呼吸系統疾病死亡的風險增加 0.90%。

氣候因子與空氣污染物的暴露具交互影響，除增加心血管系統疾病就醫與死亡的風險外，對於氣喘與呼吸系統疾病死亡也有所衝擊。如：Sheffield 等人^[28]研究

1990 年至 2020 年間美國在氣候變遷變化之下，氣喘急診情形，研究結果預測未來 30 年間因環境變遷導致臭氧會增加 2.7 ~ 5.3ppb，氣喘急診頻率因而增加 7.3%；De Sario 等人^[29]研究 1990 年至 2004 年歐洲熱浪事件與懸浮微粒交互作用，對人類呼吸系統疾病死亡的相關性，研究結果發現，熱浪與懸浮微粒具正向交互作用。

國內研究亦顯示溫度上升、極端高溫／低溫、氣象因子與空氣污染對呼吸系統疾病之交互影響，會導致總呼吸系統疾病、肺阻塞、氣喘等死亡及就醫頻率增加。如：Lin 等人^[16]研究臺灣北部、中部及南部都會區 2000 年至 2008 年間，極端低溫對總呼吸系統疾病門診的影響，研究結果發現，極端低溫對總呼吸系統疾病門診的累積相對風險為 18% 至 31%；Tseng 等人（2013）研究全臺灣 1999 年至 2009 年氣溫變化對肺阻塞的影響，研究結果發現，溫度每降 5 度，風險增加 10.6%；Lin 等人^[16]研究 2000 年至 2009 年台北氣溫與臭氧的交互作用下，總呼吸系統疾病就醫及氣喘就醫的影響，研究結果發現，總呼吸道就醫在低溫度下，臭氧暴露之相對風險 1.10，氣喘就醫在低溫度下，臭氧暴露之相對風險 1.18；Hwang 等人^[30]研究臺灣溪南部 2008 年至 2010 年冬春季與細懸浮微粒對肺阻塞的影響，研究結果發現，細懸浮微粒每增加 10 mg/m³，相對風險增加 25%。

結論

國內外針對氣候變遷對心血管系統疾病及呼吸系統疾病影響的研究，可以得知溫度上升、極端氣候事件（如：高溫、低溫及熱浪）頻率增加，導致心血管系統疾病及呼吸系統疾病的發病、就醫及死亡具有相關性。另氣象條件與空氣污染物的交互影響，會增加人類心血管系統疾病及呼吸系統疾病的風險。

近年臺灣地方縣市整府因應氣候變遷議題，逐漸重視因應氣候變遷之健康調適作為。2010 年至 2015 年臺灣各縣市政府因應氣候變遷之健康調適擬定調適能力計畫，包括：增溫、降雨不均、劇烈降雨、颱風強度、海平面上升及空氣污染等六項氣候因子，其中，增溫與劇烈降雨兩項氣候因子為各縣市政府調適能力計畫的主要兩項氣候因子，颱風強度及空氣污染則兩項氣候因子尚未受到多數縣市政府的考量。根據 IPCC 發佈 AR5 報告提到，未來空氣品質（近地表的臭氧與細懸浮微粒濃度）的推估，具高可信度是因全球暖化

造成全球地表臭氧濃度背景下降，使地面臭氧濃度背景直在 21 世紀末平均大約上升 8ppb，局部地表高溫的化學反應與局部區域性回饋作用，將可能使臭氧與細懸浮微粒濃度質升高 (IPCC, 2014)。從目前各縣市政府的調適能力計畫來看，較著重於道路粉塵及室內外空氣品質改善設計，然氣候變遷對空氣品質之衝擊，會受到環境變遷、環境政策、經濟發展及社會活動等影響，未來需要更多研究科學證據支持。

最後，氣候變遷議題，僅評估單領域的衝擊與健康風險，往往會低估氣候變遷衝擊的影響層面，特別是大部分的研究者專精於本身所擅長的領域，往往會讓跨領域研究變成多領域研究，較少進一步在評估過程當中，考慮領域間之交互影響作用^[31]。如本文介紹氣候變遷與空氣品質對健康之衝擊，即屬於跨領域議題，透過本文的了解，可以知道氣候變遷、空氣品質或健康各領域之間已有重疊的部分，然各領域間仍需要持續透過各領域原有的基礎，再加以透過資訊與知識交流，相互討論與探討，循序漸進的衍生新型態領域，是一種科學研究整合結果與創新突破。期許同身為環工（環管）領域的研究者／學者，共同持續努力，持續強化各領域的合作與研究，著重因應氣候變遷之調適能量，以降低衝擊對人類造成的健康危害。

參考文獻

- World Health Organization (2012), Atlas of Health and Climate, <http://www.who.int/globalchange/publications/atlas/report/en/>.
- World Health Organization (2015), Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development, http://www.who.int/globalchange/publications/WMO_WHO_Heat_Health_Guidance_2015.pdf.
- Anthony Costello *et al.* (2009), Managing the health effects of climate change, *The Lancet Commissions*, Vol. 373, No. 9676, pp. 1693-1733.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2014), The Fifth Assessment Report.
- World Health Organization (2012), 10 facts on climate change and health, http://www.who.int/features/factfiles/climate_change/en/.
- 行政院 (2011)·民國 100 年災害防救白皮書。
- Landrigan, P. J. *et al.* (2017), Pollution and health, *The Lancet Commissions*, [http://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(17\)32345-0/abstract](http://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(17)32345-0/abstract).
- 衛生福利部 (2014)·因應氣候變遷之健康衝擊政策白皮書。
- Langmer, J. *et al.* (2005), Impact of climate change on surface ozone and deposition of Sulphur and nitrogen in Europe, *Atmospheric Environment*, Vol. 39, No. 6, pp. 1129-1141.
- Racherla, P. N. and Adams, P. J. (2008), The response of surface ozone to climate change over the Eastern United States, *Atmospheric chemistry and physics*, No. 8, pp. 871-885.
- Syri, *et al.* (2002), Modeling the impacts of the Finnish Climate Strategy on air pollution, *Atmospheric Environment*, No. 36, pp. 3059-3069.
- EPA, U. S. (2009), Environmental Protection Agency Assessment of the impacts of global change on regional U.S. air quality: A Synthesis of Climate Change Impacts on Ground-Level Ozone, an Interim Report of the U.S. EPA Global Change Research Program, Washington, D.C.
- EPA, U. S. (2003), Environmental Protection Agency: Guidelines for developing an air quality (Ozone and PM2.5) Forecasting Program. EPA-456/R-03-002.
- Sa, *et al.* (2016), Climate change and pollutant emissions impacts on air quality in 2050 over Portugal, *Atmospheric Environment*, No. 131, pp. 209-224.
- 國家衛生研究院 (2017)·氣候變遷與健康。
- Lin, Y. K. *et al.* (2013), Temperature effects on hospital admissions for kidney morbidity in Taiwan, *Sci Total Environ*, Vol. 443, pp. 812-820.
- Kim, J. *et al.* (2016), Comprehensive approach to understand the association between diurnal temperature range and mortality in East Asia, *Sci Total Environ*, Vol. 1, No. 539, pp. 313-321.
- Kjellstrom, T. *et al.* (2010), Public health impact of global heating due to climate change: Potential effects on chronic non-communicable diseases, *Int J Public Health*, Vol. 5, No. 2, pp. 97-103.
- Vilkman, *et al.* (1996), Seasonal variation in hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease in Finland, *Arctic Medical Research*, Vol. 55, No. 4, pp. 182-186.
- Nhulén, *et al.* (2016), Seasonal Influenza Infections and Cardiovascular Disease Mortality, *JAMA Cardiol*, Vol. 1, No. 3, pp. 274-281.
- Chung, J. Y. *et al.* (2009), Ambient temperature and mortality: An international study in for capital cities of east Asia, *Science of The Total Environment*, Vol. 408, No. 2, pp. 390-396.
- Lin, S. *et al.* (2009), Extreme high temperatures and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases, *Epidemiology*, Vol. 20, No. 5, pp. 738-746.
- Ostro, B. *et al.* (2010), The effects of temperature and use of air conditioning on hospitalizations, *Am J Epidemiol*, Vol. 172, No. 5, pp. 1053-1061.
- Chung, Y. *et al.* (2015), Mortality related to extreme temperature for 15 cities in northeast Asia, *Epidemiology*, Vol. 26, No. 2, pp. 255-262.
- Huynen, M. *et al.* (2001), The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population, *Environ Health Perspect*, Vol. 109, No. 5, pp. 463-470.
- Bobb, J. F. *et al.* (2014), Cause-specific risk of hospital admission related to extreme heat in older adults, *JAMA*, Vol. 312, No. 24, pp. 2659-2667.
- Lin, Y. K. *et al.* (2011), Mortality risk associated with temperature and prolonged temperature extremes in elderly populations in Taiwan, *Environ Res*, Vol. 111, No. 8, pp. 1156-1163.
- Sheffield, P. E. *et al.* (2011), Modeling of Regional Climate Change Effects on Ground-Level Ozone and Childhood Asthma, *Am J Prev Med*, Vol. 41, No. 3, pp. 251-257.
- De Sario, M. *et al.* (2013), Climate change, extreme weather events, air pollution and respiratory health in Europe, *Eur Respir J*, Vol. 42, No. 3, pp. 826-843.
- Hwang, S. L. *et al.* (2016), Association between Atmospheric Fine Particulate Matter and Hospital Admissions for Chronic Obstructive Pulmonary Disease in Southwestern Taiwan: A Population-Based Study, *Int J Environ Res Public Health*, Vol. 13, No. 4, pp. 1-9.
- Klein, J. T. (2008), Evaluation of interdisciplinary and transdisciplinary research: A literature review, *Am J Prev Med.*, Vol. 35, (2 Suppl), pp. 116-123. 