

# 提升國人氣候變遷之健康識能與調適策略研究計畫

## 『氣候變遷所致之健康及社會支出評析：以心血管疾病為例』

計畫主持人：張靜貞

計畫參與人員：張靜貞 許家勝 許聖民

委託單位：國家衛生研究院

### 研究動機

近年來氣候變遷對於台灣心血管疾病有明顯之影響，根據台灣公共衛生雜誌（2011）之研究—極端氣溫對台灣都會區65歲以上族群心肺疾病死亡之風險趨勢分析顯示，發現近十年來台灣都會區極端高溫事件發生頻率有增加的趨勢，但低溫事件頻率則漸減；極端高低溫對三大都會區65歲以上老年族群會造成全死因及心血管死因的增加，可得知氣候變遷對於心血管疾病死亡有相當的影響。而其中有關心血管疾病死亡主要包括死亡風險以及就醫風險，故本研究將更深入探討分析氣候變遷對於心血管疾病之死亡風險以及就醫風險之分析。

### 資料說明與模型設定

我們依據過去文獻提及影響心血管疾病死亡及就醫之重要因子，分別建立心血管疾病損害模型及心血管疾病醫療支出模型如下

$$D_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{Summer}_{it} + \beta_2 \text{Winter}_{it} + \beta_3 \text{SD}_{it} + \beta_4 \text{Rain}_{it} + \beta_5 \text{PSI}_{it} + \beta_6 \text{Income}_{it} + \beta_7 \text{Income}_{it}^2 + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$\ln \text{Expenditure}_{it} = \theta_1 + \alpha_0 + \alpha_1 \ln \text{Summer}_{it} + \alpha_2 \ln \text{Winter}_{it} + \alpha_3 \ln \text{SD}_{it} + \alpha_4 \ln \text{Rain}_{it} + \alpha_5 \text{PSI}_{it} + \alpha_6 \ln \text{Income}_{it} + \alpha_7 \ln \text{Elder}_{it} + \alpha_8 \ln \text{Child}_{it} + \alpha_9 \ln \text{Labor}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式1中 $D_{it}$ 為每一年各縣市之心血管疾病死亡人數； $\text{Summer}_{it}$ 為每一年各縣市之夏季（6-8月）平均溫度； $\text{Winter}_{it}$ 為每一年各縣市之冬季（12-2月）平均溫度； $\text{SD}_{it}$ 為每一年各縣市之溫度變異； $\text{Rain}_{it}$ 為每一年各縣市之平均降雨量； $\text{PSI}_{it}$ 為每一年各縣市之空氣污染指數； $\text{Income}_{it}$ 為每一年各縣市之實質家庭所得；式2中之 $\text{Expenditure}_{it}$ 為每一年各縣市之實質心血管疾病醫療支出； $\text{Elder}_{it}$ 、 $\text{Child}_{it}$ 以及 $\text{Labor}_{it}$ 分別表示每一年各縣市之老齡（65歲以上）、幼齡（14歲以下）以及勞動力（15-64歲）之人口數

- 針對式1，應用Panel Poisson及Panel Negative Binominal模型估計，依據各項檢定結果，選出配適度最好之估計模型，說明氣候及環境社經因子對心血管疾病死亡風險之長期影響。
- 針對式2，應用縱橫資料模型以及一般化動差法進行估計，以解決社經變數中常見的內生性問題，方可分析氣候因素對心血管疾病醫療支出之長期影響。

### 研究結果

1. 溫度為影響心血管疾病死亡之關鍵因素，夏季溫度每增加1°C會導致心血管疾病之死亡人數增加2.9%；冬季溫度每降低1°C會導致心血管疾病死亡人數增加1.3%。
2. 冬季溫度對心血管疾病醫療支出有顯著之影響，夏季溫度每上升1%，會導致心血管疾病之醫療支出增加1.371%；冬季溫度每降低1%，會導致心血管疾病之醫療支出增加0.469%。
3. 家庭實質所得與心血管疾病醫療支出為負向關係，當家庭實質所得增加1%，心血管疾病醫療支出會減少0.678%。
4. 結合未來TCCIP氣候變遷推估以及GEMTEE推估至2060年之各年齡層人口資料，推得2021-2060年各年齡族群（幼齡、勞動、老齡）之氣候變遷致心血管疾病死亡人數以及致心血管疾病醫療支出之增加。
5. 圖1為未來相對於過去20年勞動人口平均之百分比，在氣候變遷越劇烈之情境會造成越嚴重之勞動力損失。
6. 圖2之醫療支出波動範圍為隱含過去歷史值之氣溫變異及降雨變異所致，觀測到未來心血管疾病醫療支出之變化受到老齡化及人口少化之影響，約在2021-2045年間呈現逐年增加，約在2045-2047年之後開始呈現遞減之現象。

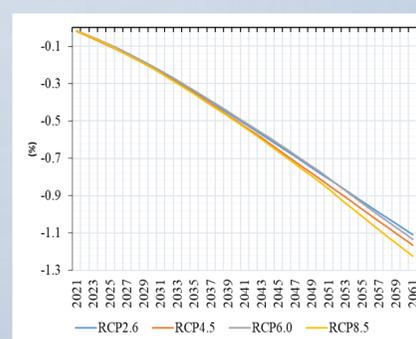


圖1、氣候變遷致心血管疾病之勞動力損失比例

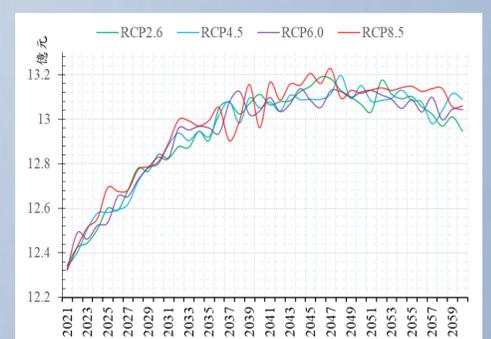


圖2、氣候變遷及老齡化下臺灣心血管疾病醫療支出增加

### 情境設定

- 我們結合TCCIP模擬之氣候情境資料，計算未來在各氣候情境下，氣候變遷對人口變化與醫療支出的影響。
- 以代表濃度途徑（Representative Concentration Pathways, RCP）定義未來變遷的情境，並以輻射強迫作用在2100年與1750年之間的差異量當作指標性的數值來區分之。被命名為RCP2.6的情境意味著每平方公尺的輻射強迫作用在2100年增加了2.6瓦，而RCP4.5、RCP6.0與RCP8.5則代表每平方公尺的輻射強作用分別增加了4.5、6.0與8.5瓦。
  - ✓ RCP2.6是暖化減緩的情境，輻射強迫作用在2100年呈減少趨勢
  - ✓ RCP4.5與RCP6.0是屬於穩定的情境，輻射強迫作用的變化在2100年呈較為穩定狀態
  - ✓ RCP8.5則是溫室氣體高度排放的情境，輻射強迫作用在2100年呈持續增加趨勢

### 結論

- 心血管疾病之主要病患族群為老齡族群。而未來臺灣社會即將邁入高齡化社會，心血管疾病之醫療支出勢必會隨著老年人口增加而逐年增加，因此如何適當分配醫療資源，建立相關疾病之老齡人口照護措施，為當前亟需探討之議題。
- 貧窮族群越需要心血管疾病之醫療照護，涉及醫療資源之公平分配問題，值得再進一步探討。
- 預期氣候暖化會隨著時間進行而對臺灣之民眾健康造成更嚴重之影響，造成整體經濟之損失也越巨大，長期而言，應積極規劃各項溫室氣體長期減量目標，以達到減緩氣候變遷之效果，進而減低氣候變遷導致之健康風險及社會、經濟之影響。另一方面，可從事前預防的角度建立調適措施，以降低氣候變遷導致之健康、社會及經濟損失。

# 因應氣候變遷對空氣品質影響 建立預警機制與調適策略

曾昭衡,台北科技大學環境工程與管理研究所教授  
陳伶伶,台北科技大學環境工程與管理研究所研究助理教授  
黃凱蘭,台北科技大學環境工程與管理研究所碩士班研究生



## 摘要

本研究以「氣候變遷對空氣品質衝擊評估模式」(曾昭衡, 2009), 模擬台灣地區歷史空氣品質後, 由氣候變遷模式及預設情境等資料, 將未來溫度、雨量、風速(氣候因素)及排放量(人為因素)代入模式, 即可推估未來的空氣品質。目前已完成北部空品區一般自動測站歷年(2005年—2016年)的空氣品質PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、CO、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、O<sub>3</sub>濃度受氣候(溫度、雨量、風速)影響之分析, 並探討未來氣候變遷所引起的空氣品質變化。在空氣污染物排放量固定不變時的情形下, 未來北部空品區各污染物大部分都會改善, 以此氣候變遷衝擊評估模式為基礎, 建立預警機制。

氣候變遷對空氣品質管理的調適策略, 即因氣候變遷導致空氣品質惡化之虞時, 政府必須針對可能惡化的污染物種類、地點(縣市)、時間(季節或月份), 加嚴固定污染源或移動污染源管制措施。

## 研究背景目的

目前各國關於大氣擴散條件改變影響空氣品質的研究眾多, 但皆屬於即時性、季節性或是1~3年的短期性預測。至於長期且大尺度的全球氣候變遷, 如何影響短時間且小尺度之空氣品質研究較為缺乏。然氣候變遷有其不確定性, 如何選擇空氣涵容能力預警指標與分析工具, 並建立預警機制是本研究之目標。有效的環境管理必須有長期規劃策略與短期操作計畫, 且必須能同時因應環境變遷與調適。研究目的如下:

- 以濃度/排放量線性關係係數、空氣污染物濃度累積頻率分析及其他可行之參數, 建立氣候變遷對空氣品質衝擊評估模式。
- 分析預測北部空品區6種空氣污染物(PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、CO、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、O<sub>3</sub>)濃度在長、中、短期, 超出預警門檻頻率、地點、污染物種、發生顯著性變化的時間及變化程度。
- 建立空氣品質預警機制及整合氣候變遷調適評估的管理策略, 以利國內氣候變遷對空氣品質影響為基礎。

## 氣候變遷資料與研究方法

- **排放資料:**  
本研究歷年空氣污染物排放量使用環保署2016年公布之「台灣地區空氣污染排放清冊」(Taiwan Emission Data System, TEDS 9.0)所推估之年排放量。
- **模式準確度分析:**  
本研究使用平均絕對百誤差(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)表示預測與實際濃度兩者之間之誤差, 以衡量本研究預測未來濃度的準確性。
- **氣候變遷資料:** 本研究利用IPCC全球環流模式(GCM) 英國MOHC之HadGEM2-ES預測台北未來溫度、雨量、風速歷史監測數據來修正之, 未來情境模擬則是使用RCP2.6及RCP8.5情境, 以模擬未來所有可能變化之範圍。
- **氣候變遷對空氣品質衝擊評估模式(曾昭衡, 2009):** 此模式採用回饋推估法(Roll Back Method)來描述空氣品質與空氣污染物排放量之關係。

為了量化及預測未來氣候變遷對空氣品質的衝擊, 首先由歷史資料建立空氣品質與溫度及雨量的關係模式, 即假設:

$$C = m * P$$

$$m = f(T, R, W) = a * T + b * R + c * W + d$$

其中

C: 空氣污染物濃度, ppm

P: 排放量, ton/month

m: 濃度/排放量線性關係係數(濃度/排放量比例)

T: 月平均溫度, °C

R: 月平均雨量, mm

W: 月平均風速, m/sec

a, b, c, d: 常數, 隨地區及空氣污染物種類不同而異。

- m值僅受到氣候變遷(溫度、雨量、風速)而改變, m與P值互相獨立不受影響。

- 在未來情境模擬時, 假設未來P值等同現況2017年之P值。

## 初步研究成果

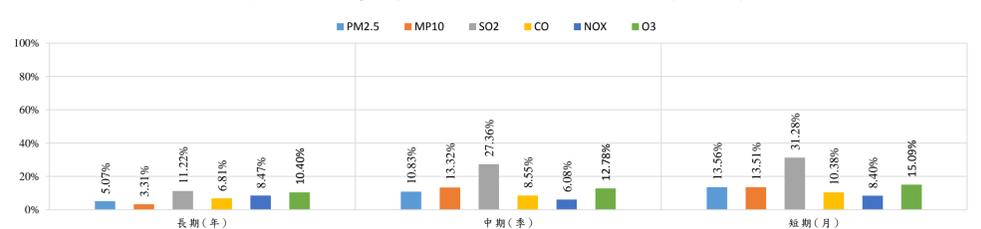
右上圖利用氣候變遷對空氣品質衝擊評估模式"模擬之北部空品區歷史污染監測濃度與模擬結果之誤差(MAPE)圖, 模擬解析度分別為長期(年平均)、中期(季平均)及短期(月平均), 以長期結果來看各污染物MAPE皆在預測準確度優良之範圍, 則中、短期各污染物MAPE有逐漸增加的趨勢, 原因為TEDS 9.0排放量以年為單位, 本研究將年排放量以線性內插法的方式推估逐月空氣污染物排放量, 因此排放量趨勢和現實有些許誤差, 但預測準確度皆在可接受範圍內。

右中、下圖為歷史(2005-2016年)未來(2017-2099年)PM<sub>2.5</sub>及O<sub>3</sub>污染物濃度變化, 分析結果如下說明:

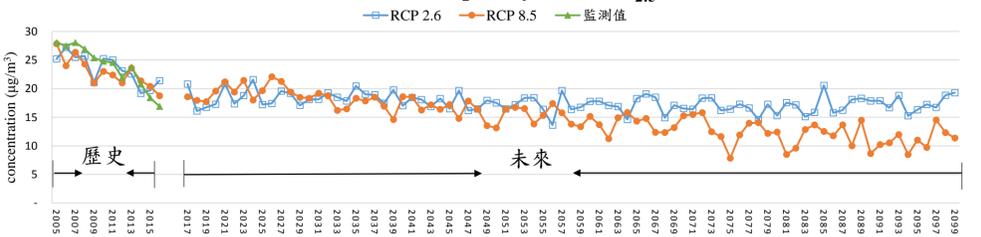
- **歷史:** PM<sub>2.5</sub>模擬值與監測值趨勢相近, 而O<sub>3</sub>模擬值除2005-2007年外亦相近; 而監測值之濃度則為下降之趨勢, 兩者之間差異在於O<sub>3</sub>為二次污染物, 容易受到外界環境影響, O<sub>3</sub>濃度變化大, 也是造成MAPE比其它污染物高之因原。

- **未來:** 本研究在觀查未來氣象因子發現溫度增加1.49~5.72°C, 雨量變化大, 風速則無明顯變動。然而溫度不斷上升為主要影響空氣品質之因素。右圖PM<sub>2.5</sub>及O<sub>3</sub>在RCP8.5情境中未來溫度提高而兩者污染濃度有明顯下降之趨勢, 由於溫度的提高使得混合層高度增加, 因而使大氣擴散能力增加, 故造成空氣污染物濃度降低。

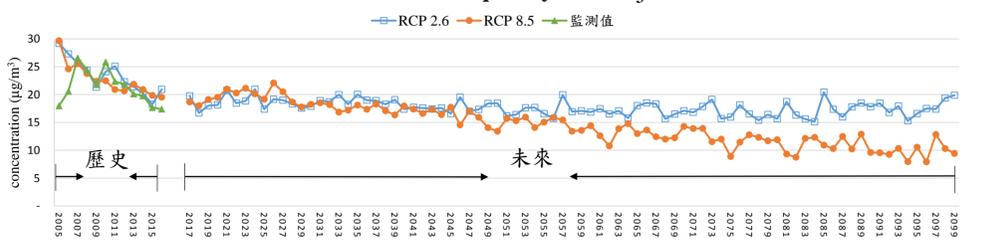
北部空品區歷史污染監測濃度與模擬結果之誤差(MAPE)圖



Northern air quality area PM<sub>2.5</sub>



Northern air quality area O<sub>3</sub>



# 氣候變遷對臺灣埃及斑蚊分布的影響

傅宗禴<sup>1,2</sup>、劉宇倫<sup>1</sup>、郭宏偉<sup>1</sup>

<sup>1</sup>衛生福利部疾病管制署 <sup>2</sup>國家災害防救科技中心

## 研究背景

埃及斑蚊與白線斑蚊為臺灣登革熱的兩大病媒蚊，白線斑蚊廣布全臺海拔 1500 公尺以下的平地區，埃及斑蚊目前只分布在北迴歸線以南且海拔 1000 公尺以下的地區。由於埃及斑蚊較具傳播登革熱病毒能力的生物特性，故為造成臺灣登革熱大規模疫情爆發的主要媒介。氣溫與降雨則為影響病媒蚊分布的兩大氣候因子。臺灣氣候變遷推估與資訊平台(TCCIP)提供的《臺灣氣候變遷科學報告2017》指出，百餘年來(1900-2012)的全臺均溫、平均日最高溫、平均日最低溫分別上升了約 1.3°C、0.8°C、1.7°C，南部山區在 2000 年後豪雨與大豪雨的發生次數增加，近百年(1911-2011)以 20 年為年代際極端乾期事件發生的頻率增加，近四十年(1970-2010)侵臺颱風影響時間變長且總雨量變多，顯示臺灣的氣溫與降雨型態正逐漸改變。因此，客觀推估埃及斑蚊在未來氣候變遷情境下的分布變化，是未來登革熱防治資源分配的重要參考依據。

## 資料與方法

利用 TCCIP 提供的網格化歷史觀測氣象資料，將 2003–2011 年的日氣溫與日降雨量以鄉鎮市區為單位進行整合後視為自變數，同時期鄉鎮市區有無埃及斑蚊分布的情形視為應變數。先以因素分析作為分群方法將自變數進行適當的整合，再透過以彈性網為懲罰項(elastic-net penalty)的懲罰羅吉斯回歸篩選出最具解釋力的整合變數後，建立埃及斑蚊分布指標。

本研究考慮五種全球氣候模式(GCM)來繪製未來氣候變遷下的埃及斑蚊分布地圖(危害地圖)，繪製地圖是採用 TCCIP 提供的高解析度(5公里x5公里)統計降尺度網格資料。未來氣候變遷情境設定為政府間氣候變遷委員會第五次評估報告(IPCC AR5)的溫室氣體高度排放情境(RCP 8.5)，並比較五種 GCM 下，近未來(2016–2035年)、遠未來(2046–2065年)、世紀末(2081–2100年)的埃及斑蚊可能分布範圍。

## 研究結果

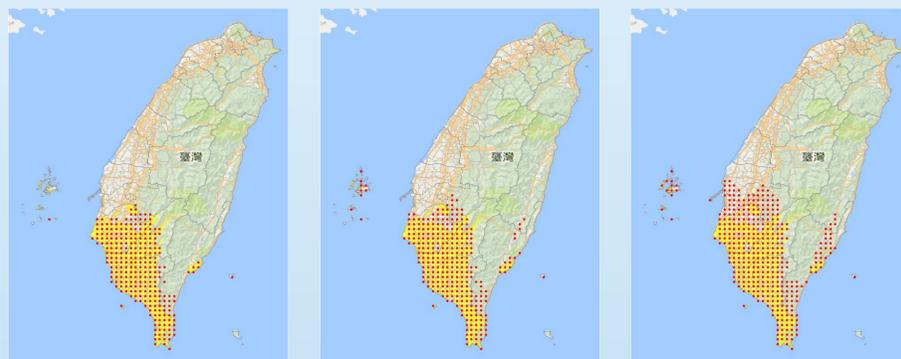
本研究發現冬季(12–1月)平均日最低溫、春季(2–4月)累計降雨日數和春季、多雨季(5–9月)、少雨季(10–1月)平均日降雨量，為五個主要影響臺灣埃及斑蚊分布的氣象變數。其中，未來冬季平均日最低溫上升或多雨季平均日降雨量增加的地區都會提高埃及斑蚊分布的可能，而未來春季累計降雨日數增加或春季、少雨季平均日降雨量增加的地區反而會降低埃及斑蚊分布的可能。

在考慮 RCP 8.5 未來氣候變遷情境繪製的危害地圖方面，在近未來，已有部分模式估計埃及斑蚊可能會度過北迴歸線到達嘉義與花蓮地區；在遠未來，則幾乎所有的模式都估計埃及斑蚊會度過北迴歸線到達嘉義與花蓮地區，並遍布外島澎湖；在世紀末，最差情況下，埃及斑蚊於西部會往北延伸到台中地區，東部則會沿著花東縱谷往北延伸。但基本上不會出現在冬/春雨較多的台北、新北、基隆、桃園、新竹、苗栗與大部分的宜蘭地區(圖1)。

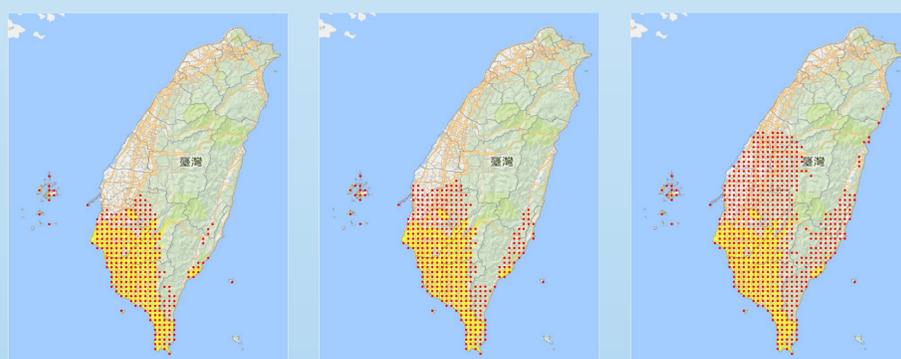
## 免責聲明

本研究的發現與結論僅為作者群的意見，並不代表臺灣疾病管制署的觀點。

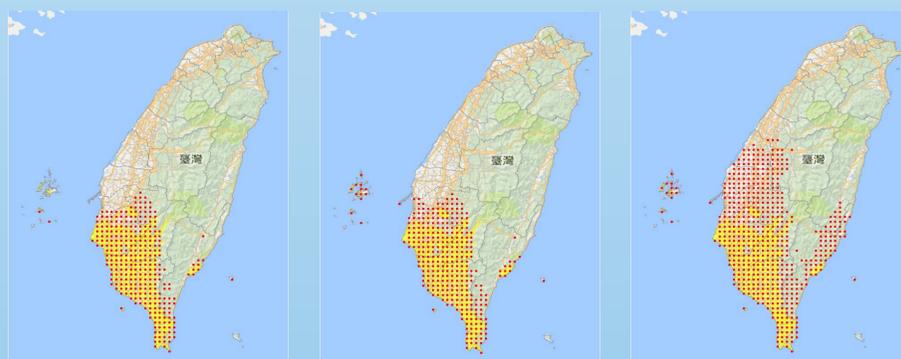
(a) 北京 BCC-CSM1.1



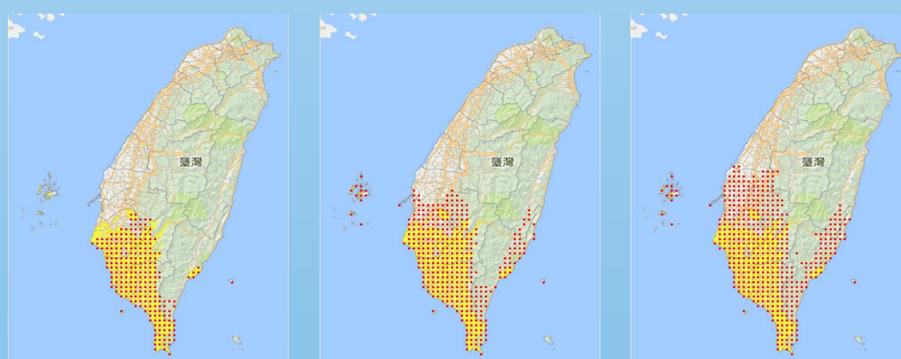
(b) 英國 HadGEM2-CC



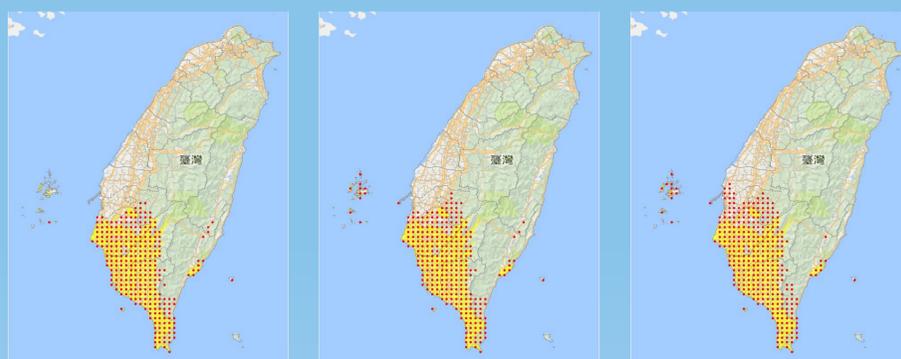
(c) 法國 IPSL-CM5A-MR



(d) 德國 MPI-ESM-LR



(e) 挪威 NorESM1-M



近未來  
2016–2035

遠未來  
2046–2065

世紀末  
2081–2100

圖1. 考慮 RCP 8.5 未來氣候變遷情境下，針對五種 GCM 與三個未來推估時期繪製的埃及斑蚊危害地圖。黃色區塊代表的是 2003–2011 年疾病管制署所調查的埃及斑蚊現況分布，紅點則是根據未來網格化氣象資料以懲罰羅吉斯回歸模式推估的埃及斑蚊可能分布。

# 環境溫度的長期暴露與罹患重鬱症之相關性

陳乃慈<sup>1</sup>、林柏秀<sup>1</sup>、郭育良<sup>\*1,2</sup>

國家衛生研究院 國家環境醫學研究所<sup>1</sup>、國立臺灣大學 職業醫學與工業衛生研究所<sup>2</sup>

## 研究背景

過去研究已知溫度會影響精神疾病就診，如高溫會增加精神疾患住院之相對風險，然相關研究仍少，且均為探討短期暴露之急性效應或早期暴露之影響，缺乏長期效應的證據，故研究之目的為探討溫度之長期暴露對於重鬱症罹病的影響，並估計於RCP8.5情境下，未來因溫度變化所致之罹患重鬱症風險之變化。

## 研究方法

研究區域：台灣本島

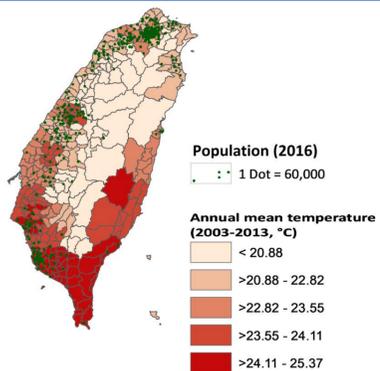
追蹤時間：2003–2013年

危害(氣候因子)：長期之溫度暴露(°C)(圖一)

- 資料來源：中央氣象局局屬及自動測站之日均溫。使用距離研究對象最常就醫(牙科及一般診所)之鄉鎮市區的最近測站。

\*\*排除2000 m以上高山測站

- 長期暴露：2003–2013年之平均值代表個人過去之平均暴露。



圖一、溫度危害暴露地圖

健康衝擊：重鬱症(ICD9: 296.2、296.3)

- 納入條件：2005年百萬承保抽樣歸人檔(LHID 2005)一門診檔中個案
- 排除條件：2000-2002年有重鬱症就診紀錄者；追蹤期間有重鬱症就診紀錄，但不符合個案定義者。
- 重鬱症個案定義：2年內2次以上重鬱症就診、或1次重鬱症住院
- 設限資料：住院≥7天、重大傷病、死亡

校正因子：年齡、性別、投保金額(萬元)、日照時數(hrs/day)與降雨量(mm/day)

統計模式：Cox proportional hazard model、penalized spline

未來風險變化：僅依據溫度變化估算；以RCP8.5情境為例

- 未來溫度：取自TCCIP月資料

- 風險變化：

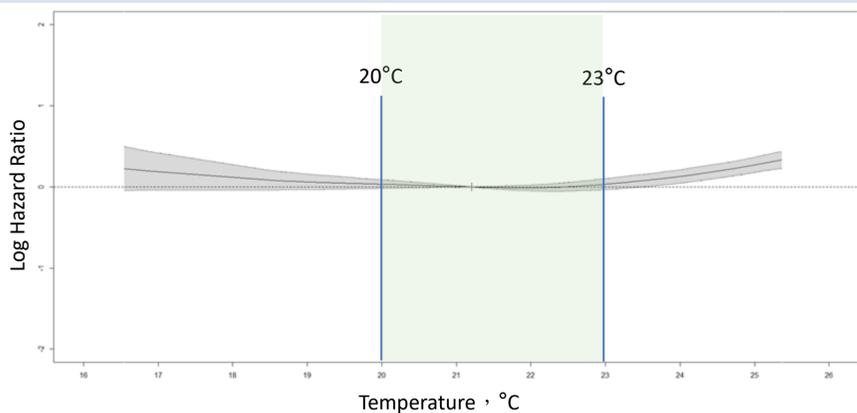
風險變化分組	現在溫度	未來溫度
最低風險_now & future	20-23°C	20-23°C
可能有低溫風險 to 最低風險	<20°C	20-23°C
可能有低溫風險_now & future	<20°C	<20°C
最低風險 to 高溫風險	20-23°C	>23°C
可能有低溫風險 to 高溫風險	<20°C	>23°C
高溫風險增加	>23°C	>23°C

\*排除未來推估溫度低於研究期間之測站平均溫度的鄉鎮市區

## 研究結果

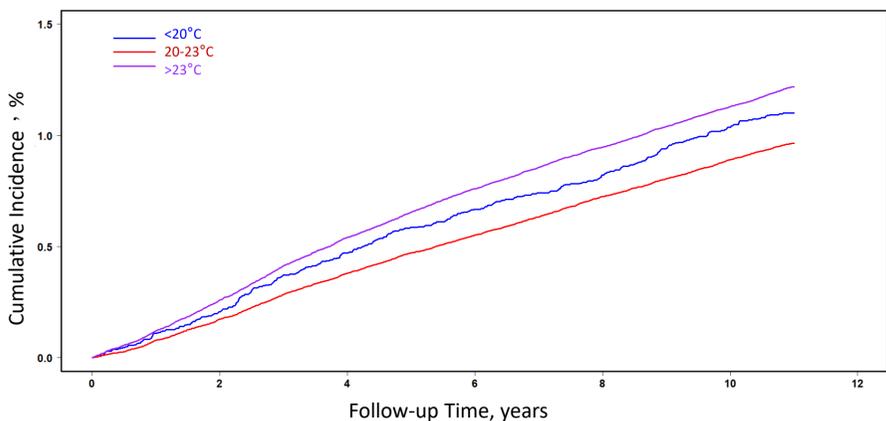
### 1. 溫度與重鬱症之關聯性

- Penalized spline：溫度與罹患重鬱症之關係為非線性(圖二)，20-23°C之罹病風險最低，溫度升高會顯著增加罹病風險，溫度降低似乎也會增加風險但不顯著。
- 疾病累計發生率：圖三顯示20-23°C的累計發生率最低，其次為<20°C，>23°C則最高。



圖二、溫度與重鬱症之暴露效應關係

\*校正日照時數、降雨、年齡、性別與投保金額。



圖三、溫度之累積發生率

### 2. 溫度變化所致之罹病風險(年均溫>23°C)

- 每上升1°C，增加7%重鬱症的罹病風險(95% CI: 1.02–1.12)。
- 年齡增加、女性、較高的投保金額亦為罹病之顯著風險因子( $p < 0.05$ )。

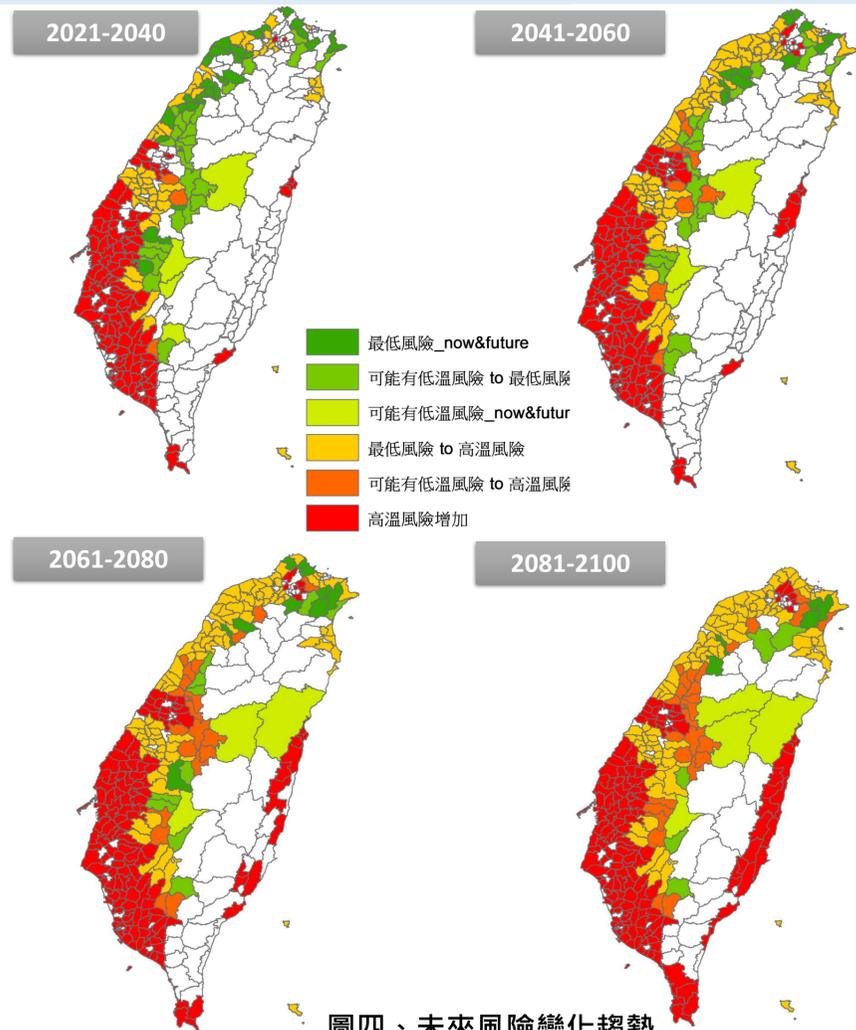
表一、溫度(>23°C)與重鬱症之相關性(n=541,430)

變項	Hazard Ratio	95% CI
氣溫(°C)	1.07*	1.02–1.12
日照時數(hrs)	0.99	0.96–1.03
降雨量(mm)	1.00	0.99–1.00
年齡	1.03*	1.02–1.03
性別		
男性	1	
女性	1.89*	1.79–2.00
投保金額(萬元)	1.08*	1.06–1.09

\* $P < 0.05$

### 3. 未來重鬱症罹病風險變化

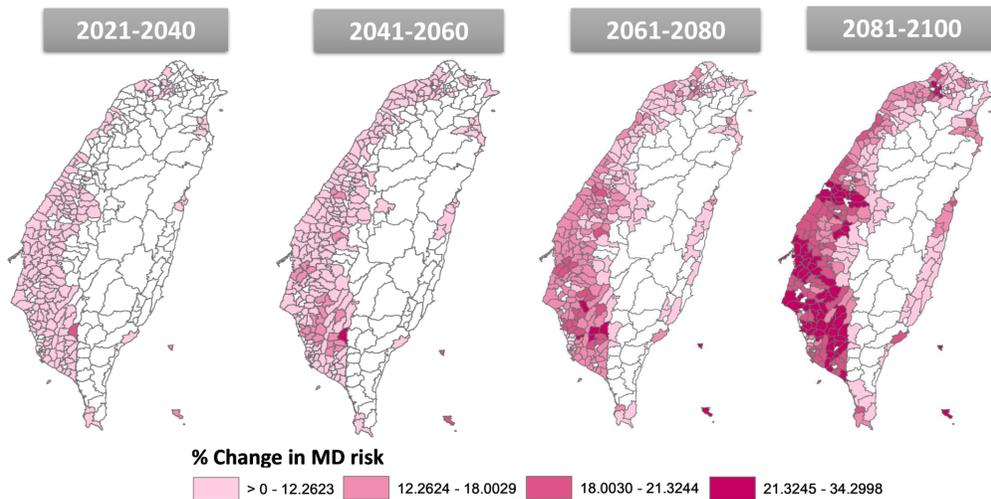
由圖四可知隨著時間往後推移，未來處於最低風險或可能有低溫風險的地區(綠色)逐漸漸少，而具有高溫風險的地區(黃色、橘色、紅色)則越來越多。



圖四、未來風險變化趨勢

\*僅依溫度改變量(假設其他影響因子均不變、全台溫度與疾病之相關性相同)。白色地區：無資料或未來推估溫度低於研究期間之測站平均溫度的鄉鎮市區

圖五顯示，在重鬱症未來風險增加的地區中，未來疾病風險增加量隨時間推移而增加，從2021-2040年的12.26%(最大值)，增為2081-2100年的34.30%(最大值)。



圖五、未來風險變化量

\*依溫度改變量(假設其他影響因子均不變、全台溫度與疾病之相關性相同)。僅納入風險增加之鄉鎮市區

## 結論

環境溫度與罹患重鬱症可能是非線性關係，最低罹病風險溫度為20-23°C，長期居住於高溫地區會顯著增加罹病風險。年齡較高者、女性族群與投保金額較高的民眾可能是罹患重鬱症的風險族群。未來隨著暖化，重鬱症罹患風險增加的地區將越來越多。