

專題研究報告

極端溫度對大台北地區老年人心血管疾病死亡率增加的影響：

從健康預警系統到氣候變遷的影響潛勢評估

指導教授：陳正達 博士 學生：徐世裴

前言

許多研究指出：當處在氣溫異常高溫或低溫的環境會導致死亡率增加，這個現象對老年人（大於等於 65 歲）來說更明顯(1-5)。當人們處在舒適的溫度時，人們體內的循環系統可以正常運作，然而，當處在異常高溫或低溫時，循環系統喪失維持溫度平衡的能力，如此將進一步導致死亡(4)。建立一個簡單的健康預警系統，目的在異常氣溫出現前對老年人發出警訊。氣候模式顯示：在氣候變遷的影響下，平均氣溫上升以及極端溫度的發生機率將改變，如此將影響老年人的健康(6)。本專題研究將針對大台北地區（台北市與新北市）老年人口因心血管疾病死亡的死亡率，共分成四個不同的部分分別探討。

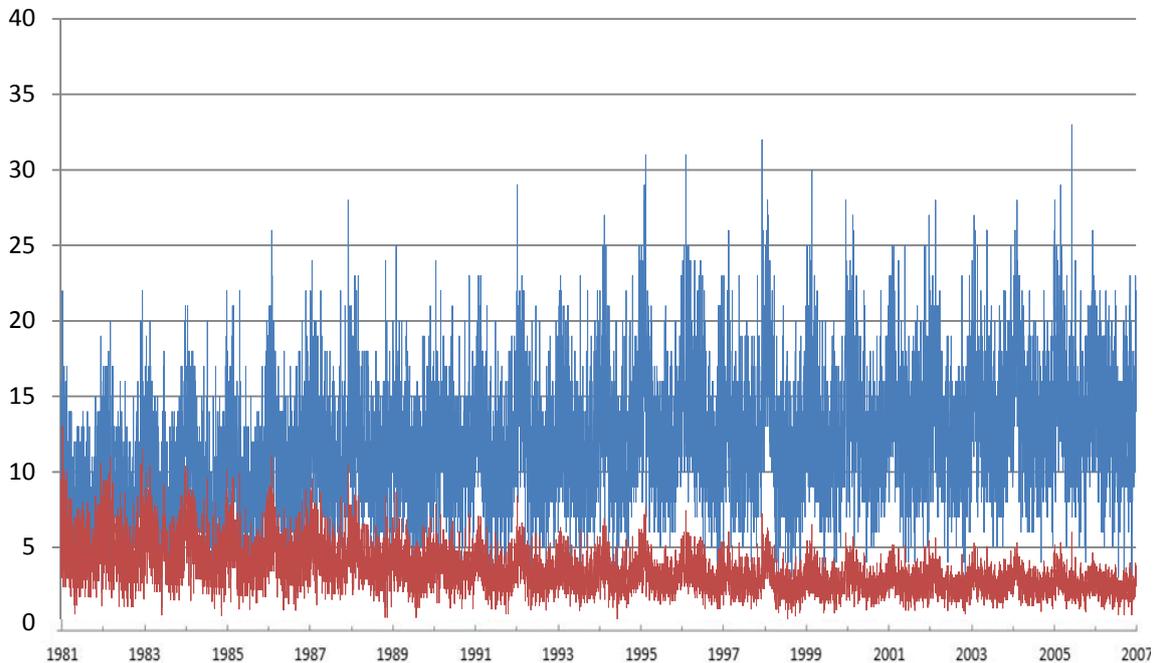
第一部分：門檻溫度以及健康預警系統，我們好奇，是否有個門檻溫度，當每日溫度超過該門檻時，老年人的心血管疾病死亡率會有統計上顯著的增加。根據這些門檻再搭配每日的氣溫天氣預報，可以建立一個簡單的健康預警系統，在異常高或低的氣溫發生前先對老年人發出警訊，以降低老年人熱死或冷死的機會。第二部分：持續性的異常高溫：探討在連續幾天都是異常高溫的情況，老年人的心血管疾病死亡率會如何變化。第三部分：年度高溫低溫事件的死亡率隨時間分佈：由包含每年中最高溫以及最低溫的一段時間序列，顯示老年人死亡率隨時間的分佈情形。第四部分：氣候變遷影響的評估：根據氣候模式的推估，查看在本世紀末，因為氣候變遷對老年人死亡率的影響。

資料與方法

我們的資料包含：從 1981 到 2006 年，台北測站（中央氣象局）的每日最高溫以及最低溫溫度資料，大台北地區老年人因心血管疾病死亡的每日死亡人數以及每年年底大台北地區老年人口數。每日老年人人口數是利用每年年底的老年人人口數與下一年年底的老年人人口數作

線性內差求得。

將老年人的每日心血管疾病死亡人數¹與心血管疾病死亡率¹（每 100000 人）對時間作圖的結果如圖一。由圖一顯示死亡人數有逐年增加的趨勢以及死亡率有逐年下降的趨勢，死亡



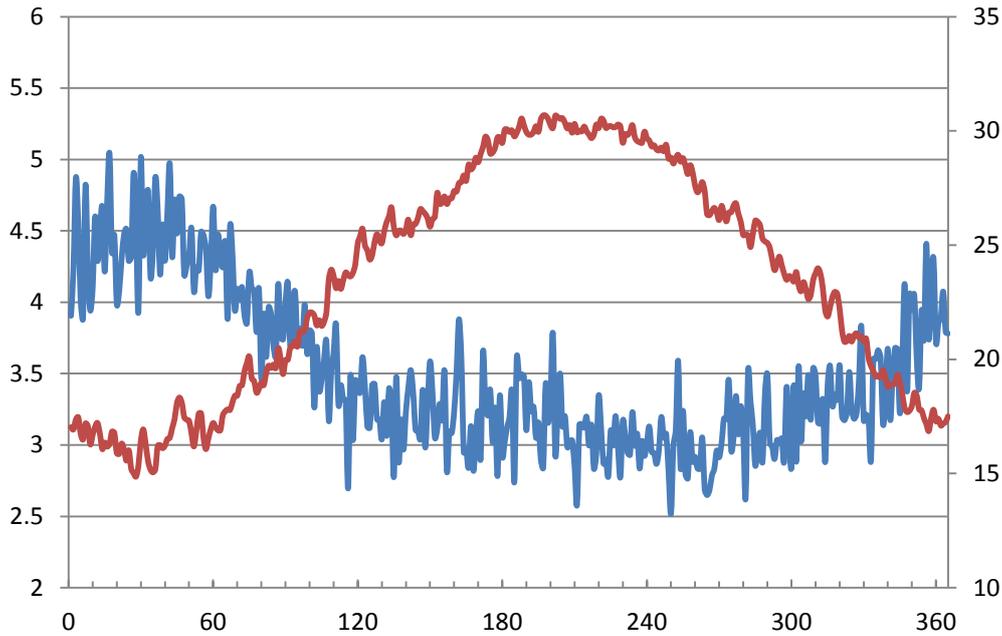
圖一：大台北地區老年人因為心血管疾病的每日死亡人數（藍線）以及每日死亡率（每 100000 人）（紅線）

人數逐年增加的原因是因為醫療照顧的進步，使大台北地區老年人口數逐年增加；醫療服務的進步也使死亡率逐年下降，我們稱死亡率逐年下降的趨勢為「長期趨勢」(long-term trend)。圖二為把 26 年中，同一天（例如共 26 個 1 月 1 號）的死亡率以及平均溫度分別相加再分別除以 26 後，再作 31 天移動平均(moving average)，得到在一年中較平滑的平均溫度（紅線）與死亡率（藍線）的變化。由圖二可以發現：平均溫度以及死亡率都具有「季節循環」(seasonal cycle)，死亡率很明顯的冬天比夏天高。

我們定義一個「死亡率距平比值」(mortality anomaly ratio)，如式(1)。如此定義的理由是：

$$\text{死亡率距平比值} = \frac{\text{實際的死亡率}}{\text{預期的死亡率}} \quad (1)$$

因為我們好奇的是：在異常高溫或低溫時，是否會使死亡率有統計上顯著的增加。我們需將一¹接下來再本報告中提到「死亡數」及「死亡率」等數據皆是指「大台北地區的老年人因為心血管疾病死亡的死亡資料」，以後將把「大台北地區」、「老年人」、「心血管疾病」等字省略。



圖二：將 26 年中，同一天的平均溫度以及死亡率相加後再除以 26，最後再作 31 天移動平均(moving average)，得到在一年中較平滑的平均溫度（紅線）與死亡率（藍線）的變化，可以發現：平均溫度以及死亡率都具有「季節循環」(seasonal cycle)，死亡率很明顯的冬天比夏天高。左 y 軸為死亡率；右 y 軸為溫度(°C)

些已知會影響死亡率但是又不包括在我們有興趣的因素，如「長期趨勢」以及「季節循環」，包括在「預期的死亡率」中，意即：死亡率本身在「季節循環」中，本來就會預期有冬天的值較高、夏天的值較低的情況，以上季節效應對死亡率的影響，並不是我們所好奇的：異常高溫或低溫而使死亡率變化的範疇中，「長期趨勢」當然也是，我們把「長期趨勢」以及「季節循環」對死亡率的影響視為正常現象，因此若有非正常的現象，如異常高溫或低溫，則可能使實際的死亡率不等於預期的死亡率。

本專題研究中，平均溫度的計算方式為昨日之最高溫與今日之最低溫之平均。採用昨日最高溫的原因是因為每日的死亡率等資料是從每日的凌晨零點開始記錄，然而大台北地區每日最高溫通常出現在下午兩點到四點，因此若要探討最高溫所造成的效應，應該考慮在記錄死亡資料之前即出現的昨日最高溫，而不是到下午兩點才出現的今日最高溫；最於最低溫，則選用今日最低溫，因為大台北地區之每日最低溫常出現在早上五點到六點，因次選用今日最低溫而不是昨日最低溫。

第一部分：門檻溫度以及健康預警系統

此部分將探討「死亡率距平比值」與平均溫度、今日最低溫、昨日最高溫之關係，找出是否有門檻溫度。把每日算出之「死亡率距平比值」分別歸納在其當天所對應溫度的溫度區間(以 2 度為一個溫度區間)中，來製成「盒狀圖」(boxplot)，盒狀圖的 x 為依序排列的溫度區間，y 軸則為「死亡率距平比值」，再利用「曼恩-維特寧檢定」(Mann-Whitney test)來檢驗兩個相鄰溫度區間的「死亡率距平比值」分佈否有因為溫度高過或低於特定門檻溫度而有統計上顯著的增加，高溫部分的門檻溫度稱為「高溫門檻溫度」，低溫則稱「低溫門檻溫度」。

為了呈現溫度達到門檻溫度後，老年人死亡率增加的情形，我們估計：在現今氣候(1981~2006 年)，每年因為平均溫度達到門檻溫度後，可能死亡的老年人數量，如下式(2)

$$\boxed{\text{每年死亡數}} = \boxed{\text{中位數} + \% \text{數}} \times \boxed{\text{平均死亡率}} \times \boxed{\text{老年人人口數}} \times \boxed{\text{每年大於 } 30^{\circ}\text{C 的天數}} \quad (2)$$

中位數增加百分比數為超過門檻溫度的所有溫度區間(有考慮不同溫度區間的出現機率)之「死亡率距平比值」中位數比 1 多幾個百分點；平均死亡率為 1981~2006 年死亡率之平均；老年人人口數為 2010 年的老年人人口數(估計方式為線性外插，方法請參考第四部分內容以及圖七)；每年大於 30°C 的天數是利用現今氣候平均溫度的門檻溫度對應的百分位推算得。

健康預警系統則是利用我們找到的這些門檻溫度，搭配每日天氣預報之溫度，若溫度被預測可能會達到門檻溫度，健康預警系統則需在這些異常高溫或異常低溫出現之前，對大台北地區的老年人發出異常溫度警告。

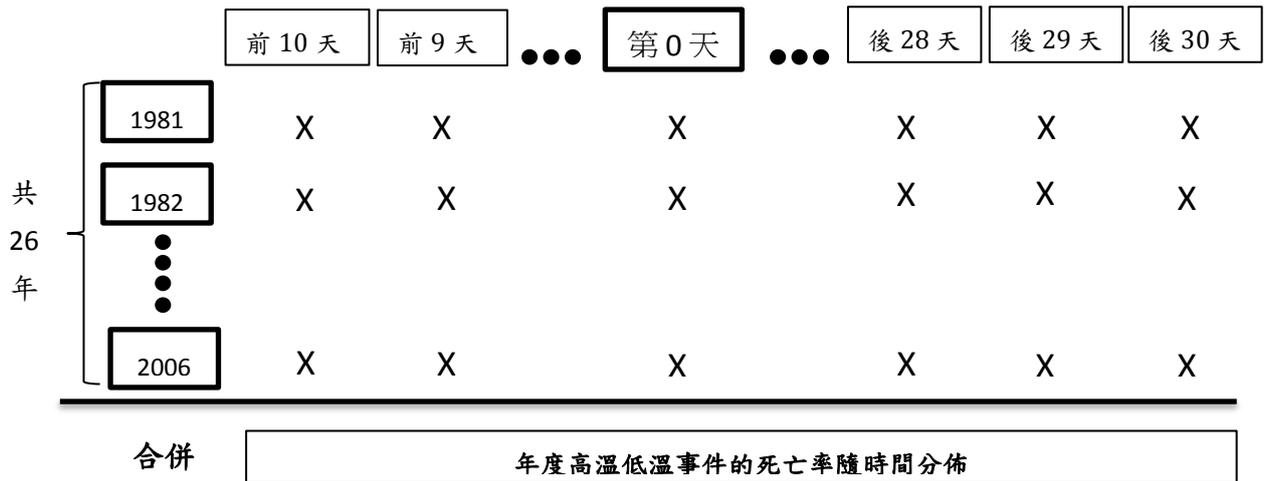
第二部分：持續性的異常高溫

我們將考慮異常高溫的日子連續數天，檢驗此持續性對死亡率會有何影響。溫度部分我們考慮包含平均溫度的高溫門檻溫度的正負兩度範圍內，總共五度的溫度區間；持續天數部分我們考慮持續一天到持續五天。最後再比較從持續一天到持續五天，分別都高於某個特定溫度下，「死亡率距平比值」的分佈狀況。持續幾天的死亡率距平比值皆取連續該天的平均值。

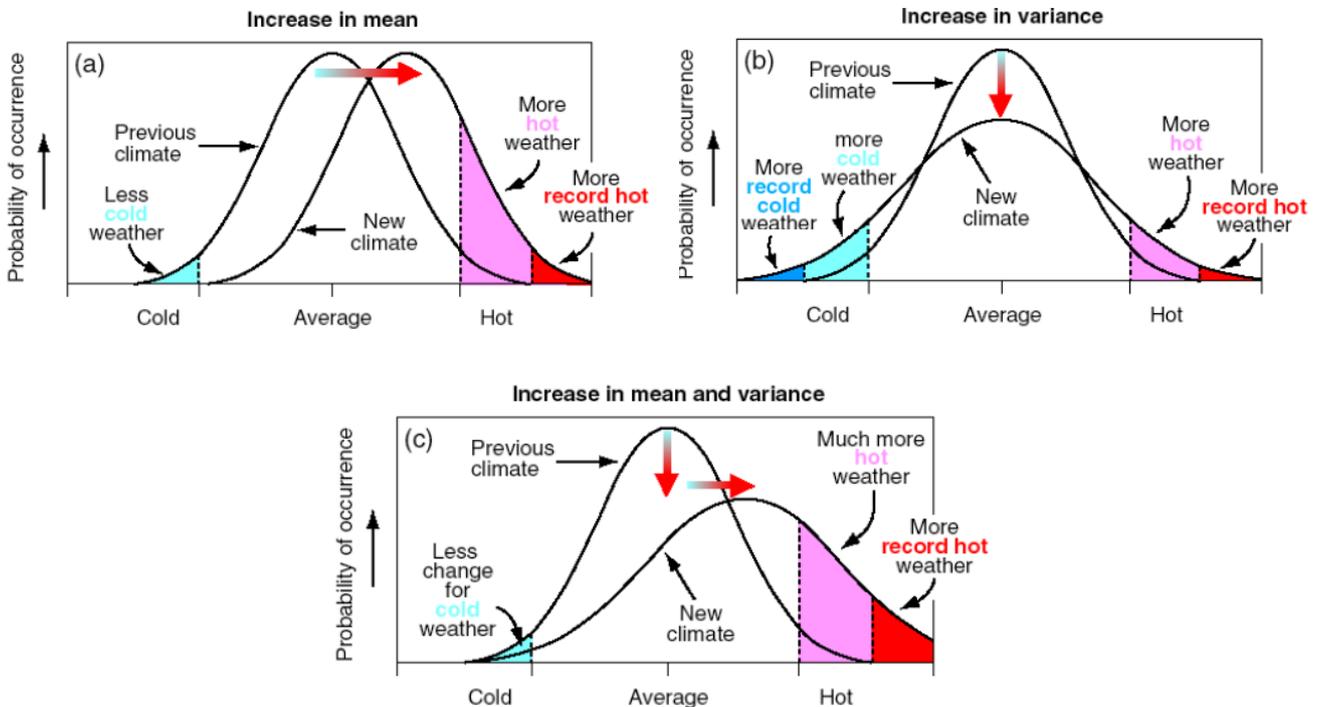
第三部分：年度高溫低溫事件的死亡率隨時間分佈

此部分將從 26 年中，每年分別挑出最高溫以及最低溫的一天(高溫以及低溫分開處理)，並將此天視為「第 0 天」，再考慮時間從前 10 天到後 30 天的範圍為一整個事件(每一年將有

兩個事件，分別為高溫事件與低溫事件，但兩者分開討論)，因此在每個事件中 共有 41 天，每 天都有平均溫度資料以及「死亡率距平比值」資料。最後再將，年與年（共 26 年）的高溫事 件（低溫事件），把對應一樣的時間序列合併、取平均溫度以及「死亡率距平比值」的平均（除 以 26）後，分別得到高溫事件與低溫事件合併(composite)的結果，分別稱為「年度高溫事件」 以及「年度低溫事件」以上步驟可參考圖三。



圖三：得到年度高溫、低溫事件的示意圖。X=(平均溫度, 死亡率距平比值)



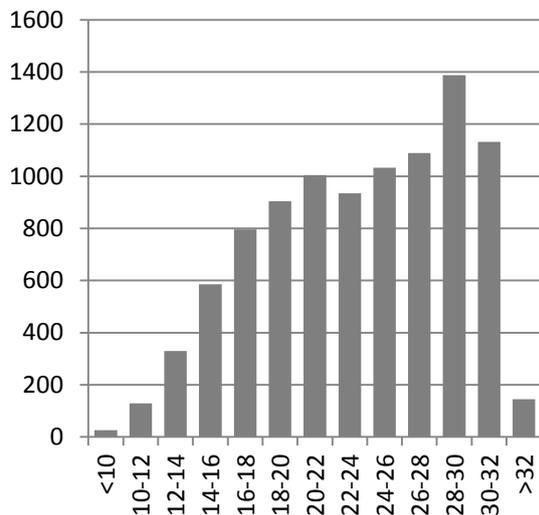
圖四：氣候變遷的示意圖。分別定性描述(a)平均溫度增加，(b)氣溫發生頻率變異量增加，(c) 平均溫度與氣溫發生頻率皆增加，可能導致極端天氣的增減情形。(IPCC AR4 (2007))

第四部分：氣候變遷影響的評估

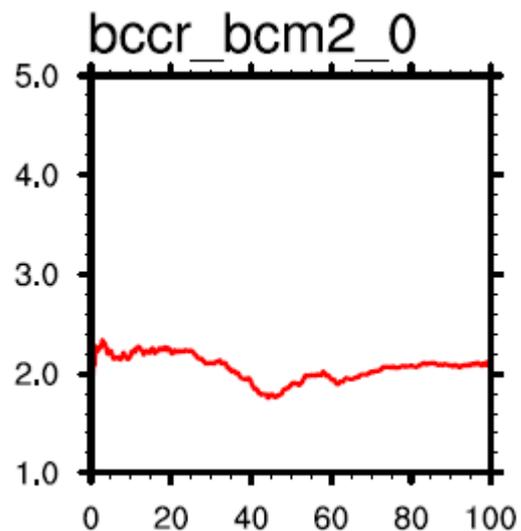
關於氣候變遷可能造成的氣溫分佈變化請參考圖四。此部分我們用 13 個 IPCC AR4 的氣候模式（見表一）推估本世紀末（2080~2100 年）大台北地區的溫度變化（選模式中最靠近大台北地區的網格點）。圖五為現今氣候（1981~2006 年）的溫度發生機率分佈圖，由觀測資料，1981~2006 年的最低被紀錄的溫度為 7.8°C，而最高被紀錄的則為 34.2°C，意即：現今氣候的溫度分佈範圍為 7.8°C 到 34.2°C。我們推估本世紀末（2080~2100 年）的溫度變化方式為：將每個模式推估本世紀末每日的氣溫分佈轉換成溫度百分位分佈（如圖六），假設門檻溫度不變，查出模式推估本世紀末門檻溫度所對應的百分位，得知在本世紀末，平均一年中，超過門檻溫度的天數有多少。另外，大台北地區老年人將逐年增加，估計本世紀末平均老

模式代號	國家	解析度
bccr_bcm2_0	Norway	128*64
cccma_cgcm3_1_t63	Canada	128*64
cnrm_cm3	France	128*64
csiro_mk3_0	Australia	192*96
csiro_mk3_5	Australia	192*96
gfdl_cm2_0	America	144*90
gfdl_cm2_1	America	144*90
iap_fgoals1_0_g	China	128*60
ingv_echam4	Italy	320*160
miroc3_2_hires	Japan	320*160
miroc3_2_medres	Japan	128*64
mpi_echam5	Germany	192*96
mri_cgcm2_3_2a	Japan	128*64

表一：採用的 13 個 IPCC AR4 的氣候模式的代號、國家、解析度

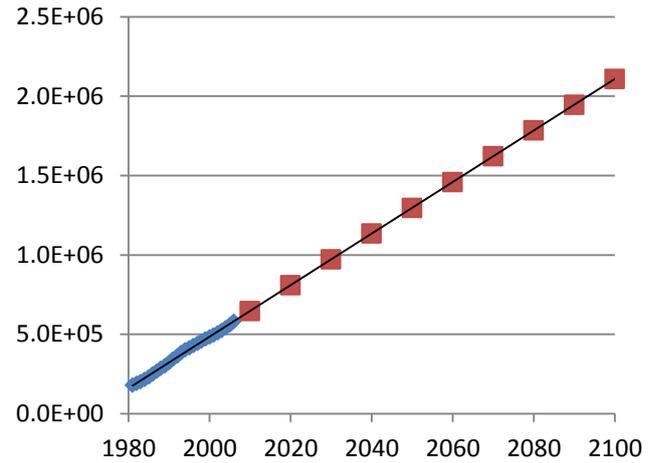


圖五：為現今氣候（1981~2006 年）的溫度發生機率分佈圖。1981~2006 年，共 9496 天。y 軸表該溫度發生天數；x 軸表不同的溫度區間(°C)。



圖六：為其中一個模式的推估結果，x 軸為推估的本世紀末（2080~2100 年）平均溫度分佈的百分位，y 軸為溫度變化(°C)

年人人人口數的方式為以 1981~2006 年每年年底的人口數作線性外插到本世紀末(圖七)，因為是線性，故本世紀末之大台北老年人口數用 2090 年的推估人口數代表 2080~2100 的平均。



圖七：以線性外插估計本世紀末平均老年人口數

為了呈現本世紀末在氣候變遷下，會比現今氣候多死幾位老年人，估計概念與式(2)同，但是多考慮了氣候變遷造成超過門檻溫

度的機率提升以及老年人人口數增加量，因此，估計本世紀末平均每年會比現今多死幾位老人的估計方式如式(3)。

$$\boxed{\text{本世紀末平均每年死亡數}} = \boxed{\text{現今氣候平均每年死亡數}} \times \frac{\boxed{\text{人口數}'}}{\boxed{\text{人口數}}} \times \frac{\boxed{\text{天數}'}}{\boxed{\text{天數}}} \quad (3)$$

人口數'/人口數：表本世紀末平均（即推估的 2090 年老年人人口數）人口數比 2010 年的人口數；天數'/天數：表本世紀末平均每年超過門檻溫度的天數比現今氣候(1981~2006) 平均每年超過門檻溫度的天數。另外，由這兩個比值，可得知氣候變遷以及人口成長對多死幾位老人的貢獻。

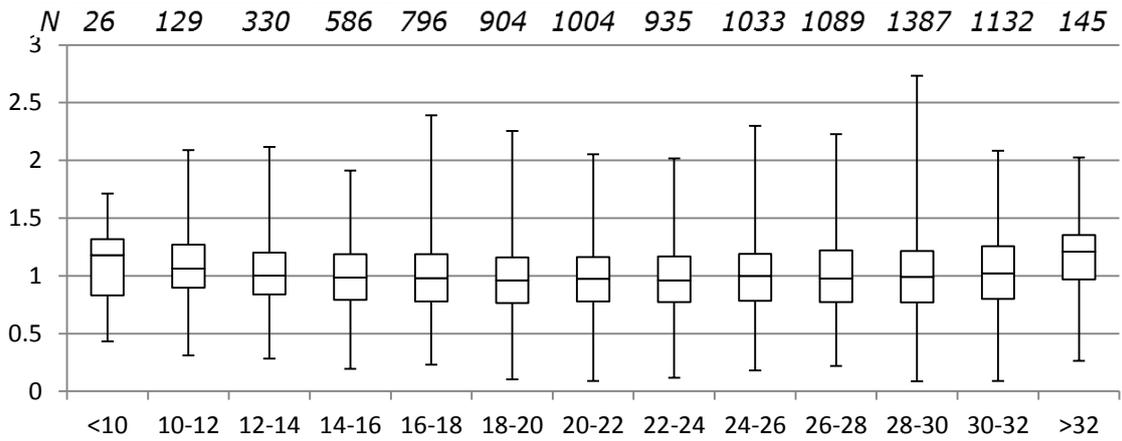
結果

第一部分：門檻溫度以及健康預警系統

圖八到圖十分別是死亡率距平比值與每日平均溫度、今日最低溫以及昨日最高溫的盒狀圖。圖皆顯示出：當溫度較高或較低時，死亡率距平比值的中位數都會開始大於 1，然而在較舒適的溫度下，死亡率距平比值的中位數則接近 1 或小於 1。記得！這些訊號並不包含死亡率的「季節循環」，也就是冬天的死亡率較夏天的死亡率高的正常現象，意即這些增加的死亡率是真正由異常高溫或低溫造成的。各溫度的門檻溫度的「曼恩-維特寧檢定(Mann-Whitney test)檢定結果以及估算每年因為溫度達到門檻溫度後，增加的死亡老年人數量等數據資料請見表二。

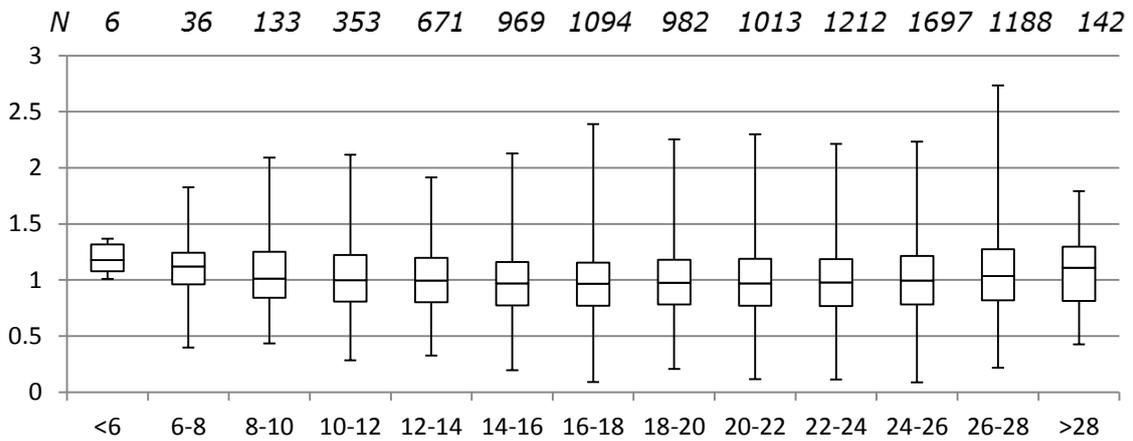
當每日天氣預報溫度達門檻溫度時，健康預警系統則需在這些異常高溫或異常低溫出現之前，對大台北地區的老年人發出異常溫度警告。

● 平均溫度 (圖八)



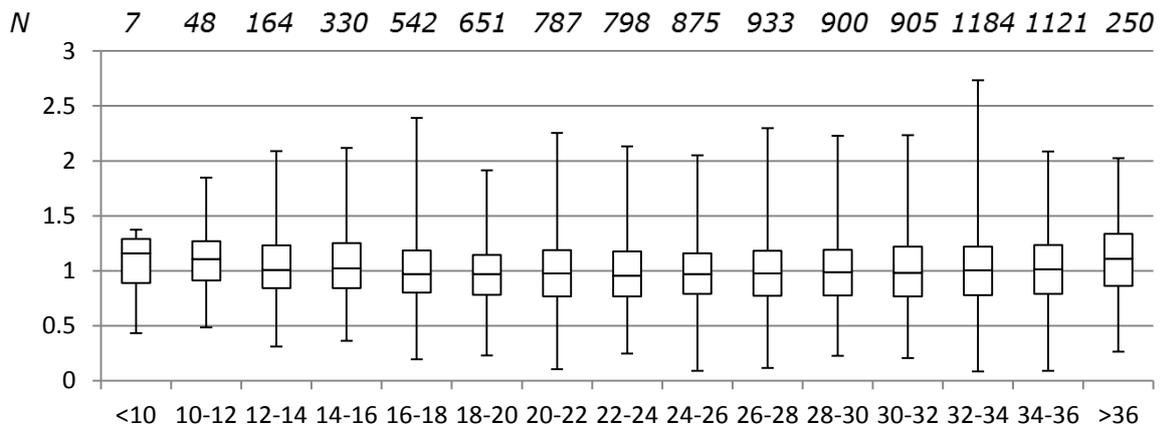
圖八：死亡率距平比值與平均溫度的關係圖。y 軸為死亡率距平比值；x 軸為平均溫度

● 今日最低溫 (圖九)



圖九：死亡率距平比值與今日最低溫的關係圖。y 軸為死亡率距平比值；x 軸為平均溫度

● 昨日最高溫 (圖十)



圖十：死亡率距平比值與昨日最高溫的關係圖。y 軸為死亡率距平比值；x 軸為平均溫度

溫度種類	門檻溫度	曼恩-維特寧檢定	#中位數+%	百分位(&天數) (現今氣候)	*每年死亡人數
平均溫度	30°C	P=0.033<0.05	+3.6%	87 th (47)	約 39 人
	12°C	P=0.048<0.05	+7.1%	2 nd (7)	約 12 人
今日最低溫	26°C	P=0.002<0.05	+3.8%	86 th (51)	約 27 人
	7°C	P=0.033<0.05	+11.4%	0.1 th (0.4)	約 14 人
昨日最高溫	36°C	P=0.0002<0.05	+11.0%	97 th (11)	約 44 人
	16°C	P=0.01<0.05	+2.8%	6 th (22)	約 1 人

#包含所有達到門檻溫度的死亡率距平比值（有考慮溫度分佈機率）

*是處於現今氣候下(1981~2006 年)，因為溫度達門檻溫度而增加的老年人死亡數

&天數是只在現今氣候平均每年高於該門檻溫度的天數

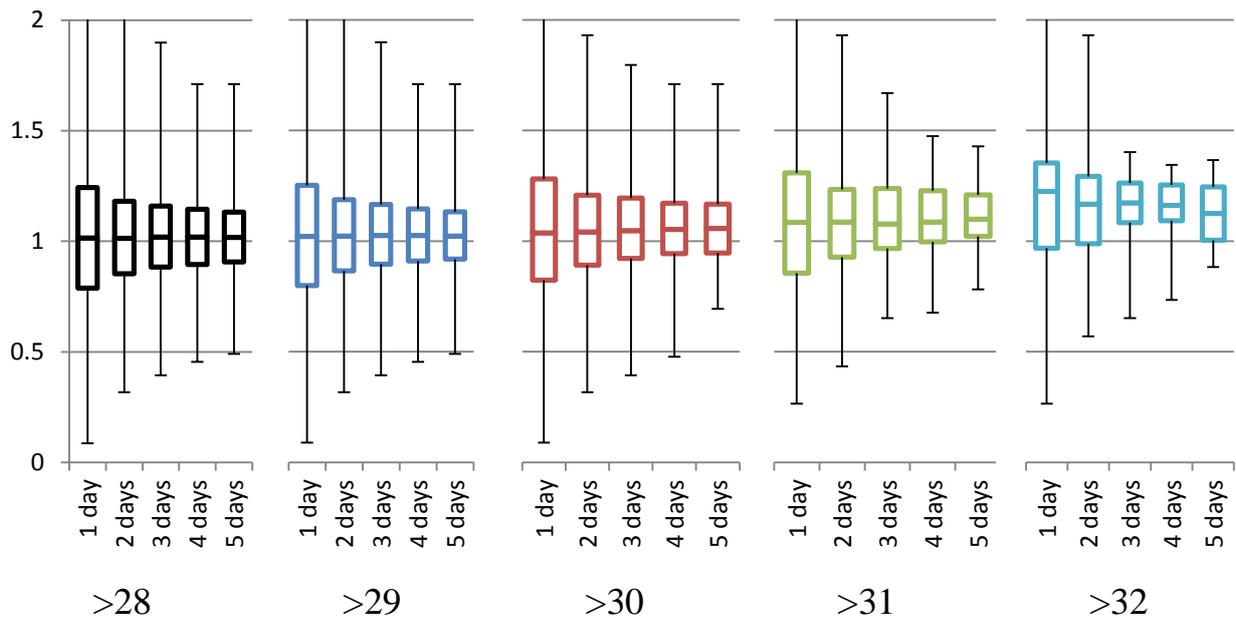
**1981~2006 年平均死亡率（每 100000）：3.51，2010 年大台北地區老年人人口數：約 646500 人

表二：各溫度種類的門檻溫度的「曼恩-維特寧檢定(Mann-Whitney test)檢定結果以及估算每年因為溫度達到門檻溫度後，增加的死亡老年人數量等數據資料

第二部分：持續性的異常高溫

此部分考慮平均溫度從高於 28°C 到高於 32°C 分別持續 1 天到持續 5 天，對死亡率的影響。

我們預期：(1)對於同樣的平均溫度（例如大於 28°C），較久的持續天數會有較高的死亡率；(2)同樣的持續天數（例如持續 3 天），溫度越高，死亡率的增幅越大；(3)平均溫度達到高溫門檻溫度(30°C)後，不管持續幾天，死亡率的增幅都比尚未達到高溫門檻溫度者大。圖十一為死亡率距平比值在不同平均溫度以及不同持續天數下的分佈。表四為不同平均溫度以及不同持續天數的交叉比較圖，百分比為死亡率距平比值的中位數比 1 多幾個百分點(偏離預期的程度)。由圖十一與表四的結果可知：(1)大致上來說，同樣的平均溫度，較久的持續天數會有較高的死亡率，但是大於 28°C 跟 29°C 的事件中，持續五天的死亡率增加比持續四天還小，然而，大於 32°C 則有隨著持續天數增加而死亡率增幅卻下降的趨勢，這可能是因為樣本數過少而致。(2)同樣的持續天數，死亡率的增幅隨溫度增加而增加，而且平均溫度高於高溫門檻溫度後，死亡率增幅也加大(28°C~29°C 的平均增幅:+0.66%，29°C~30°C:+2.44%，30°C~31°C:+3.88%，31°C~32°C:+8.36%)



圖十一：死亡率距平比值在不同平均溫度以及不同持續天數下的分佈。y 軸為死亡率距平比值；x 軸為在不同平均溫度與不同持續天數。

	>28 °C	>29 °C	>30 °C	>31 °C	>32 °C
持續 1 天	+1.4% (2596)	+2.2% (1989)	+3.8% (1165)	+8.4% (488)	+22.4% (116)
持續 2 天	+1.3% (2271)	+2.3% (1652)	+4.2% (831)	+8.6% (281)	+16.7% (50)
持續 3 天	+1.9% (2040)	+2.5% (1419)	+4.7% (632)	+7.7% (192)	+17.3% (26)
持續 4 天	+2.0% (1864)	+2.5% (1231)	+5.4% (490)	+8.6% (134)	+16.1% (10)
持續 5 天	+1.8% (1718)	+2.2% (1074)	+5.8% (390)	+10.0% (91)	+12.6% (3)

表四：不同平均溫度以及不同持續天數的交叉比較圖。百分比為死亡率距平比值的中位數比 1 多幾個百分點(偏離預期的程度)；括號內表示該事件在 1981~2006 年中的發生樣本數。

第三部分：年度高溫低溫事件的死亡率隨時間分佈

● 年度高溫事件

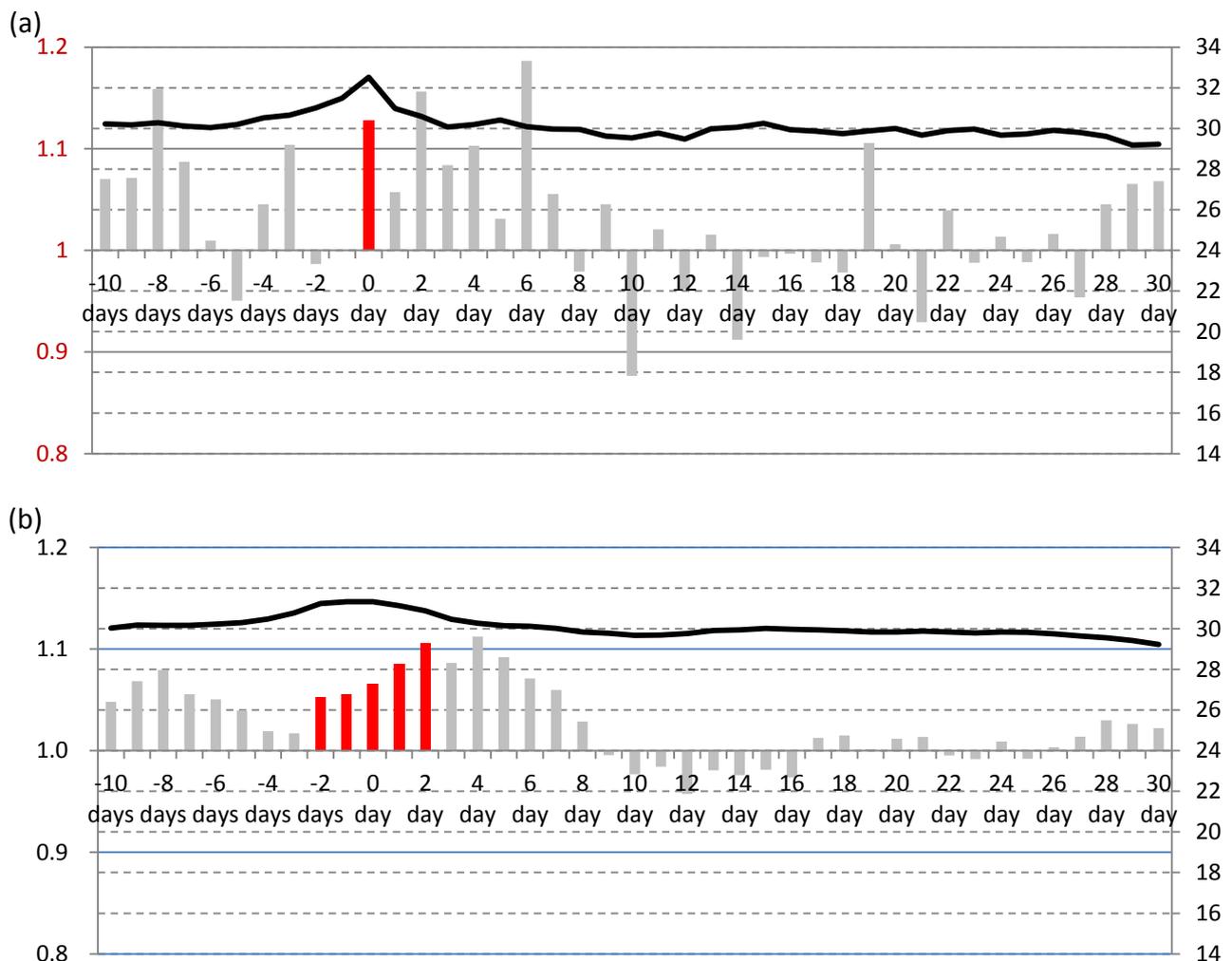
圖十二為年度高溫事件的死亡率距平比值對時間的分佈圖。由較平滑的圖十二(b)顯示：

1. 在最高溫時期（前 2 天到後 2 天）來臨前的前 10 天到前 3 天，死亡率距平比值已大於 1。

2. 在最高溫時期（前 2 天到後 2 天），死亡率距平比值從前 2 天到後 2 天逐漸增加（中位數 1.05 增到 1.11），而最大的死亡率距平比值落後最高溫大約 2 到 3 天。
3. 在最高溫時期過後，從後 3 天開始到後 8 天，連續 6 天，死亡率距平比值仍然維持大於 1，但是逐漸降低。
4. 從後 9 天到後 16 天，死亡率距平比值連續 8 天都小於 1，在後 17 天到後 30 天，死亡率距平比值則恢復接近 1。

對於以上的現象的成因，我們推測：

1. 對於最高溫時期來臨前的前 10 天到前 3 天，死亡率距平比值已大於 1，可能因為



圖十二：年度高溫事件的死亡率距平比值對時間的分佈圖。圖十二(a)為最原始由 1981~2006 年每年事件的合併(composite)，而圖十二(b)是經過 5 天移動平均(moving)處理。灰色長條圖代表死亡率距平比值，對應到左 y 軸；紅色長條圖表示作合併(composite)時有計算到每年最高溫「第 0 天」；黑色表示平均溫度，對應到右 y 軸。

此時期大台北地區的平均溫度以達高溫門檻溫度（30°C），而且具有連續幾天的持續性效果，而使死亡率距平比值大於1。

2. 此時期的平均死亡率距平比值是全部事件裡最高的，因為處在最高溫時期。最大的死亡率距平比值落後最高溫大約2到3天可能是因為人體的循環系統需要2到3天的生理反應時間，從暴露在高溫到發病，到死亡；另一個可能的原因是大台北地區的醫療照顧進步，醫生們會搶救發病的病人，如此可能延緩老年人死亡的高峰。
3. 從後3天開始到後8天，連續6天，死亡率距平比值仍然維持大於1的第一個可能原因是因為此時期的平均溫度仍然是超過或接近高溫門檻溫度；另一個原因可能是因為每位老年人的生體健康狀況不同，有些人一暴露在高溫，即馬上發病死亡，有些人則可能可以撐個幾天後才死亡。
4. 從後9天到後16天，死亡率距平比值連續8天都小於1，如此是顯示原本預期在這個時期死亡的老年人，因為受最高溫時期的影響而「提早死」，而不是額外的死亡人數。在其他篇的研究(5)中，也有類似的「死亡率位移效應」。在後17天到後30天，死亡率距平比值則恢復接近1，可能是因為平均溫度已降至高溫門檻溫度以下。

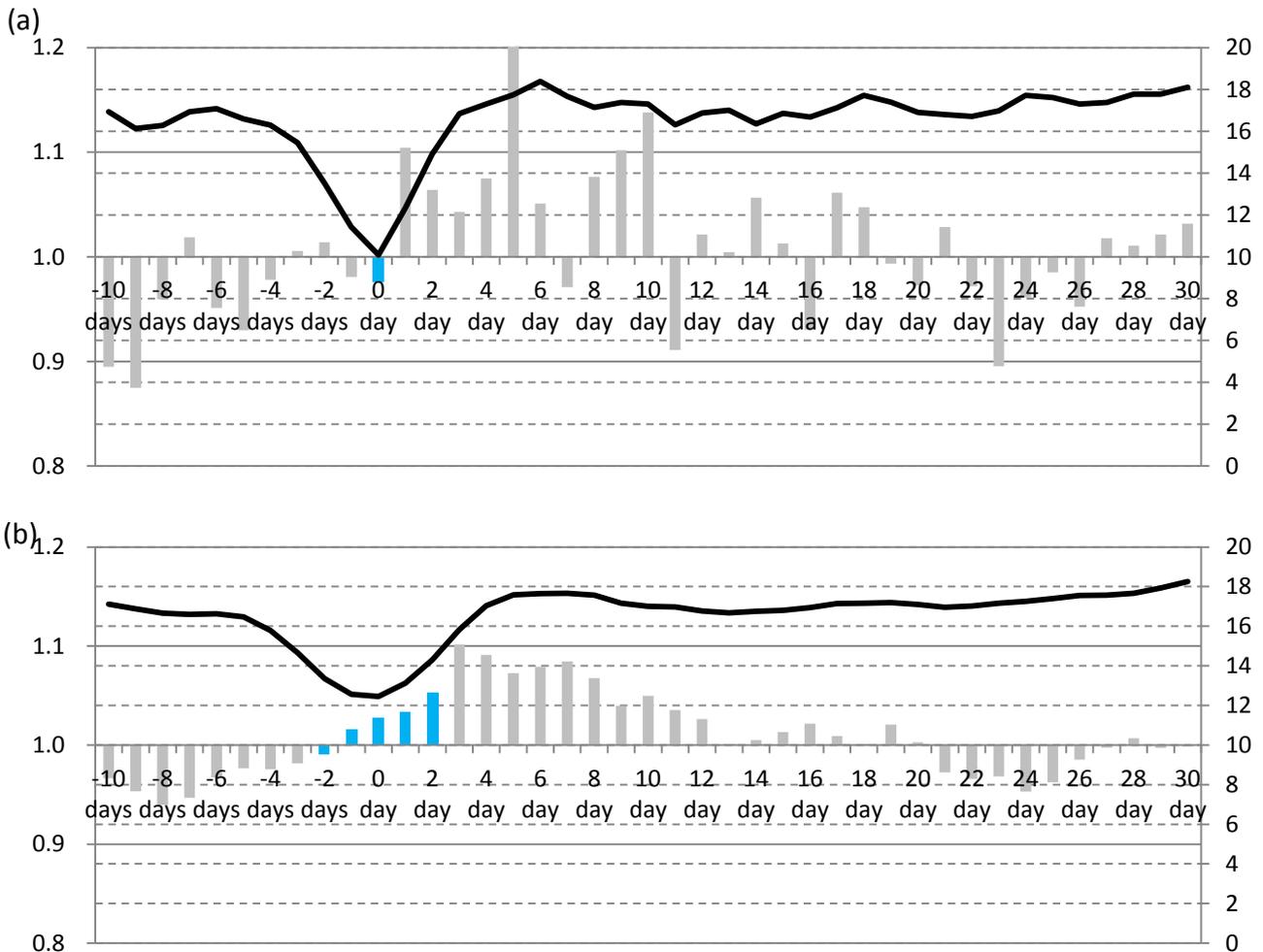
● 年度低溫事件

圖十三為年度高溫事件的死亡率距平比值對時間的分佈圖。由較平滑的圖十三(b)顯示：

1. 在最低溫時期（前2天到後2天）來臨前的前10天到前3天，死亡率距平比值小於1。
2. 在最低溫時期（前2天到後2天），死亡率距平比值從前2天的略小於1，逐漸增加中位數0.99增到1.05），而最大的死亡率距平比值落後最低溫大約3天。
3. 在最低溫時期過後，從後3天開始到後12天，連續10天，即使平均溫度未達低溫門檻溫度，且以升至較舒適的溫度，死亡率距平比值仍然維持大於1，但是逐漸降低，到了後13到後20天這8天，死亡率距平比值接近1。
4. 從後21天到後26天，死亡率距平比值連續6天都小於1。

對於以上的現象的成因，我們推測：

1. 在前10天到前3天，平均溫度較舒適，尚未達低溫門檻溫度(12°C)，因此死亡率



圖十三：年度低溫事件的死亡率距平比值對時間的分佈圖。圖十三(a)為最原始由 1981~2006 年每年事件的合併(composite)，而圖十二(b)是經過 5 天移動平均(moving)處理。灰色長條圖代表死亡率距平比值，對應到左 y 軸；藍色長條圖表示作合併(composite)時有計算到每年最低溫「第 0 天」；黑色表示平均溫度，對應到右 y 軸。

距平比值都小於 1。

2. 在最低溫時期，平均溫度非常接近低溫門檻溫度（由圖十三(a)的原始結果可知其實此時期已達低溫門檻溫度，但是作移動平均時，平均溫度被平滑化了），因此死亡率距平比值，漸漸從前 2 天的略小於 1 升到大於 1。最大的死亡率距平比值落後最低溫大約 3 天可能是因為人體的循環系統需要約 3 天的生理反應時間，從暴露在低溫到發病，到死亡；另一個可能的原因是大台北地區的醫療照顧進步，醫生們會搶救發病的病人，如此可能延緩老年人死亡的高峰。
3. 後 3 天開始到後 12 天，連續 10 天，即使平均溫度未達低溫門檻溫度，死亡率距平比值仍然維持大於 1 但逐漸下降，可能原因是因為每個人的健康狀況不同，有些人一暴

露在低溫，即馬上發病死亡，有些人則可能可以撐個幾天後才死亡。

4. 從後 21 天到後 26 天，死亡率距平比值連續 6 天都小於 1，如此是顯示原本預期在這個時期死亡的老年人，因為受最低溫時期的影響而「提早死」，而不是額外的死亡人數。

第四部分：氣候變遷影響的評估

對於現今氣候(1981~2006 年)而言，平均溫度的高溫門檻溫度 30°C 百分位約是 87%，意即在現今氣候中，平均每年中，平均溫度達高溫門檻溫度約有 47 天；在氣候變遷下，本世紀末(2080~2100 年)，平均溫度的高溫門檻溫度 30°C 的百分位(假設門檻溫度值不變)，13 個模式平均約為 69%，意即在本世紀末的平均每年中，平均溫度達高溫門檻溫度約有 113 天，表示在氣候變遷下，本世紀末平均一年中達到高溫門檻溫度的機率變成現在的約 2.4 倍。2010 年及本世紀末的推估平均大台北地區老年人人口數(2090 年的推估老年人人口數)分別為約 646500 人及 1946500 人，推估方式線性外插(圖七)，表示在本世紀末，大台北地區老年人人口數會是 2010 年的約 3 倍。各模式推估的在本世紀末氣候變遷的結果以及我們估計在氣候變遷下，達門檻溫度的老年人年死亡數較現今氣候多多少(式(3))，請參考表五。

表六為分別考慮氣候變遷與老年人人口成長對推估的本世紀末平均每年老年人年死亡數的影響。

模式代號	30°C 的百分位	每年平均溫度達 30°C 的天數	$\frac{\text{天數}'}{\text{天數}}$ (式(3))	平均每年老年人年死亡數(以式(3)估計)
bccr_bcm2_0	0.72	102	2.15	253
cccma_cgcm3_1_t63	0.695	111	2.35	275
cnrm_cm3	0.71	106	2.23	262
csiro_mk3_0	0.743	94	1.98	232
csiro_mk3_5	0.693	112	2.36	277
gfdl_cm2_0	0.662	123	2.60	305
gfdl_cm2_1	0.664	123	2.58	303
iap_fgoals1_0_g	0.725	100	2.12	248
ingv_echam4	0.723	101	2.13	250
miroc3_2_hires	0.622	138	2.91	341
miroc3_2_medres	0.664	123	2.58	303
mpi_echam5	0.666	122	2.57	302
mri_cgcm2_3_2a	0.69	113	2.38	280
平均值	0.691	113	2.38	280

#在現今氣候平均每年因溫度達高溫門檻溫度的死亡數約 39 人（表二）。

$$\frac{\text{人口數}'}{\text{人口數}} = 3, \quad 13 \text{ 個模式平均 } \frac{\text{天數}'}{\text{天數}} = 2.38$$

@分子「天數'」是利用模式推估本世紀末(2080~2100)高溫門檻溫度 30°C 的百分位，算得在本世紀末平均每年中會達到高溫門檻溫度 30°C 的天數；分母「天數」則表現今氣候(1981~2006)，平均每年達到高溫門檻溫度 30°C 的天數，現今氣候的 30°C 百分位:87%，因次算得天數約等於 47 天每年。

表五：本世紀末(1981~2006 年)氣候變遷及人口成長的結果。

氣候型態	現今氣候	本世紀末		
		&只考慮氣候變遷的影響	*只考慮人口成長的影響	#考慮氣候變遷及人口成長
條件				
平均值	約 39 人	約 93 人	約 117 人	約 280 人

& 在式(3)中不計 $\frac{\text{人口數}'}{\text{人口數}}$ 項=>39* $\frac{\text{天數}'}{\text{天數}}=93$

* 在式(3)中不計 $\frac{\text{天數}'}{\text{天數}}$ 項=>39* $\frac{\text{人口數}'}{\text{人口數}}=117$

39* $\frac{\text{人口數}'}{\text{人口數}} * \frac{\text{天數}'}{\text{天數}}=280$

表六：推估的本世紀末平均每年老年人年死亡數，分別考慮氣候變遷與老年人人口成長的影響。

總結

第一部分：門檻溫度以及健康預警系統

	高溫門檻溫度	低溫門檻溫度
平均溫度	30°C	12°C
今日最低溫	26°C	7°C
昨日最高溫	36°C	16°C

表七：各類溫度的門檻溫度

- 由表七，當每天溫度達到各門檻溫度時，大台北地區老年人的心血管疾病死亡率會有統計上顯著的上升。
- 根據每天的氣溫預報，若溫度被預測可能會達到門檻溫度，健康預警系統則需在這些異常高溫或異常低溫出現之前，對大台北地區的老年人發出異常溫度警告。

第二部分：持續性的異常高溫

- 大致上來說，同樣的平均溫度，較久的持續天數會有較高的死亡率，但是大於 28°C 跟 29°C 的事件中，持續五天的死亡率增加比持續四天還小，然而，大於 32°C 則有隨著持續天數增加而死亡率增幅卻下降的趨勢，這可能是因為樣本數過少而致。
- 同樣的持續天數，死亡率的增幅隨溫度增加而增加，而且平均溫度高於高溫門檻溫度 30°C 後，死亡率增幅也加大 (28°C~29°C 的平均增幅:+0.66%，29°C~30°C:+2.44%，30°C~31°C:+3.88%，31°C~32°C:+8.36%)

第三部分：年度高溫低溫事件的死亡率隨時間分佈

表八為年度高溫低溫事件的死亡率隨時間分佈的比較。

	年度高溫事件	年度低溫事件
最高溫時期前 (前 10 天到前 3 天)	✓ 死亡率距平比值皆大於 1	✓ 死亡率距平比值皆小於 1
最高溫時期 (前 2 天到後 2 天)	✓ 死亡率距平比值漸增 ✓ 最大的死亡率距平比值落後 最高溫大約 2 到 3 天	✓ 死亡率距平比值漸增 ✓ 最大的死亡率距平比值落後 最低溫大約 3 天
最高溫時期後	✓ 從後 3 天開始到後 8 天，連續 6 天，死亡率距平比值仍然維持大於 1，但是逐漸降低	✓ 從後 3 天開始到後 12 天，連續 10 天，死亡率距平比值仍然維持大於 1，但是逐漸降低
死亡率位移效應	✓ 從後 9 天到後 16 天，死亡率距平比值連續 8 天都小於 1	✓ 從後 21 天到後 26 天，死亡率距平比值連續 6 天都小於 1

表八：年度高溫低溫事件的死亡率隨時間分佈的比較

第四部分：氣候變遷影響的評估

- 在本世紀末，在氣候變遷以及老年人人口數成長的影響下，推估的平均每年老年人死亡數為現今的 7.14 倍。
- 比較氣候變遷以及老年人人口數成長的影響力，氣候變遷的貢獻倍數約為 2.38 倍，人口數成長貢獻的倍數約為 3 倍，因此遷對於本世紀末推估的平均每年老年人死亡數，人口數成長的效果大於氣候變遷（表九）。

氣候型態	現今氣候	本世紀末		
		*只考慮氣候變遷的影響	*只考慮人口成長的影響	#考慮氣候變遷及人口成長
條件				
平均值	約 39 人	約 93 人	約 117 人	約 280 人

表九：推估的本世紀末平均每年老年人年死亡數，分別考慮氣候變遷與老年人人口成長的影響。

參考資料

1. Neville Nicholls, Carol Skinner, Margaret Loughnan, Nigel Tapper (2007) A simple heat alert system for Melbourne, Australia *Int J Biometeorol*
2. S Hajat, R S Kovats, R W Atkinson, A Haines (2002) Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach *J Epidemiol Community Health* 2002;56:367–372
3. Reinhard Kaiser, Alain Le Tertre, Joel Schwartz, Carol A. Gotway, W. Randolph Daley, Carol H. Rubin, (2007) The Effect of the 1995 Heat Wave in Chicago on All-Cause and Cause-Specific Mortality *American Journal of Public Health Supplement 1, 2007, Vol 97, No. S1*
4. Maud M.T.E. Huynen, Pim Martens, Dienneke Schram, Matty P. Weijnenberg, and Anton E. Kunst (2000) The Impact of Heat Waves and Cold Spells on Mortality Rates in the Dutch Population *Environmental Health Perspectives VOLUME 109 NUMBER 5 May 2001*
5. Grégoire Rey, Eric Jouglu, Anne Fouillet, Gérard Pavillon, Pierre Bessemoulin, Philippe Frayssinet, Jacqueline Clavel, Denis Hémon (2007) The impact of major heat waves on all-cause and cause-specific mortality in France from 1971 to 2003 *Int Arch Occup Environ Health* (2007) 80:615–626
6. Michael A. McGeehin, Maria Mirabelli (2001) The Potential Impacts of Climate Variability and Change on Temperature-Related Morbidity and Mortality in the United States *Environmental Health Perspectives VOLUME 109 SUPPLEMENT 2 May 2001*