

「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台」計畫(111-114)

氣候變遷下極端氣溫對腦心血管及心理健康之衝擊評估與調適策略

20 年全人口資料庫與未來升溫情境 (GWL +2°C/+4°C) 之本土實證

共同主持人：陳保中 特聘研究員兼所長

王淑麗 研究員

林靜君 助理教授

楊曜旭 主任

吳威德 副研究員

蔡宗霖 助理教授

張郁瑩 研究助理

王筠雅 研究助理



指導單位

NSTC 國家科學及技術委員會
National Science and Technology Council
自然科學及永續研究發展處

計畫辦公室



行政法人國家災害防救科技中心
National Science and Technology Center
for Disaster Reduction

2026/10/14



認知升級：風險辨識從「定性描述」到實證的「定量推估」



2017科學報告 (定性定量防禦)

1. 清楚闡明氣候變遷對人類健康確實帶來衝擊及危害之**三個分級**：**直接、間接及長期或衍生性健康危害**

2. 提醒**應依據本土之氣候地理特性**，基於已發現或是已被預測之證據，擬定調適方案，使氣候變遷對本地帶來之負面健康效應減至最低

2024科學報告 (定量推估預警)

1. 導入**未來影響程之度氣候數據(CMIP6)**進行本土健康衝擊風險推估

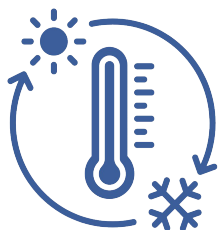
2. 評估暨氣候危害及衝擊指標建立，建立本土氣候風險熱點圖資以輔助支持調適規劃與政策擬定



從實證到預見：健康領域的量化氣遷衝擊研究路徑



確認氣候對健康的危害，更具體量化氣候變遷的高溫
改變會帶來多大的疾病發生風險



建立本土氣候風險指標

解決日溫差方向性與熱浪寒害定義不一問題，建立兩日氣溫驟降與驟升指標



全人口大數據分析實證

運用大規模疾病急診數據(時間涵蓋20年 與 族群涵蓋2300萬人)，並使用國際公認研究設計Time-stratified case-crossover design 與 高階統計(DLNM)模型來建立因果關係。



未來推估與調適工具

結合CMIP6全球氣候模型，推估升溫2°C 與 4°C程度下的全台健康衝擊，並剖析造成區域衝擊的脆弱因子。

研究背景

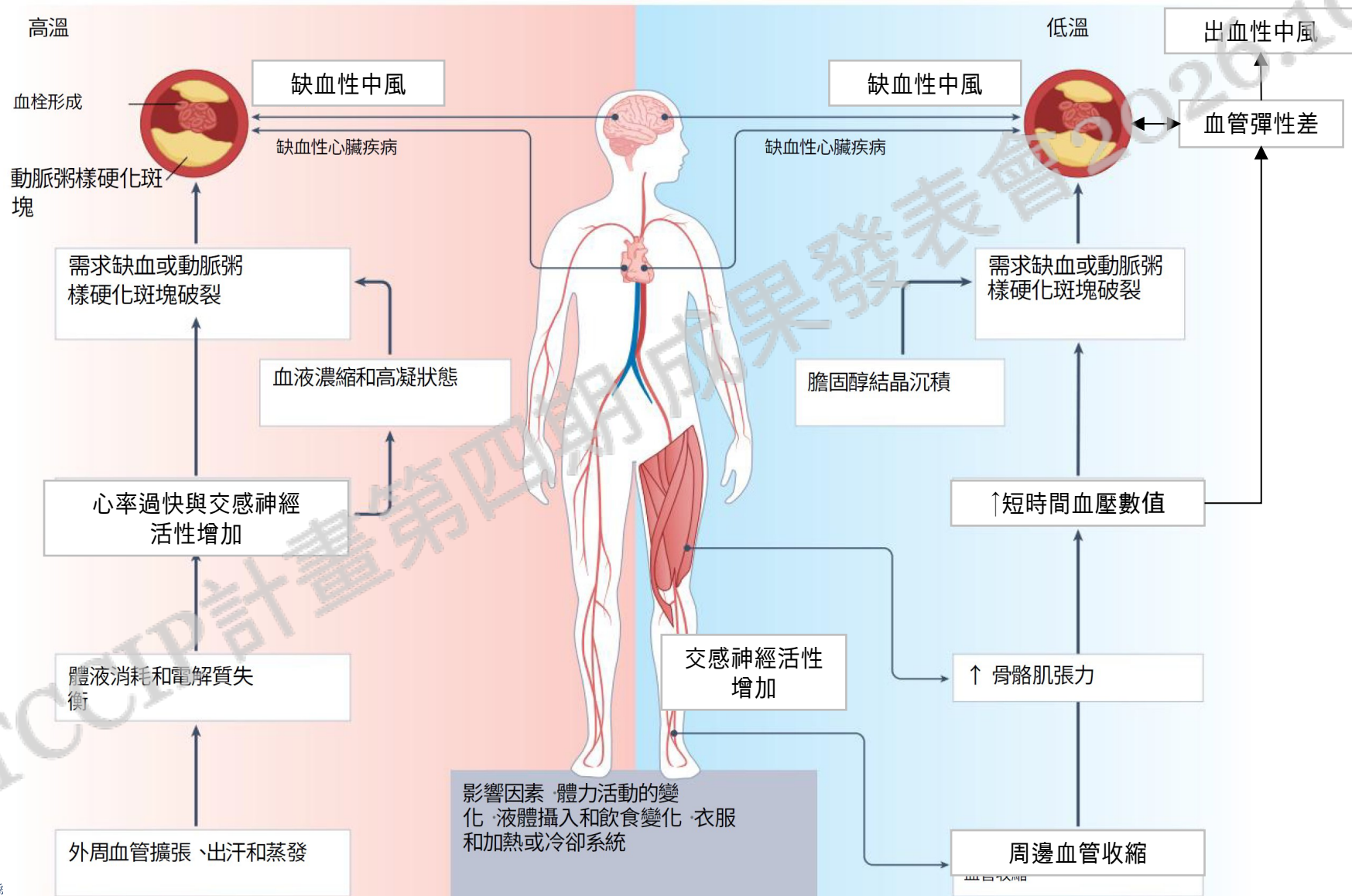


114年十大死因

死因別	死亡人數 (人)		死亡率 (每十萬人口)		標準化死亡率 (每十萬人口)	
		年增率 (%)		年增率 (%)		年增率 (%)
所有死亡原因	199,576	-0.9	854.7	-0.6	395.2	-3.7
1.癌症	54,838	1.5	234.9	1.8	111.5	-1.5
2.心臟疾病(高血壓性 疾病除外)	22,907	-1.6	98.1	-1.3	43.8	-3.8
3.肺炎	17,468	1.2	74.8	1.5	29.3	-2.6
4.腦血管疾病	12,425	-0.3	53.2	0.0	23.3	-2.5
5.糖尿病	10,524	-1.3	45.1	-1.0	19.4	-3.7
6.高血壓性疾病	8,517	-4.6	36.5	-4.4	14.7	-7.9
7.事故傷害	6,678	-3.6	28.6	-3.3	18.3	-4.4
8.腎炎、腎病症候群 及腎病變	5,980	5.3	25.6	5.6	10.6	1.7
9.慢性下呼吸道疾病	5,796	-6.4	24.8	-6.2	9.7	-9.5
10.蓄意自我傷害(自 殺)	3,951	-2.7	16.9	-2.5	12.9	-3.6
19.嚴重特殊傳染性肺 炎(COVID-19)	932	-68.5	4.0	-68.5	1.6	-68.9

1. 114年十大死因與113年相同，其中**心臟疾病、糖尿病、高血壓性疾病、事故傷害、慢性下呼吸道疾病、自殺**等6項死因，**死亡人數、死亡率、標準化死亡率均下降**，僅**腎炎腎病症候群及腎病變**上升
2. 死因排名除**慢性下呼吸道疾病與腎炎腎病症候群及腎病變**對調，其餘與113年相同

研究背景



研究背景

- 臺灣正逐漸邁入老年人口超過20%的超高齡社會，2039年將突破30%，至2070年將高達46.5%

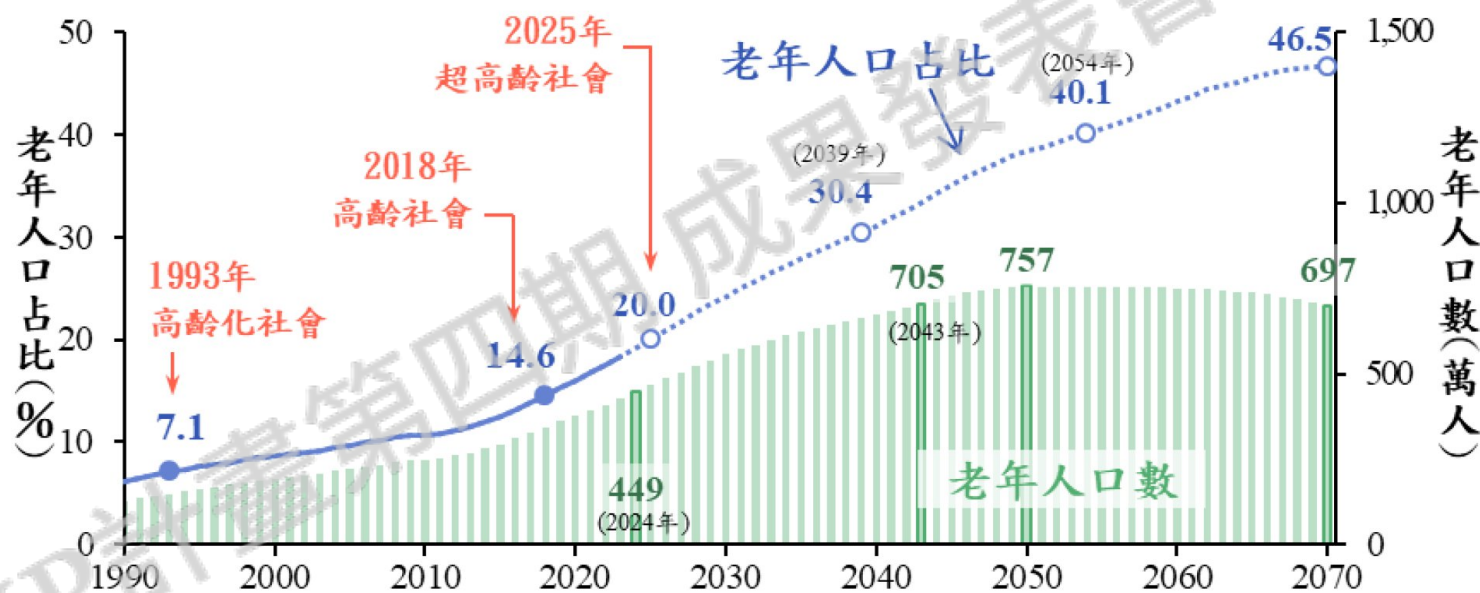


圖 15 老年人口與高齡化時程—中推估

資料來源：1. 1990 年至 2023 年為內政部「中華民國人口統計年刊」。
2. 2024 年至 2070 年為本報告。

老化社會對氣候變化將更為敏感

生理健康實證(一) 研究數據分析架構

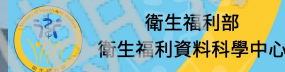


從僅看傳統溫度變項(日高溫、日低溫與日溫差), 新增「兩日溫差驟升與驟降」, 並考量「複合汙染 $PM_{2.5}$ 、 O_3 、 SO_2 、 NO_2 」與降雨



20年 & 2,300萬人

2001-2020 年臺灣全民健保資料庫。



> 1,100,000 筆

急診中風個案精確數據。

1 km

高解析度網格化氣象數據 (結合日最高/最低溫、降雨量)。

TCCIP 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台
Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform

指導單位 **NSC** 國家科學及技術委員會
National Science and Technology Council

計畫辦公室 **NCDR** 行政院國家災害防救科技中心
National Science and Technology Center for Disaster Reduction

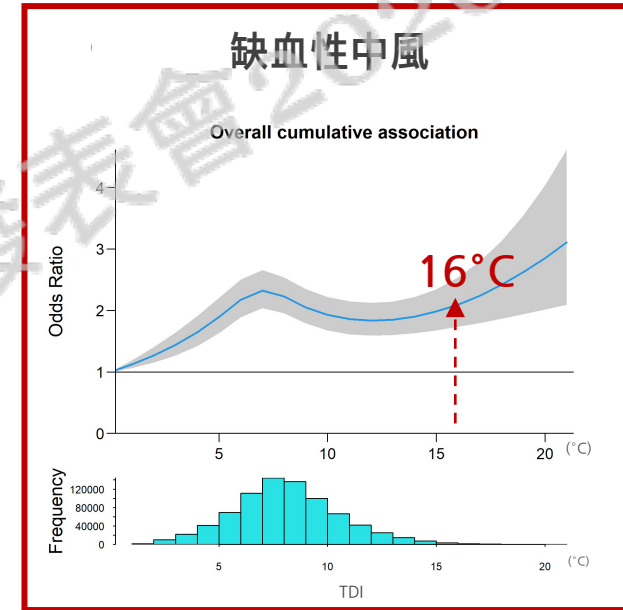
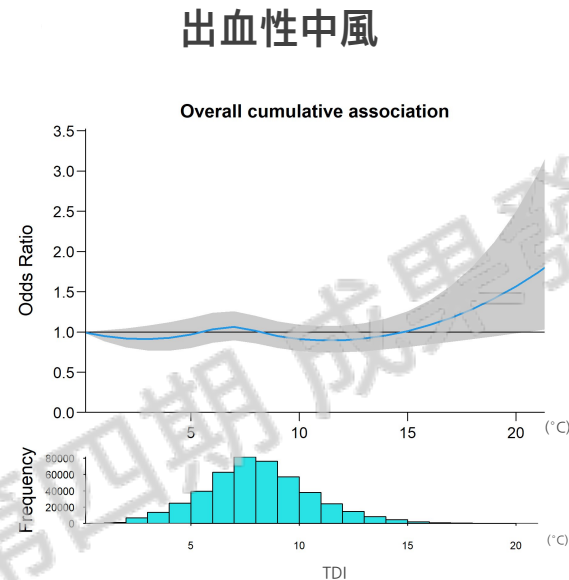
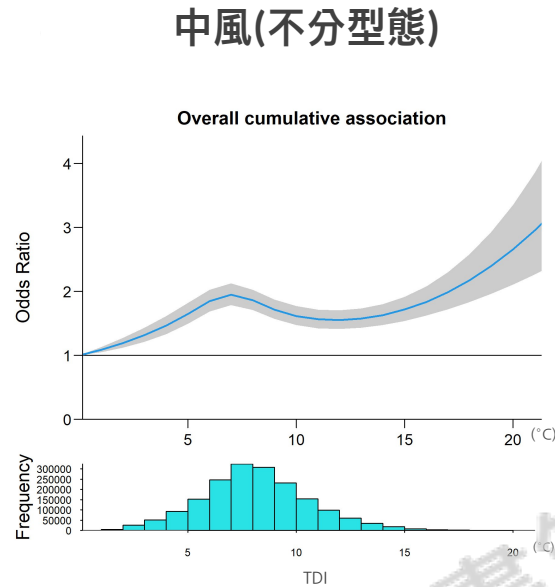
病例交叉研究法 (Case-crossover study) + 結合分佈式滯後非線性模型(DLNM)與條件式邏輯迴歸



生理健康實證(一) 兩日氣溫驟變(TDI/TDD)對中風影響



兩日氣溫驟升指標(TDI)



兩日內氣溫 **驟升**



>
16°C

缺血性中風
風險



超過兩倍

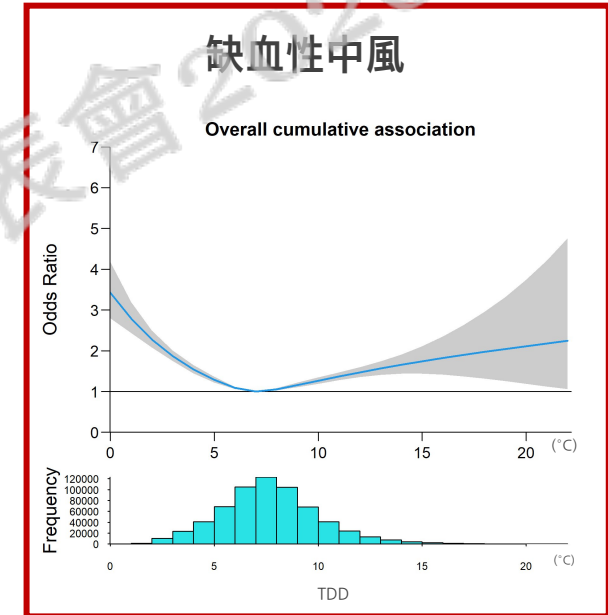
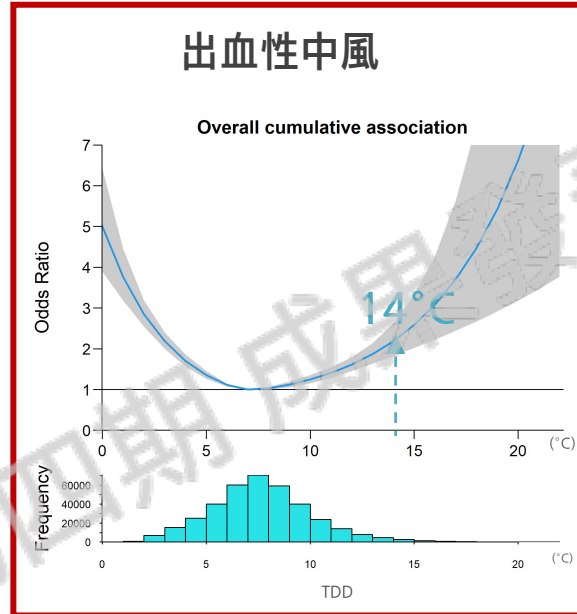
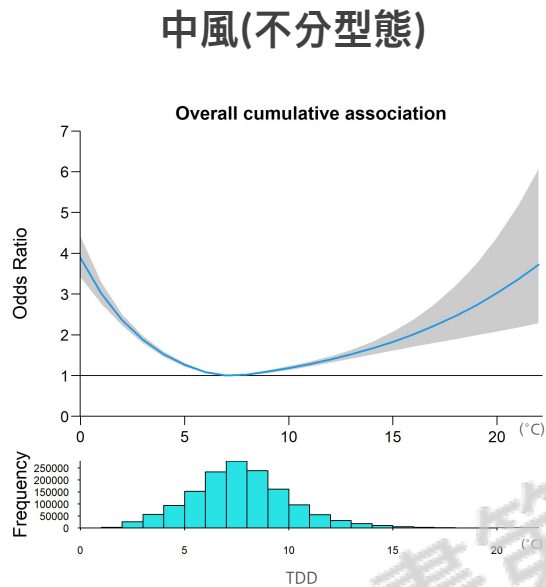
機制推測:

脫水、血液濃縮、凝血因子改變

生理健康實證(一) 兩日氣溫驟變(TDI/TDD)對中風影響



兩日氣溫驟降指標(TDD)



兩日內氣溫驟降



>

14°C



出血性中風
風險

超過兩倍

顯著上升



機制推測:

血壓升高、血管脆弱者更易破裂

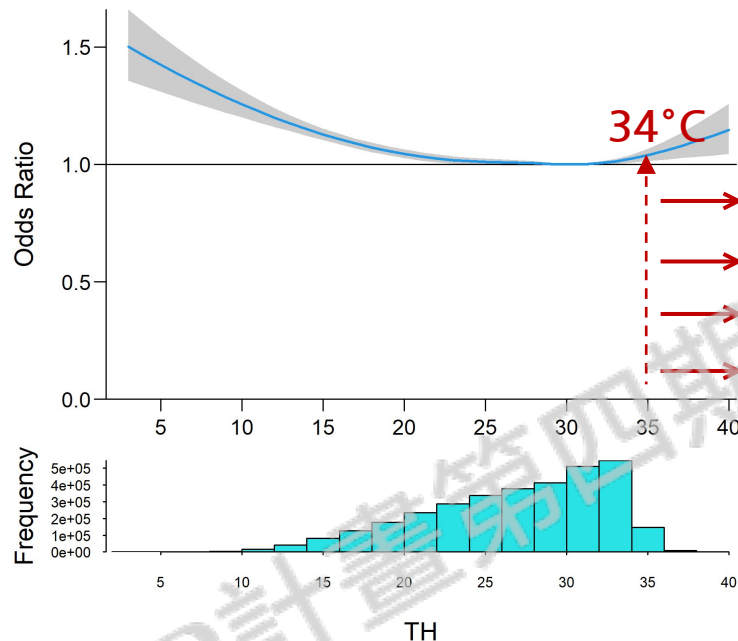
生理健康實證(一) 日高低氣溫對中風影響



日高氣溫

中風(不分型態)

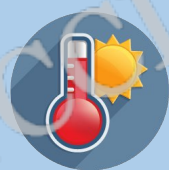
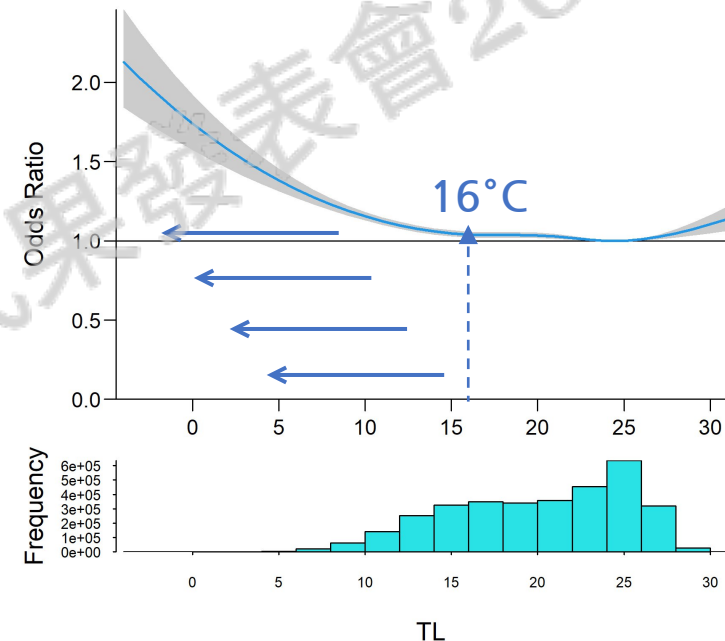
Overall cumulative association



日低氣溫

中風(不分型態)

Overall cumulative association



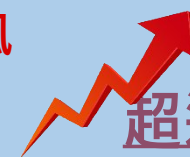
日最高氣溫 $> 34^{\circ}\text{C}$

缺血性中風風險



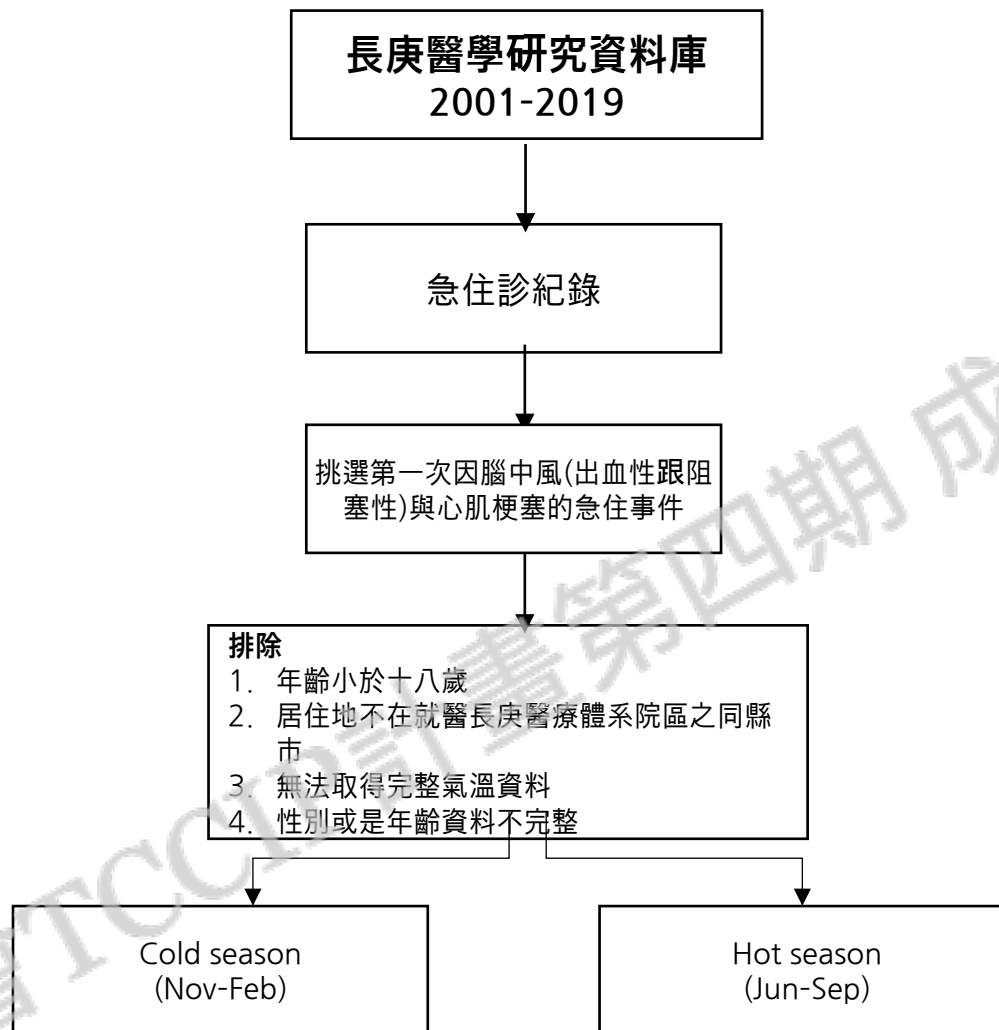
日最低氣溫 $< 16^{\circ}\text{C}$

出血性中風
風險



超過兩倍

生理健康實證(二) 研究數據分析架構



➤ Time-stratified case-crossover design 研究設計

➤ 以溫度百分位數 (temperature percentiles) 作為暴露指標。標準化不同地區間的氣候差異。

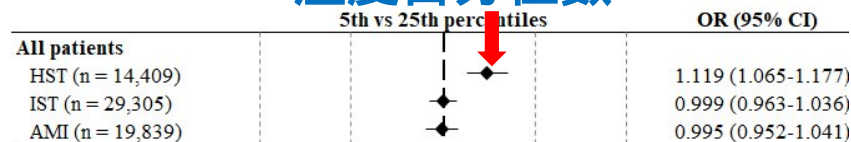
➤ 百分位數能考量居民對當地氣候的適應性，使相對熱或冷暴露更具可比較性，適用於全國性暴露-健康效應分析。

- 出血性腦中風(HST)
- 阻塞性腦中風(IST)
- 心肌梗塞(AMI)

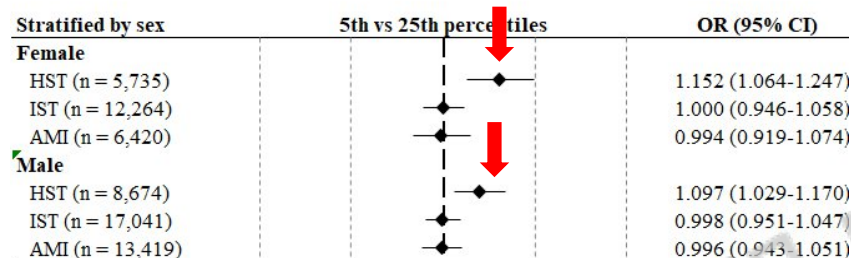
生理健康實證(二) 溫度百分位數驗證



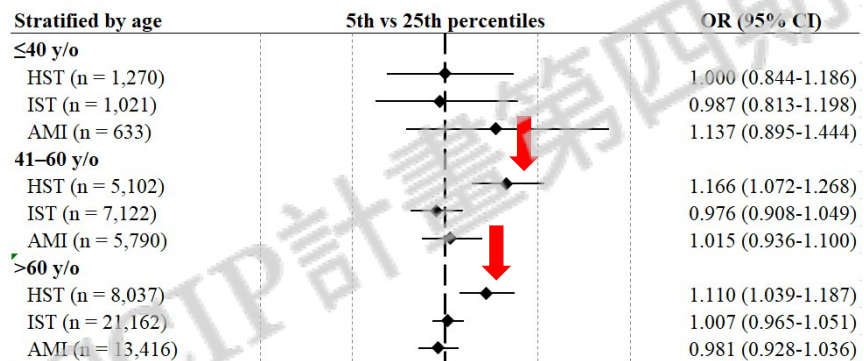
溫度百分位數



0.50 0.75 1.00 1.25 1.50



0.50 0.75 1.00 1.25 1.50

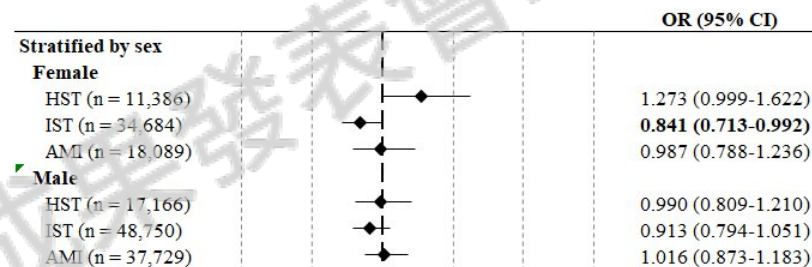


0.50 0.75 1.00 1.25 1.50

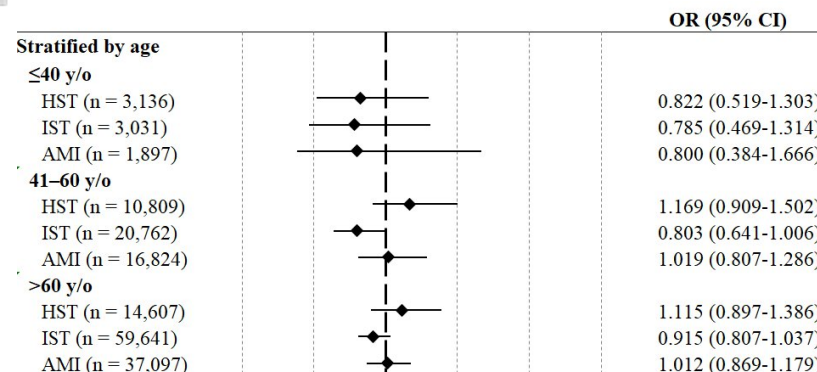
高溫(34度)



0.00 0.50 1.00 1.50 2.00 2.50



0.00 0.50 1.00 1.50 2.00 2.50



0.00 0.50 1.00 1.50 2.00 2.50

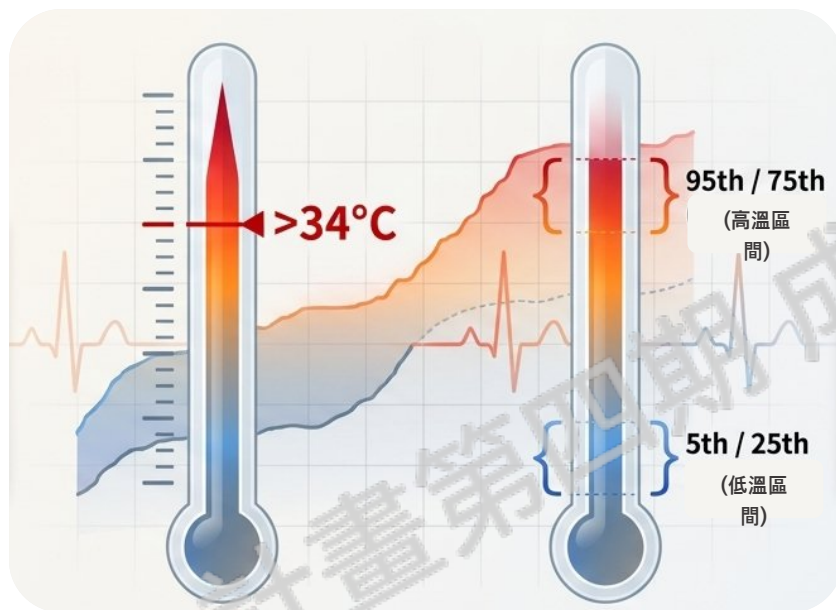
溫度百分位數 (temperature percentiles) 跟絕對溫度(高溫:34度 低溫:8度)作為暴露指標可觀察到類似的趨勢。

- 低溫增加出血性中風的風險
- 高溫可能會增加缺血性中風與心肌梗塞的風險

生理健康實證(二) 結論



不只看絕對高溫：相對溫度更能符合在地健康風險評估



在地適應性校正

不同縣市對溫度的耐受性不同，若看極端高溫會偏離在地平均氣溫。

相同的34度，在南部是常態，但在北部是極端危害。
預警系統須因地制宜

心理健康實證(一) 研究數據分析架構



2300萬全人口資料

第一次憂鬱症急診

年齡

<19歲 & 70歲以上

個案數

265,653

(<19歲：13,892；70歲以上：47,489)

研究方法

病例交叉研究法&

分佈式滯後非線性模型：lag 0-6天

氣候資料

2001年-2020年

網格化觀測日資料：日最低溫、日最高溫、
日均溫及兩日溫差 [升溫：當日最高-前日最
低；降溫：前日最高-當日最低]

降雨量

調控因子

環境空氣污染物質濃度

(CO, PM_{2.5}, NO₂, O₃ and SO₂)

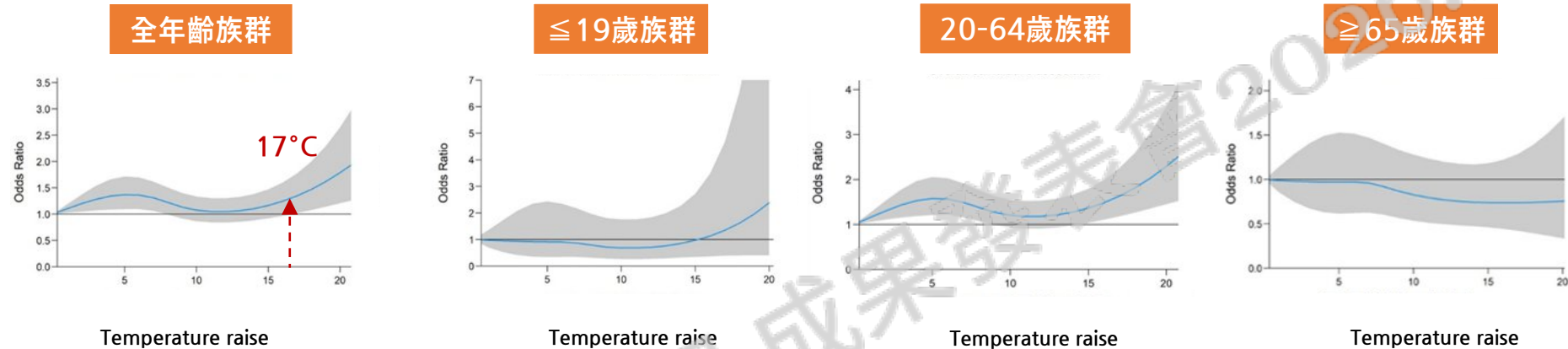
前一日日均溫 (針對兩日溫差)



心理健康實證(一) 極端氣溫對憂鬱症急診之累積效應

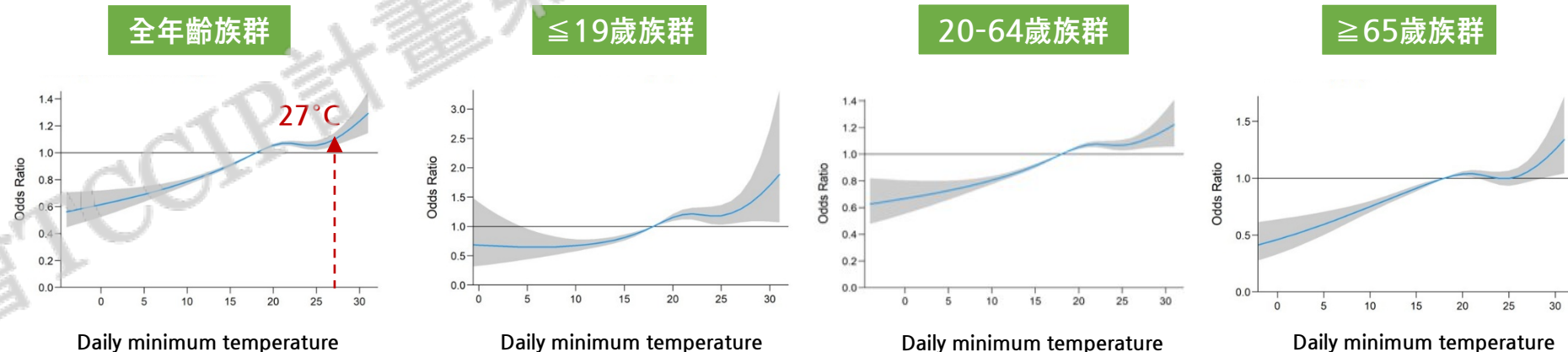


兩日溫差驟升對憂鬱症風險的累積影響



調控變項：降雨量、空氣污染物質(CO, PM_{2.5}, O₃, SO₂, NO₂)與前一日日均溫

夜間高溫(日最低溫)對憂鬱症風險的累積影響



調控變項：降雨量與空氣污染物質(CO, PM_{2.5}, O₃, SO₂, NO₂)

心理健康實證(一) 極端氣溫對憂鬱症急診之累積效應



氣候變遷對精神心理的隱形威脅：
極端氣溫與憂鬱症急診

急診分析：

26.5萬筆 第一次憂鬱
症急診案例

觸發條件：

兩日溫差上升 $> 17^{\circ}\text{C}$

夜間高溫 (日最低溫) $> 27^{\circ}\text{C}$

滯後效應(Lag 0-13天)：

即使控制降雨與空污，溫度變化帶來的
神經傳導改變與環境壓力仍會持續造成急
診發生

未來氣候推估 全球暖化程度(GWL +2°C / +4°C)資料集



GWL 2°C : 86組GCMs

CMIP 6 model.	Research Center (Country)	Space-resolution (lon×lat)	historical	SSP126	SSP245	SSP370	SSP585
ACCESS-CM2	CSIRO-ARCCSS (Australia)	192×144	1995-2014	2033-2052	2031-2050	2030-2049	2029-2048
ACCESS-ESM1-5	CSIRO (Australia)	192×145	1995-2014	2064-2083	2036-2055	2039-2058	2030-2049
AWI-CM-1-1-MR	AWI (Germany)	384×192	1995-2014	2041-2060	2030-2049	2028-2047	2027-2046
BCC-CSM2-MR	BCC (China)	320×160	1995-2014		2048-2067	2037-2056	2034-2053
CanESM5	CCCma (Canada)	128×64	1995-2014	2017-2036	2015-2034	2014-2033	2013-2032
CMCC-ESM2	CMCC (Italy)	288×192	1995-2014	2033-2052	2031-2050	2032-2051	2030-2049
EC-Earth3	EC-Earth-Consortium(Europe)	512×256	1995-2014	2034-2053	2035-2054	2029-2048	2026-2045
EC-Earth3-AerChem	EC-Earth-Consortium(Europe)	512×256	1995-2014			2038-2057	
EC-Earth3-CC	EC-Earth-Consortium(Europe)	512×256	1995-2014		2026-2045		2027-2046
EC-Earth3-Veg	EC-Earth-Consortium(Europe)	512×256	1995-2014	2020-2039	2024-2043	2023-2042	2018-2037
EC-Earth3-Veg-LR	EC-Earth-Consortium(Europe)	320×160	1995-2014		2040-2059	2036-2055	2032-2051
FGOALS-g3	CAS (China)	180×80	1995-2014		2054-2073	2036-2055	2037-2056
GFDL-CM4	NOAA-GFDL (USA)	288×180	1995-2014		2040-2059		2032-2051
GFDL-ESM4	NOAA-GFDL (USA)	288×180	1995-2014		2064-2083	2048-2067	2043-2062
IITM-ESM	CCCR-IITM (India)	192×94	1995-2014				
INM-CM4-8	INM (Russia)	180×120	1995-2014		2054-2073	2043-2062	2037-2056
INM-CM5-0	INM (Russia)	180×120	1995-2014		2063-2082	2041-2060	2037-2056
IPSL-CM6A-LR	IPSL (France)	144×143	1995-2014	2029-2048	2024-2043	2025-2044	2025-2044
KACE1-0-G	NIMS-KMA (Korea)	192×144	1995-2014	2015-2034	2014-2033	2015-2034	2014-2033
KIOST-ESM	KIOST (Korea)	192×96	1995-2014		2031-2050		2029-2048
MIROC6	MIROC (Japan)	256×128	1995-2014		2064-2083	2050-2069	2044-2063
MPI-ESM1-2-HR	DKRZ (Germany)	384×192	1995-2014		2054-2073	2041-2060	2040-2059
MPI-ESM1-2-LR	MPI-M (Germany)	192×96	1995-2014		2048-2067	2043-2062	2039-2058
MRI-ESM2-0	MRI (Japan)	320×160	1995-2014		2040-2059	2036-2055	2029-2048
NESM3	NUIST (China)	192×96	1995-2014	2040-2059	2034-2053		2025-2044
NorESM2-LM	NCC (Norway)	144×96	1995-2014		2076-2095	2060-2079	2047-2066
NorESM2-MM	NCC (Norway)	288×192	1995-2014		2069-2088	2053-2072	2045-2064
TaiESM1	AS-RCEC (Taiwan)	288×192	1995-2014	2031-2050	2034-2053	2034-2053	2027-2046
Total (86)			28	11	26	23	26

GWL 4°C : 26組GCMs

未來氣候推估 全球暖化程度(GWL +2°C / +4°C)高溫天數推估



推估日最高溫>34°C 天數

全球地表平均溫度

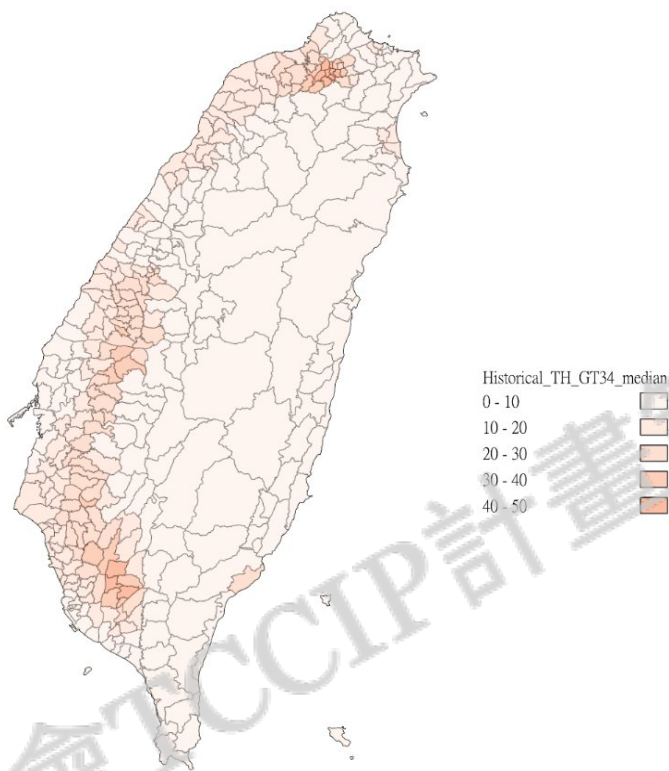
可能發生範圍

+2°C

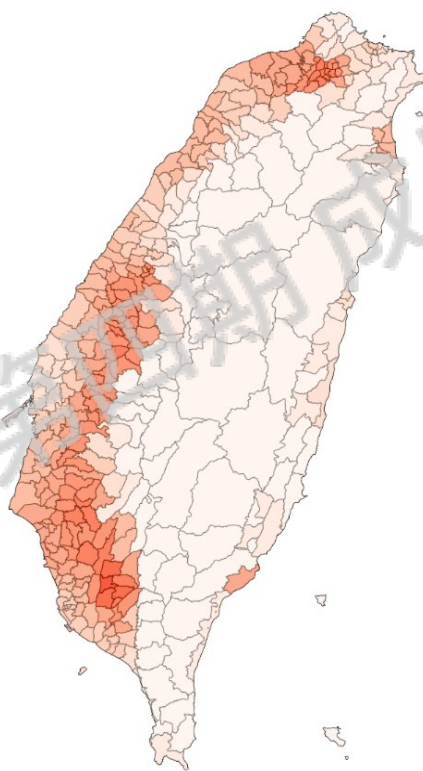
2022-2085 (86)

+4°C

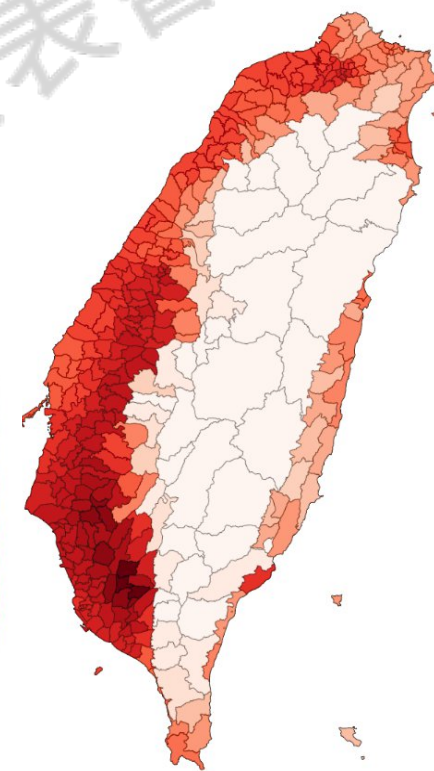
2054-2087 (26)



Historical (1995-2014) (每年
 12.1 ± 1.9 天)



GWL2°C (每年
 37.9 ± 8.6 天)



GWL4 °C (每年
 92.6 ± 18.0 天)

未來氣候推估 全球暖化程度(GWL +2°C / +4°C)疾病衝擊推估



推估日最高溫>34°C 天數變化對
缺血性中風 每年發生率改變量

全球地表平均溫度

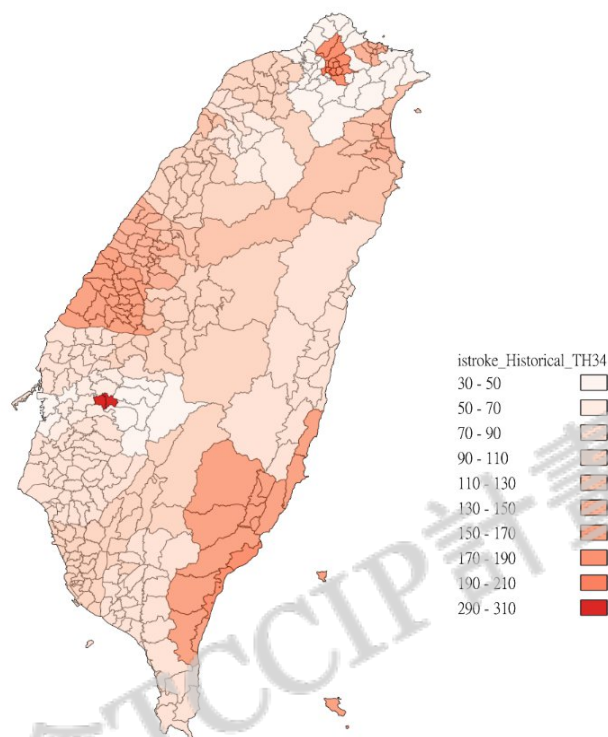
可能發生範圍

+2°C

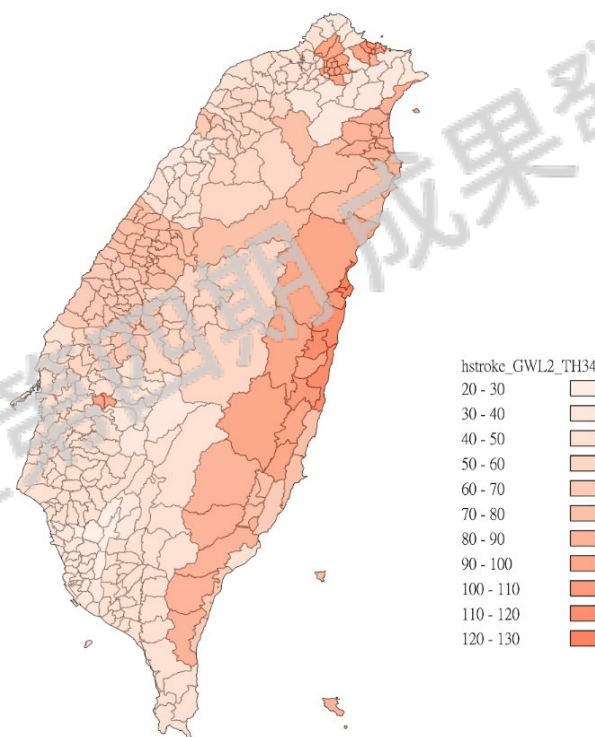
2022-2085 (86)

+4°C

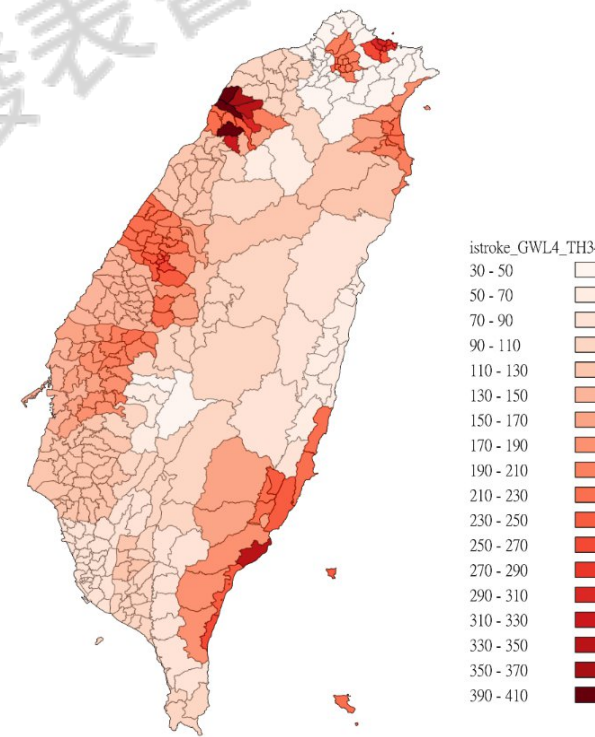
2054-2087 (26)



Historical (1995-2014) (每10
萬人102位個案)



GWL2°C (每10萬人
110位個案)



GWL4 °C (每10萬人
138位個案)

在全球暖化程度4°C，推估缺血性中風發生率將增加36%

全台脆弱度評估 高溫衝擊與 WQS 權重模式解析

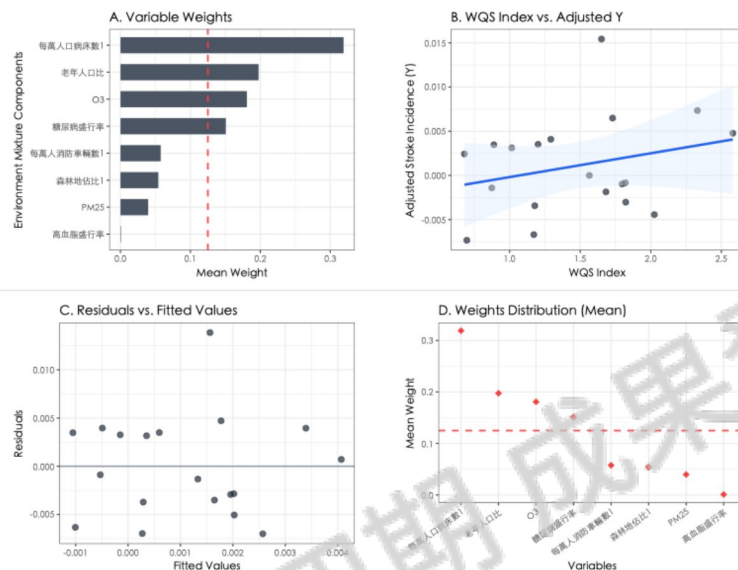


主要類別	評估範疇	評估指標 (縣市層級變項)	單位	指標意涵與說明
一、敏感族群特徵 (Sensitivity)	極端年齡群體	• 老年人口比率 (65歲以上) • 老化指數 • 幼年人口比率 (0-14歲)	% 指數 %	生理體溫調節機能較弱，對高溫耐受度低
	潛在共病與行動弱勢	• 身心障礙人口占總人口比率 • 心臟病盛行率 • 腎臟病盛行率 • 高血壓盛行率 • 糖尿病盛行率 • 高血脂盛行率	% (人/每10萬人)	行動不便或高度需要照護者的替代指標
	社會經濟弱勢	• 低收入戶人口數占總人口比率 • 中低收入戶人口數占總人口比率	% %	避險資源匱乏，較難負擔降溫或醫療成本
二、暴露與環境因子 (Exposure)	熱島效應與人為熱源	• 都市計畫區現況人口密度 (或人口密度) • 工廠密度 • 道路里程密度	人/km ² 家/km ² km/km ²	反映都市蓄熱、人為廢熱排放強度及柏油吸熱效應
	戶外高暴露職業群	• 就業者之行業結構 - 農林漁牧業 • 就業者之行業結構 - 工業	% %	長時間戶外勞動或高溫作業之高風險群體(如農民、營造業)
	高溫複合環境壓力	• 空氣中臭氧濃度 • 細懸浮微粒手動監測 (PM_{2.5}) 濃度值	ppb μg/m ³	高溫強光加速光化學反應，臭氧與微粒易加劇呼吸道疾病
三、社經與環境調適能力 (Adaptive Capacity)	降溫與綠資源 (環境調適)	• 每萬人公園、綠地、兒童遊樂場、體育場所及廣場面積數 • 森林地占土地面積比率	公頃/萬人 %	植被與綠地有助於緩解熱島效應並提供天然庇護
	家庭硬體與經濟資源 (個體調適)	• 家庭現代化設備 (每百戶擁有數) - 冷暖氣機 • 家庭收支 - 平均每戶可支配所得	臺/百戶 元	評估家庭直接降溫能力與實質經濟調適彈性
	衛教資訊吸收能力	• 15歲以上民間人口教育程度結構 - 國中及以下	%	反向指標，代表健康識能與熱傷害警覺性可能不足
四、醫療與急救防護網 (Health & Emergency Response)	醫療處置量能	• 每萬人口執業醫事人員 • 每萬人口病床數	人/萬人 床/萬人	急性熱中暑或熱衰竭發生時的就醫收治能力
	緊急救援量能	• 每十萬人消防人數 • 每萬人消防車輛數	人/十萬人 輛/萬人	熱傷害緊急救護出動量能(消防人員亦為高溫暴露群體)

全台脆弱度評估 高溫衝擊與 WQS 權重模式解析



Model 1: Environment & Adaptation WQS Analysis



主要脆弱特徵

- 每萬人口病床數
- 消防車輛數
- 老年人口比
- O₃
- 綠地
- 糖尿病盛行率
- 高齡

[環境複合暴露]

臭氧 (O₃)
濃度蓄積
(高溫強光加速
光化學反應)

+

[生理弱勢]

高齡化人口比率
+
慢性共病
(糖尿病盛行率)



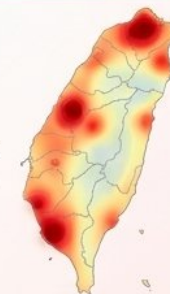
[醫療與急救防護]

每萬人口病床
數與醫師數
(醫療處置量能匱乏)



=

區域高溫 衝擊脆弱度



結論 從實證到未來後續行動>建構本土氣候健康預警



01

氣候驟變即是危害

1. TDI/ TDD是誘發中風急診與青少年心理危機的關鍵指標。

02

區域健康與環境不平等將擴大未來衝擊

1. 相對溫度更能符合區域健康風險評估。
2. 各區域核心脆弱度來自「醫療基礎設施的匱乏(病床數)(消防車輛數)」、「複合性環境暴露(臭氧&PM2.5)」與「生理與空間弱勢交集(高齡&糖尿病&綠地)」失衡結果。

03

需啟動多方聯手預警

需要大氣科學、環境工程、公衛醫療與都市計畫發展等領域一同對接，達成氣候健康韌性調適。



謝謝聆聽 敬請指教

TCCIP 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台
Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform

NSTC 國家科學及技術委員會
National Science and Technology Council

NCDR 國家災害防救科技中心
National Science and Technology Center
for Disaster Reduction