

平均餘命與標準化死亡率之相關分析

余清祥¹

王信忠²

呂靖翎³

摘要

平均餘命是衡量國家發展的重要指標，反映各地區的經濟發展、公共衛生、醫療水準，通常透過編製生命表，包括資料插補、死亡率修勻等步驟，其結果可用於探索時間變化與地區差異。由於鄉鎮市區等小地區的資料蒐集不易，死亡率因樣本數少而有較大震盪，使得生命表編修面臨更多困難，我國現在僅公布國家、人口較多行政地區（如縣市）的官方生命表。本文以估計小區域之平均餘命為目標，在不考量編算生命表的前提下，透過標準化死亡率(Standardized Death Rate)和標準化死亡比(Standardized Mortality Ratio)探討以此估計平均餘命的可行性。這兩個指標常用於比較不同地區、或同一地區不同時間的死亡率，可降低人口年齡結構造成的干擾。我們以這兩個指標為基礎，以線性模型估計小區域平均餘命，應用於 2000 年至今的臺灣全國、縣市層級簡易生命表，以及美國人口死亡資料庫(Human Mortality Database)，並藉由交叉驗證評估線性模型的優劣。研究發現這兩個標準化死亡指標與平均餘命關係密切，應用於人數較少區域的平均餘命，得出之偏誤與變異數優於套用生命表，但模型參數值需跟著兩個指標數值調整，使用時需格外謹慎。

關鍵詞：平均餘命、小區域估計、標準化死亡率、地區差異、線性模式

¹ 余清祥，國立政治大學統計系教授，email：csyue@nccu.edu.tw

² 王信忠，真理大學統計資訊與精算系教授，email：au4369@mail.au.edu.tw 通訊作者

³ 呂靖翎，國立政治大學統計碩士，email：lala9456@gmail.com

A Study of Standardized Mortality and Life Expectancy

Jack C. Yue⁴

Hsin-Chung Wang⁵

Jing-Ling Lu⁶

Abstract

Life expectancy is an important indicator of national development, reflecting the level of economic development, public health, and medical care across regions. It is typically calculated through the construction of life tables. The results can be used to explore temporal changes and regional disparities. However, due to the difficulty in collecting data for small areas such as townships and districts, mortality rates in these areas often fluctuate significantly, making life table construction more challenging. Currently, Taiwan only publishes official life tables at the national and county levels.

This study aims to evaluate the feasibility of estimating life expectancy of small areas via the Standardized Death Rate (SDR) and Standardized Mortality Ratio (SMR), without constructing life tables. These two indicators are commonly used to compare mortality rates across different regions, helping to reduce the distortion caused by differences in population age structures. Based on SDR and SMR, we develop linear models to estimate small-area life expectancy. We apply our approach to simplified life tables for Taiwan (at the national and county/city levels) from 2000 to the present, as well as to data from the Human Mortality Database. Model performance is evaluated using cross-validation. The results show that SDR and SMR are closely related to life expectancy. When applied to smaller populations, the estimated life expectancy yields lower bias and variance than estimates derived from life tables.

Keywords: Life Expectancy, Small Area Estimation, Standardized Mortality Rate, Regional Difference, Linear Model

⁴ Professor, Department of Statistics, National Chengchi University, Taipei, Taiwan, Republic of China. Email: csyue@nccu.edu.tw

⁵ Professor, Department of Statistical Information and Actuarial Science, Aletheia University, New Taipei City, Taiwan, Republic of China. Email: au4369@mail.au.edu.tw. Corresponding author

⁶ Master, Department of Statistics, National Chengchi University, Taipei, Taiwan, Republic of China. email : lala9456@gmail.com

壹、研究動機與目的

平均餘命 (Life Expectancy) 是衡量國家或地區的人民健康、醫療公衛水準之重要指標，藉此可協助政府制訂社會福利、醫療資源等政策，以及個人規劃退休生活，同時也用於保險業在人壽保險費率的計算。平均餘命是公共衛生領域的常見研究議題，例如：吳宛蕙等 (2007) 劃分最高、中等、最低都市化程度，發現實施全民健保之後最高、中等都市化地區的平均餘命差距顯著縮小，但最高、最低都市化地區沒有明顯變化，建議政府撥注醫療資源於最低都市化地區以提高偏遠地區民眾的平均餘命。溫啓邦等 (2005) 比較歷年高雄市和臺北市的平均餘命差距，發現 1981~2001 年間高雄市居民平均短少臺北市居民約 3~4 歲的壽命，主要因為癌症、慢性或消化系統疾病及事故傷害等因素引起，建議可透過減少吸菸與吃檳榔等危險因子縮短壽命差距。我國官方公布的平均餘命大多透過生命表編算，現在是主要由內政部負責，每年根據內政部戶政司整理的各縣市人口數、死亡數而編製簡易生命表，每十年也會配合戶口普查編算國民生命表。

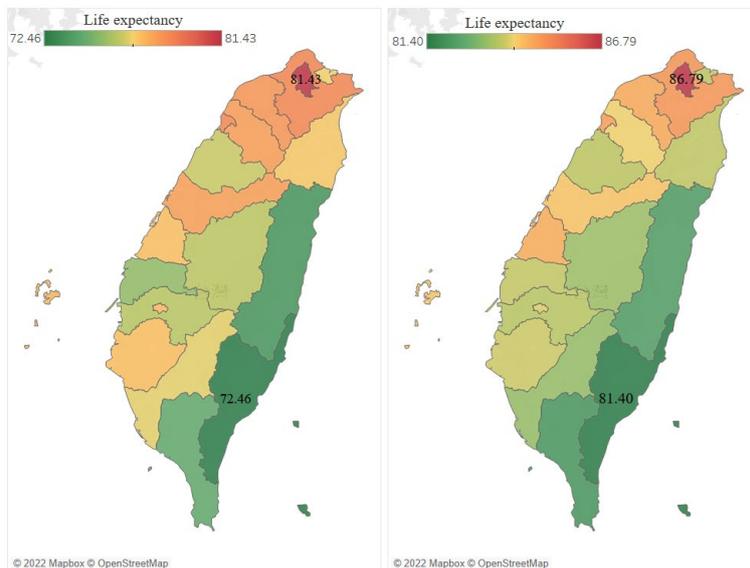


圖 1、臺灣縣市 2020 年平均餘命 (左：男性，右：女性)

臺灣幅原不大卻擁有多樣性的地形與氣候，各地居民生活習慣及重心不盡相同，加上人口結構、醫療資源等差異，使得居民健康和平均餘命存在不小差距。以 2020 年縣市別簡易生命表說明其中差異 (圖 1)，男性最高者為臺北市的 81.43

歲、最低為臺東縣的 72.46 歲，兩者差了將近 9 歲，這兩個縣市的女性壽命也有 5 歲以上的差距。其他國家的各地居民之壽命差異甚至高於臺灣縣市間數值，像是英國男女性壽命地區差距在 2001 年之後逐年擴大，也是男性差異高於女性 (Bennett et al. 2018)，2019 年男女性壽命在最高平均餘命的 MOSA 統計區中最大差距超過 20 歲 (Rashid et al. 2021)。美國不同種族壽命存在地區差異，並且在 2000 年至 2007 年間，有 85% 郡 (County) 的平均餘命落後於國際水準 (Kulkarni et al. 2011)，壽命的地區差異在美國也持續擴大。

雖然各地區居民的健康與壽命相差不少，但限於小區域的人口數量、資料品質及生命表編算方法等因素，我國內政部編製的 (國民、簡易) 生命表只涵蓋縣市層級，並未涉及更小行政區域。(如：鄉鎮市區、村里)，亦即官方缺乏小地區平均餘命的資料，無法將其用於探究更為細緻的地區性差異。事實上，官方曾考慮比縣市更細緻的生命表，但小區域人口數較少會有資料稀疏 (Data Sparse) 的困難，除了死亡率在各年齡間有較大震盪，像是死亡率較低的 10~19 歲青少年族群沒有死亡人數，及 85 歲以上高齡人口缺乏足夠的人數，也會造成 Gompertz 之類的高齡死亡模型在估計上產生偏誤，因此現今政府並無鄉鎮市區層級生命表的編算計畫。

生命表根據各年齡死亡率，搭配均勻死亡假設 (Uniform Distribution of Death，以下簡稱 UDD)，計算出各年齡平均餘命及死亡數、生存數等生命表數值，但這些編算結果會因為人數少而有較大震盪，使得死亡率、平均餘命的估計很不穩定。以 2020 年臺灣男性為例，令簡易生命表的年齡死亡率為真實值，各年齡人數如 2020 年年底紀錄，假設死亡人數服從 Poisson 分配，透過蒙地卡羅法 (Monte Carlo method) 模擬不同年齡的死亡人數，從而得出各年齡死亡率的觀察值。我們以這些模擬死亡率計算平均餘命，探討地區人數與平均餘命的關係，仿造官方生命表將最高年齡訂為 100 歲，將存活至 100 歲者的平均餘命訂為 0.5 歲。圖 2 為 1,000 次模擬的零歲平均餘命 (俗稱平均壽命) 盒狀圖 (Boxplot)，明顯可見地區人數愈少、盒狀圖範圍愈大，符合變異數與人數成反比的認知，像是人數 5 萬以下時壽命的分布全距超過 10 歲。死亡率觀察值震盪可藉由修勻 (Graduation) 調整，但人口數少時遭遇的狀況也多，即便加入小區域死亡率的修正方法 (Wang et al. 2018; Yue et al. 2021)，未必能有效降低零歲平均餘命的變異數，這也是官方不考慮編算鄉鎮市區生命表的主因之一。

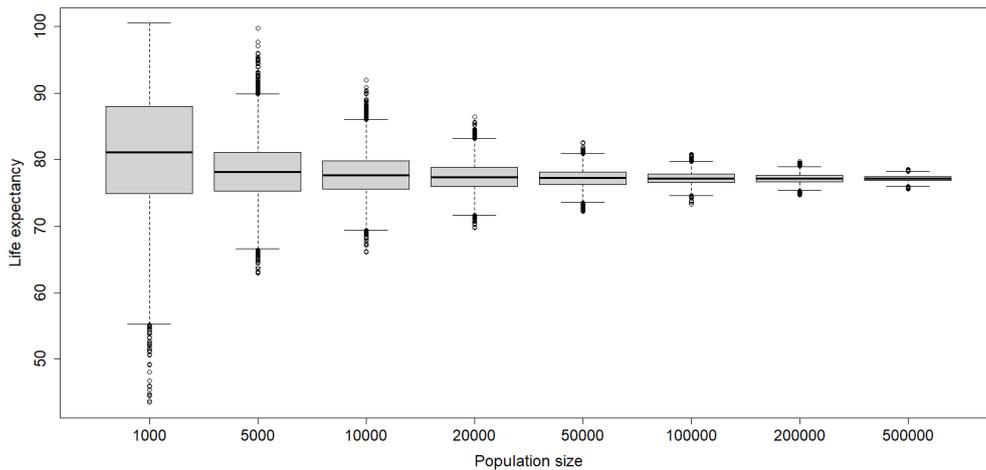


圖 2、1,000 次電腦模擬的零歲平均餘命盒狀圖

臺灣許多鄉鎮市區的男性及女性人數少於 5 萬人，總共 368 個鄉鎮市區中有 217 個（59%）單一性別人數在 2 萬以下、299 個（81%）少於 5 萬人（表 1）。如果編算這些鄉鎮市區的生命表，預期有 80% 地區居民的平均壽命出現類似圖 2 的震盪，預期生命表編算結果會有相當大的誤差，讓平均餘命等數值失去參考價值。事實上，除了六都及彰化縣之外，臺灣各縣市人口都在百萬以下，有五個縣市人數不到 40 萬（包括金門、連江）。其中澎湖縣男女性只有 5 萬人左右，由於人數少使得死亡率明顯震盪，15 歲以下（不含零歲）的死亡人數觀察值經常為 0，因此澎湖縣簡易生命表的死亡率在某些年度跳動較大，其型態與人口數較多的雙北市生命表非常不同。

表 1、臺灣鄉鎮市區人口數統計（總數：368）

單一性別人數	一千以下	1 千~2 千	2 千~5 千	5 千~1 萬
行政區個數	4	8	54	64
單一性別人數	1 萬~2 萬	2 萬~5 萬	5 萬~10 萬	10 萬以上
行政區個數	87	82	40	29

我國各地的平均餘命通常透過生命表編算取得，根據各年齡死亡率特性選擇合適修勻方法，但若編算地區人口數較少，即便是人口資料完整也未必能獲得穩定的平均餘命估計值。因此本文以平均餘命的估計方法為目標，在不透過編製生命表之下，尋求可行的替代方案。有研究指出標準化死亡率（Standardized Death Rate, SDR）和標準化死亡比（Standardized Mortality Ratio, SMR）與平均餘命的

關係密切 (Lai et al. 1996a and 2000b; Skriver et al. 2018)，本文提議以此為解釋變數，建立與平均餘命的線性模型。本文以統計方法檢查模型的適切性(殘差分析)，確保迴歸分析結果的有效性，並以實際資料透過回測法驗證模型的準確性，建議使用者以何種資料設定估計平均餘命會有較小誤差。考量的實際資料包括臺灣縣市以及世界各國進行實證分析，評估本文方法用於臺灣 368 個鄉鎮市區的可能性，再透過電腦模擬比較本文與其他方法的差異，研究心得可提供政府以及各界參考。

本文編排如下：第貳節將先介紹本文使用資料及研究方法，包括生命表編算、平均餘命估計，以及整理小區域平均餘命的相關研究，說明人口數少時會遭遇的困難。第參節則說明平均餘命與標準化死亡率的線性模型，包括估計方法、模型診斷等，並套用至臺灣各縣市計算平均餘命，藉由實證分析驗證本文方法的可行性。第伍節則 HMD 國家資料代入 SDR 線性模型，驗證其估計平均餘命的可行性並與其他模型比較，最後一節則為結論與建議。

貳、文獻回顧與研究方法

生命表通常透過資料插補、修勻與死亡率模型等方法，使各年齡組死亡率兼顧平滑性 (Smoothness) 與適度性 (Fitness)，但編算區域人口數少時仍面臨死亡率等數值的震盪，使得估計之平均餘命有不穩定的疑慮。例如：王信忠等 (2012) 以 1990~2009 年五齡組死亡率資料，推估臺北市、大安區、南港區 (單一性別人口數分別約為 130 萬、15 萬、5 萬) 2010~2019 年的平均餘命，發現透過區塊拔靴法 (Block Bootstrap) 獲得之 95% 預測區間隨著人口數變少而變寬，其中南港區的預測區間寬度超過 10 歲。此外，運用死亡率模型在小區域的推估也面臨估計結果會有偏誤 (Bias) 的問題，例如：常見的死亡率模型 Lee-Carter (1992) 在百萬以上地區的死亡率估計相對準確且穩定，但是在人數較少時會出現明顯偏誤，Wang et al. (2018) 與 Yue et al. (2021) 發現 Lee-Carter 模型的年齡參數 α_x 與 β_x 的偏誤會隨著人口數減少而增加，尤其又以 α_x 估計值更為嚴重。

上述小區域平均餘命的估計困境，緩解方式可透過增加樣本數、或參考其他母體來調整死亡率，例如：Lee (2003) 提出 Partial SMR 修勻法，藉由參考人數較多的大區域死亡率，降低小區域的死亡率觀察值震盪；Li and Lee (2005) 合併不同國家的人口，可降低 Lee-Carter 模型的估計誤差。王信忠等 (2012) 也認為

參考大區域死亡率是可行作法，透過電腦模擬及臺東、臺南的實證分析，發現以小區域過去 15 年資料推估未來 20 年死亡率可獲得穩定結果，但小區域人數小於 20 萬時需特別謹慎。王信忠等（2017）將花東居民、歷史原住民資料視為參考母體，編製原住民全體、阿美族、泰雅族、排灣族的生命表，發現原住民的平均餘命明顯低於全國，而且各個原住民族間也有不小差距，顯示出臺灣平均餘命的差異與族群有關聯。

除了參考母體外，有學者提議以統計方式或電腦模擬來降低誤差。例如：陳政勳和余清祥（2010）將生育、死亡、遷移三個因素結合，使用年輪組成法（Cohort Component Method）推估臺北市、雲林縣、嘉義縣、澎湖縣等四個縣市未來人口。Stephens et al.（2013）使用貝氏隨機模型（Bayesian Random Effects Model）與性別、區域以及兩者的交互作用估計澳洲 153 個地方自治區的死亡率。Arias et al.（2018）在編製美國小區域的簡易生命表時，將各地區年齡組的死亡率與人口密度、族裔、教育程度、所得收入等社會經濟相關之變數建立負二項迴歸模型。余清祥等（2021）將 Hamilton and Perry（1962）提出的年輪變動比（Cohort Change Ratio，簡稱 CCR）應用在臺灣縣市、鄉鎮市區層級的人口推估上，以回測法（Backcast）發現其可應用在臺灣小區域 15 年內之短期人口推估。

國外學者也提出不依據生命表編修估計平均餘命，Lai et al.（1996）以簡單線性迴歸模型描述平均餘命與標準化死亡比 SMR 的關係，發現 25、45、65 歲的平均餘命與 SMR 存在高度線性相關，並以這個模型估計美國各州居民的平均餘命。Lai et al.（2000）同樣建立平均餘命跟 SMR 的線性迴歸模型，套用至中國 30 個省及美國 50 個州，發現模型在高齡區段（65 歲）及 SMR 變動範圍較小時配適較差。Skriver et al.（2018）也發現丹麥、芬蘭、挪威和瑞典的平均餘命與 $\log(\text{SMR})$ 高度線性關係，並應用至 1950 年至 2010 年的死亡率，計算 SMR 與預期壽命與參考年（1980 年）的差距。Sormin et al.（2019）使用週期性（Cyclical Order Weight）的人工智慧神經網路（Neural Network），以 1995~2015 年共 38 個國家的平均餘命，透過交叉驗證及均方誤差（Mean-Square Error，以下簡稱 MSE）評估模型優劣。Liou et al.（2020）依據 1950~2015 全球 201 個國家的平均餘命，對時間、國家、地區，建立等級線性模型（Multilevel Linear Regression Models），發現時間、國家與地區以及兩者之間的交互作用皆為顯著。Raftery et al.（2013）則考量貝氏隨機模型，再結合雙重邏輯斯函數（double-logistic function），以 1950~1995 年資料作為先驗資訊（prior information），估計全球 158 個國家在 1995~2005 年的

平均餘命。

本文藉由兩種常見的死亡指標，跳過編算生命表的流程，以其作為估計平均餘命的依據。平均餘命是最常見的死亡指標，藉由修勻（Graduation）等生命表編製工作程序，進而得出能夠反映各地區居民死亡現狀的數值，經過這一系列的編算可減低人口年齡結構不同造成的干擾，像是粗死亡率會因老年人比例較高而偏大。不過常見的修勻方法會受到樣本數少的影響，尤其是某些年齡死亡人數為零時通常會造成年齡別死亡率有較大震盪，圖 2 在人口數少有較大的變異數正是肇因於此，而且某些小區域的資料取得不易，這也使得生命表編算在許多國家不可行。有鑑於此，本文提議依據現有生命表的結果為基礎，探討 SDR/SMR 與平均餘命的關聯，作為估計小區域的依據。

標準化死亡率 SDR 及標準化死亡比 SMR 都是藉由參考標準母體，將各地區調整成具有相同年齡比例，以此平衡人口結構不同造成的干擾。這兩種死亡指標的定義及公式如下：

$$SDR = 100000 \times \frac{\sum_x N_x d_x / n_x}{\sum_x N_x}$$

$$SMR = \frac{\sum_x d_x}{\sum_x e_x} = \frac{\sum_x d_x}{\sum_x n_x u_x^*}$$

N_x ：標準母體 x 歲年齡組人數

d_x ：目標區域 x 歲年齡組死亡數觀察值。

n_x ：目標區域 x 歲年齡組的人口數。

u_x^* ： x 歲年齡組的標準母體死亡率。

e_x ：目標區域 x 歲期望死亡數。

SDR 是經過標準化的死亡率，將各地區人口根據標準母體調整成相同年齡結構，避免高齡人口比例較多引起的誤判，其數值可解讀為每十萬人的死亡人數。SMR 同樣是經過年齡結構調整的死亡率指標，其意涵為目標地區、標準母體的死亡數比值，或觀察死亡人數、預期死亡人數之比值。SMR 大於 1 代表目標地區的死亡人數高於預期，可解讀為目標地區的死亡率高於標準母體，但 SMR 數值不能視為為死亡率（與 SDR 不同），僅能類比為死亡率的倍數。除了地區比較

之外，SMR 也可用於探索死亡率的時間變化，將歷年人口及死亡資料加總成標準母體，如此得出各年度之 SMR 可視為年度的死亡率變化，圖 3 為我國男女性 1992~2023 年 SMR 數值，明顯可見兩性死亡率隨時間穩定下降，女性下降幅度略高於男性，2021 年及 2022 年受到新冠肺炎影響而回升，2023 年已漸漸恢復原來趨勢。

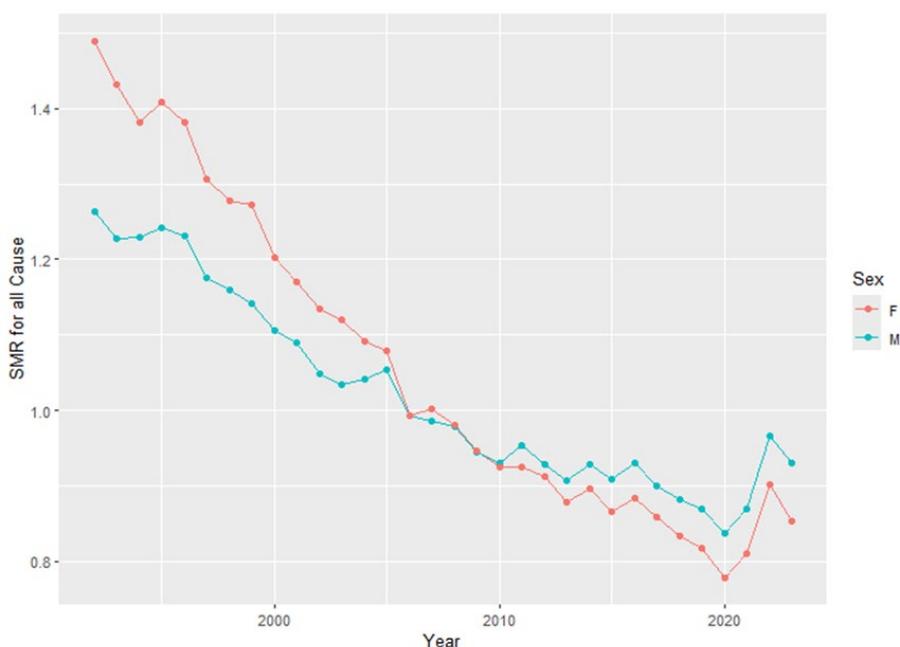


圖 3、臺灣男女性歷年 SMR (1992~2023 年)

本文實證資料考量內政部歷年各縣市簡易生命表(包括各縣市五齡組人數及死亡人數)，美國柏克萊大學 Human Mortality Database (HMD) 人口資料庫，並採用世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) 2000 年五齡組 0~99 歲之標準人口計算 SDR(附錄)。許多國家官方統計及學術研究都選擇這個標準母體，我國衛生福利部等政府機關也是如此，這個標準母體源自於 Ahmad et al.(2001)，為了因應人口快速老化及特定年齡的亡率降低等變化，以世界各地的平均人口及聯合國的標準人口為參考，制定西元 2000~2025 年標準人口結構(總人口數為 100 萬)。HMD 最初是由加州大學柏克萊分校和德國馬克斯普朗克人口研究所 (Max Planck Institute for Demographic Research) 蒐集全球資料所創建，本文使用 HMD 資料庫收錄的其中包含臺灣等 38 個國家 1991~2020 共計 30 年的暴露數、死亡數、平均餘命等兩性生命表數值。(註：2021~2022 年資料受到新冠肺炎

炎影響而不納入。)

模型評估以兩種誤差測量值為標準：平均絕對百分比誤差 (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) 或均方根誤差 (Root Mean Square Error, RMSE)，公式如下：

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i} \times 100\%$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}}$$

其中 Y_i 為第 i 個觀察值， \hat{Y}_i 為第 i 個預測 (估計) 值， n 為樣本數。

參、我國縣市別平均餘命

本節透過 SDR 跟 SMR 建立平均餘命的線性模型，並以臺灣 2000~2020 年 (21 年資料)⁷ 縣市層級的死亡率與簡易生命表為依據，測試模型能否用於估計小區域的平均餘命。根據內政部公佈之全國、縣市簡易生命表，零歲平均餘命與 SDR、SMR 明顯為高度線性負相關，以各縣市 SDR 為例 (2000~2020 年，圖 4)，明顯可見兩者為線性關係。先嘗試簡單線性迴歸，將各縣市零歲平均餘命視為 Y ，而 SDR (或 SMR) 為解釋變數 X ：

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{it} + \varepsilon_{it}, \quad \text{其中 } \varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma^2) \quad (1)$$

其中 i 為第 i 個縣市， t 為時間， β_0 為截距、 β_1 為斜率。當 SDR 或 SMR 為 0 時平均餘命的估計值為 β_0 ，這個數值是模型估計的平均餘命極限，而 β_1 則是 SDR 或 SMR 每上升一單位對應於平均餘命的變化程度。

⁷ 為了避免新冠肺炎的影響，不考慮 2021~2023 年的資料。

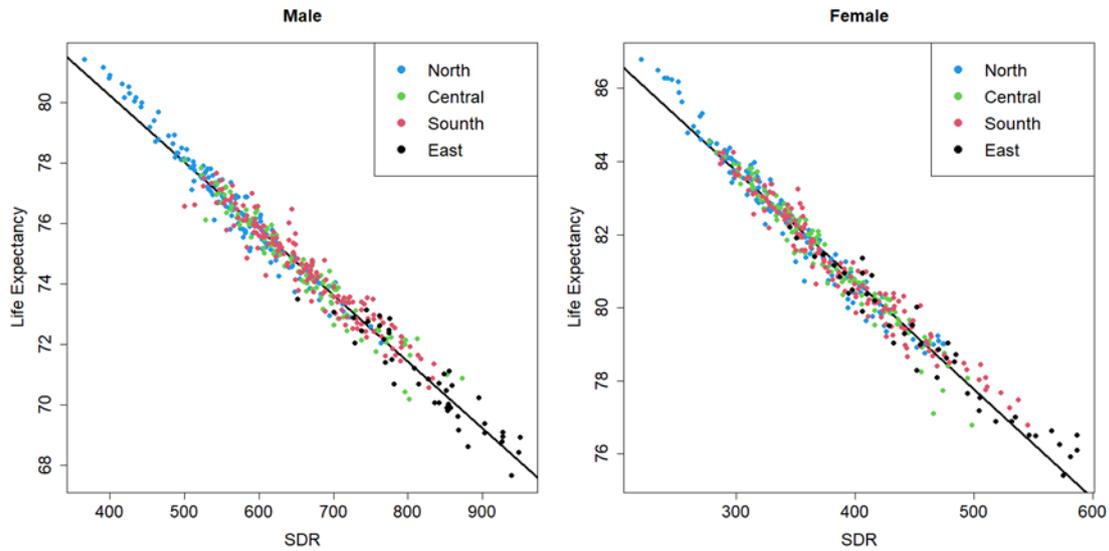


圖 4、SDR 與零歲平均餘命關係圖（縣市層級）

表 2、零歲平均餘命迴歸模型係數（臺灣縣市）

	SDR 男性	SDR 女性	SMR 男性	SMR 女性
相關係數	-0.981	-0.982	-0.975	-0.977
β_0	89.060	92.709	89.967	93.070
β_1	-0.022	-0.030	-14.013	-10.710
Adjusted R ²	0.963	0.964	0.950	0.954
KS test P-value	0.270	0.054	0.310	0.125

表 2 為以 SDR 與 SMR 為解釋變數的男女性迴歸方程式(1)的分析結果。整體而言，所有模型都有不錯的估計結果，調整後判定係數 (Adjusted Coefficient of Determination) R^2 都大於 95%，女性估計結果略優於男性；參數 β_0 估計值在 SDR 與 SMR 兩個模型的差異不超過一歲，男性 SMR 模型的 β_1 估計值的絕對值較大。SDR 的計算單位為每十萬人的死亡人數，表 2 模型可詮釋為十萬人中死亡人數增加一人，男女性零歲平均餘命分別減少 0.022 及 0.030 歲，而參數 β_0 則為當 SDR 和 SMR 為 0 時的數值，也可視為臺灣男女性零歲平均餘命的上限，SDR 和 SMR 的估計結果相差不到一歲。另外，本文 SDR 以 WHO 2000 年的人口當標準母體，SMR 則以當年度全國人口為標準母體。

迴歸方程式通常要求檢視三個假設條件：誤差服從常態分配、殘差具有固定變異數、殘差間互相獨立。檢視資料是否服從常態分配，屬於適合度 (Goodness-

of-fit) 檢定的範疇，可透過將資料分組的卡方檢定或是連續型檢定，本文選擇連續型的 Kolmogorov-Smirnov Test (以下簡稱 KS test)，表 2 顯示不拒絕殘差為常態分配。固定變異數有幾種可能檢驗方式，本文將模型殘差依照 SDR (及 SMR) 數值等分成四組，分別比較兩兩一組的變異數是否相同 (F 檢定)，所有檢定的 p-value 皆大於 0.05。殘差間互相獨立則以年度為單位，使用無母數方法 run test (連檢定) 檢視各年度縣市層級平均餘命的殘差中位數，其數值之正負號是否隨機，分析發現無論性別皆不拒絕隨機的假設。

方程式(1)的目標變數也可換成其他年齡的平均餘命，像是 25 歲或 65 歲的平均餘命，但建議將解釋變數換成 25 歲及 65 歲以上的 SDR 和 SMR，X 與 Y 的關係更為密切，分析方式及流程與上述相同。迴歸分析的估計結果如表 3，各模型有不錯的估計結果，調整後判定係數都超過 0.85；無論男性或女性，SDR 及 SMR 的迴歸方程式之斜率 β_1 絕對值隨年齡上升而下降。其中 SDR 模型的估計結果略優於 SMR (R^2 稍微高)，在 65 歲平均餘命的差異尤其明顯，零歲與 25 歲的結果大致接近。另外，25 歲及 65 歲的迴歸模型之殘差滿足常態分配、固定變異數的假設。

表 3、25 歲及 65 歲平均餘命迴歸模型係數 (臺灣縣市)

SDR	25 歲男性	65 歲男性	25 歲女性	65 歲女性
β_0	64.001	25.637	67.653	28.561
β_1	-0.012	-0.002	-0.017	-0.003
Adjusted R^2	0.963	0.918	0.961	0.946
KS test P-value	0.469	0.130	0.066	0.075
SMR	25 歲男性	65 歲男性	25 歲女性	65 歲女性
β_0	64.255	23.564	67.328	26.439
β_1	-12.05	-3.843	-9.056	-4.336
Adjusted R^2	0.945	0.885	0.952	0.857
KS test P-value	0.186	0.571	0.184	0.781

除了模型估計外，本文也以回測法 (Backcast) 評估方程式(1)的穩定性，探討迴歸方程式(1)可否用於預測，評估資料年數與推估年數間的關聯 (王信忠等，2012)，在此僅顯示 SDR 模型的結果。本文以移動視窗的方式逐年計算估計誤差，先使用不同基底年數 (3、5、7 年) 估計模型，再將模型套用至往後 1~10 年之

平均餘命 MAPE。例如：根據 3 年資料（也稱為基底年數）估計未來 5 年的平均餘命，如以 2000~2002 年資料為訓練集（Training Set），找出迴歸分析的相關參數，套入 2003~2007 年的測試集資料，計算測試資料的估計誤差；接著再以 2001~2003 年資料為訓練集，2004~2008 年資料為測試集，記錄測試集的估計誤差。如此反覆進行考慮 2000~2020 年所有可能組合，再將所有組合的估計誤差（MAPE）都列入考量，計算整體的平均誤差，其中男女性 MAPE 誤差隨著距離基底年數的年數而遞增，多數情況以 3 年的基底年數較佳（圖 5）。大致而言，藉由方程式(1)估計零歲平均餘命有不錯的準確率，建議以過去 3 年的資料建立迴歸模型，再透過該模型、配合接下來幾個年度的 SDR 或 SMR 計算平均餘命，如此會有較佳效果。

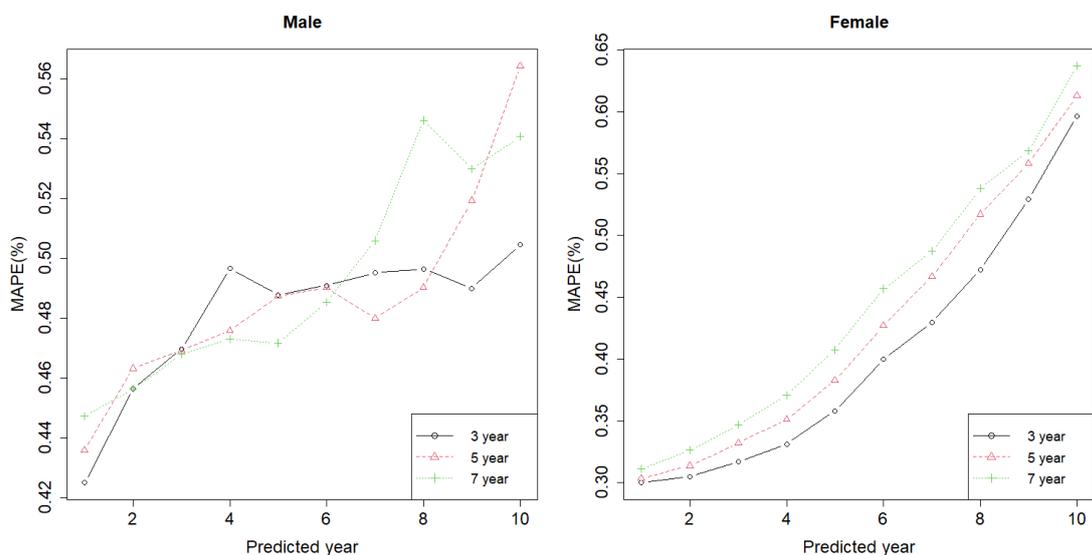


圖 5、直接調整法零歲平均餘命預測年數（臺灣縣市）

上述透過 SDR 估計零歲平均餘命的想法，同樣可套用於以 SDR 估計 25 歲及 65 歲平均餘命，結果大致類似；同理，以 SMR 估計零歲、25 歲、65 歲平均餘命的步驟也相同，分析結果與 SDR 很接近。在此仿造上述討論，以 3 年基底年數的回測法為例，比較 SDR、SMR 估計零歲平均餘命之準確率。圖 6 顯示以 2000~2020 年縣市層級為依據，SDR 與 SMR 兩個模型估計平均餘命的 MAPE 誤差，大致上男性的誤差高於女性（0.50%與 0.35%），SDR 與 SMR 的結果非常接近，SDR 略優於 SMR。以 SDR 與 SMR 估計 25 歲及 65 歲平均餘命的結果也

類似，SDR 同樣略優於 SMR，但 65 歲平均餘命的估計誤差較大，平均誤差約為 1.5%，使用時需格外謹慎。我們將在下一節考慮各國資料，繼續探討 SDR 和 SMR 估計平均餘命的可行性。

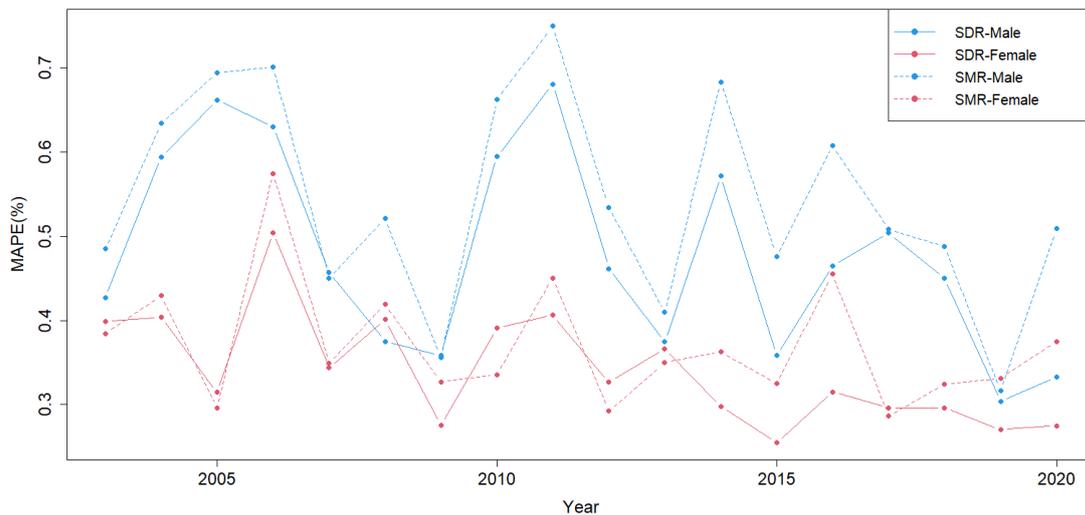


圖 6、SDR 與 SMR 的回測 MAPE（零歲平均餘命、臺灣縣市）

除了 SDR（或 SMR）外，方程式(1)中也可加入其他解釋變數，提升平均餘命的估計準確性。Arias et al. (2018) 估計美國小區域平均餘命，為了避免死亡率觀察值的震盪，在迴歸方程式中加入各地區的「地區位置」、「西班牙裔人口比例」、「家庭所得中位數」、「教育程度」等變數。本文仿照此方法加入與平均餘命有關的社經變數，包括「緯度」、「原住民比例」、「家庭所得中位數」、「教育程度（碩士以上比例）」。其中「緯度」是因為臺灣居民的平均餘命與緯度為反比關係，緯度愈高、死亡率愈低 (Yue et al. 2024)；原住民的平均餘命明顯低於一般國人 (王信忠等 2017)。分析發現只有 SDR、「教育程度（碩士以上比例）」、「原住民所佔比例」較為顯著，因此修正方程式(1)為：

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \beta_3 X_{3it} + \varepsilon_{it} \quad \text{其中 } \varepsilon_{it} \sim \text{iid } N(0, \sigma^2) \quad (2)$$

其中各縣市的零歲平均餘命為 Y，SDR 為 X_1 、教育程度碩博士以上比例 (%) 為 X_2 、原住民比例 (%) 為 X_3 。

表 4、SDR 零歲平均餘命迴歸模型係數（臺灣縣市）

模型	方程式(1)		方程式(2)	
	男性	女性	男性	女性
β_0 ：截距	89.060*	92.710*	86.472*	90.716*
β_1 ：標準化死亡率	-0.022*	-0.030*	-0.019*	-0.026*
β_2 ：碩士以上比例（%）	--	--	0.119*	0.178*
β_3 ：原住民比例（%）	--	--	-0.019*	-0.009*
Adjusted R ²	0.963	0.964	0.970	0.971
KS test p-value	0.270	0.054	0.070	0.180

註：標式「*」為 p-value 小於 0.05 的解釋變數。

同樣以零歲平均餘命為例說明加入社經變數的效果（表 4），方程式(2)迴歸分析之調整後R²些微提升，但幅度並不明顯。在其他條件不變的情況下，縣市的「教育程度（碩士以上的比例）」每增加 1%，男性的 0 歲平均餘命期望值會增加 0.119 歲、女性則會增加 0.178 歲；「原住民比例」每增加 1%，男性的 0 歲平均餘命期望值會減少 0.019 歲、女性則會減少 0.009 歲。另外，加入了社經變數之殘差分析大致類似，無論常態分配、固定變異數、互相獨立等條件均符合，在此不呈現分析細節。由於方程式(2)的社經變數不易取得，而且經過回測法的資料驗證，估計誤差並沒有明顯優於方程式(1)，本文後續討論將考慮只使用 SDR 的迴歸模型。

肆、國際實證比較

除了上一節臺灣縣市層級實證分析，本節以其他國家資料驗證 SDR 估計平均餘命的可行性，選擇國際間常用的 HMD 死亡資料庫，包含臺灣在內的 38 個國家，期間 1991~2020 年（30 個年度）的平均餘命。我們先檢視 SDR 與零歲平均餘命的關係（圖 7），兩者和在臺灣縣市狀況類似為高度線性相關，但在 SDR 數值較小或較大時卻呈現彎曲現象，可改用線性分段迴歸(Piecewise Linear Spline Regression)或是多項式迴歸之類的模型修正。本文選擇線性分段迴歸模型，主要因為如此可保留方程式(1)的架構，在解釋變數 SDR 較大時不會產生較不合理的估計值，其中歷年臺灣 SDR 數值位於圖 7 軸前半段，SDR 與平均餘命的關係大致維持線性關係，因此不需要分段處理。線性分段迴歸的關鍵之一在於分段點

個數及位置的選取，本文以交叉驗證選擇誤差較小的模型，並輔以模型 AIC（Akaike Information Criterion）及殘差分析作為決定依據。線性分段迴歸模型如下：

$$\begin{aligned}
 Y_{it} &= \beta_0 + \beta_1 X_{it} + I_1 \beta_2 (X_{it} - b_1) + I_2 \beta_3 (X_{it} - b_2) + \dots + \varepsilon_{itk} \\
 &= \beta_0 + \beta_1 X_{it} + \sum_k I_k \beta_{k+1} (X_{it} - b_k) + \varepsilon_{itk} \quad (3)
 \end{aligned}$$

其中 I_k 為指標函數， $I_k = \begin{cases} 1 & \text{if } x_{it} > b_k \\ 0 & \text{if } x_{it} \leq b_k \end{cases}$ ，而 i 為第 i 個國家、 t 為時間（西元年）， b_k 為第 k 個分段點（Break Point）。

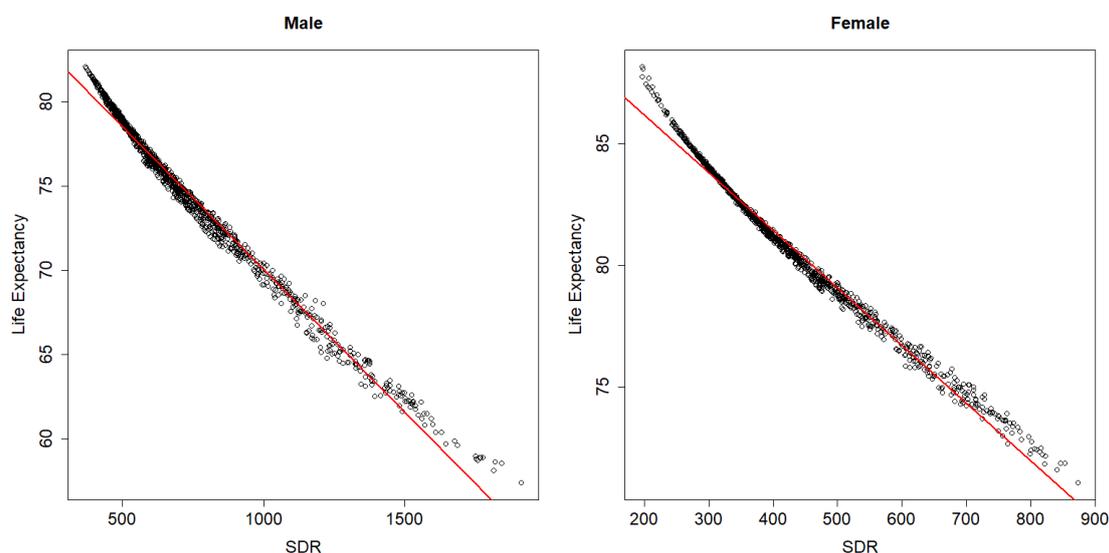


圖 7、SDR 與零歲平均餘命關係圖（HMD 資料庫）

本文分段點個數設定在 1~5 個，亦即 SDR 可分成 2~6 段。每種分段點的最佳選擇透過交叉驗證，也就是先隨機把資料分為訓練集（比例 80%）跟測試集（比例 20%），以訓練集資料得出模型參數，再將估計之模型套入至測試集資料，並計算測試集的 MAPE 誤差；重複這個步驟 1,000 次，以 MAPE 平均數作為評估標準。分析發現 MAPE 隨著分段點增加而遞減，AIC 也隨段點數而遞增，但兩者變化在三個段點以上沒有明顯變化，像是 MAPE 的差異小於 10^{-3} （單位：%）。再根據方程式(3)的殘差之常態分配檢查，發現只有段點個數為 3、4 時符合，

本文最後選取 3 個分段點，避免使用過多參數。表 5 為男女兩性 HMD 資料的建議分段區間，圖 8 及 9 分別為男性及女性 HMD 資料的線性分段迴歸結果。臺灣男女性的 SDR 大約介於(350, 950)與(220, 590)，都位於 HMD 分組的前三組，但臺灣資料並不需要考量分段迴歸。

表 5、線性分段迴歸的區間（HMD 資料）

性別	第 1 組	第 2 組	第 3 組	第 4 組
男性	$X \leq 579$	$579 \leq X < 698$	$698 \leq X < 1301$	$1301 < X$
女性	$X \leq 265$	$265 \leq X < 366$	$366 \leq X < 466$	$466 < X$

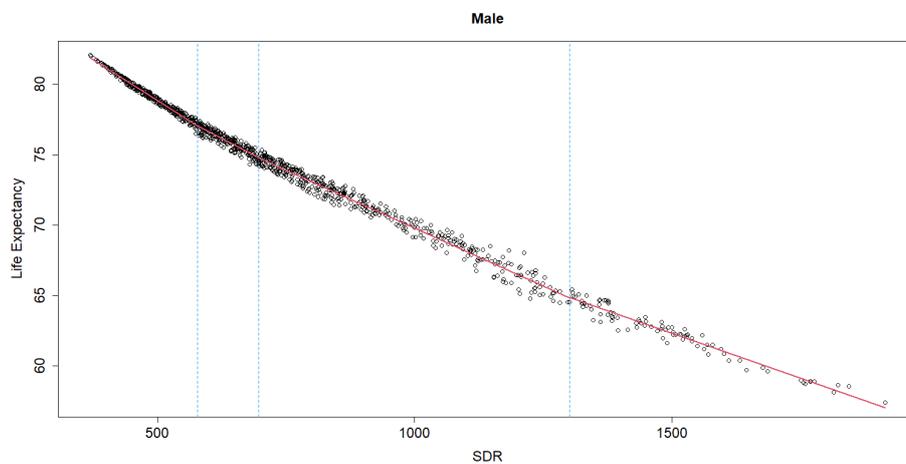


圖 8、SDR 線性分段迴歸（男性零歲平均餘命，HMD 資料）

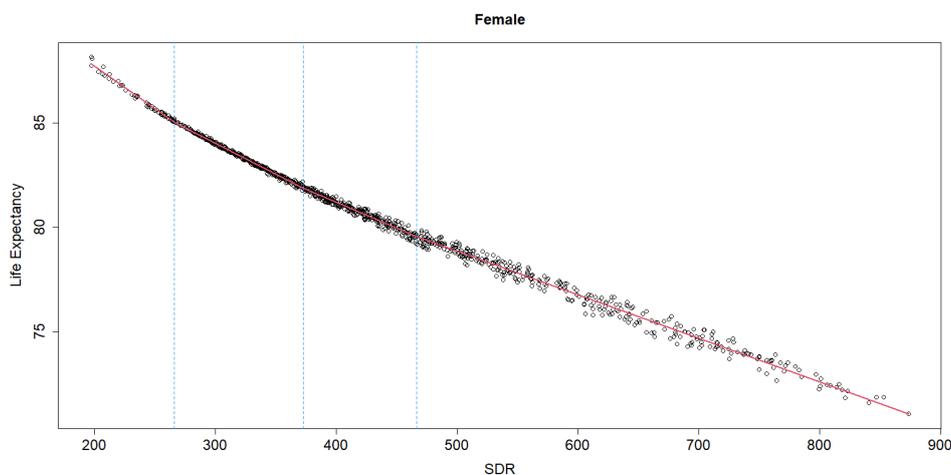


圖 9、SDR 線性分段迴歸（女性零歲平均餘命，HMD 資料）

此處仿造上一節，以 3 年基底年數的資料建立模型，套入之後一年資料計算 MAPE 誤差，藉此探討方程式(1)與方程式(3)的成效。圖 10 及圖 11 分別為男性及女性在 1991~2020 年的 MAPE，這些數值是所有 HMD 國家的平均數，明顯可見線性分段迴歸確實優於原先的簡單迴歸，兩性 MAPE 下降幅度大約都是 0.15%。與先前方程式(1)的結果類似（圖 6），透過 SDR 估計平均餘命的 MAPE 以女性較低，不過分段線性迴歸模型的 MAPE 有逐年地降的趨勢，其中男性的 MAPE 平均約為 0.3%、女性更是低於 0.15%，甚至比前一節臺灣縣市層級回測法之誤差還小，顯示分段線性迴歸模型用於估計 HMD 各國的平均餘命有不錯的效果。

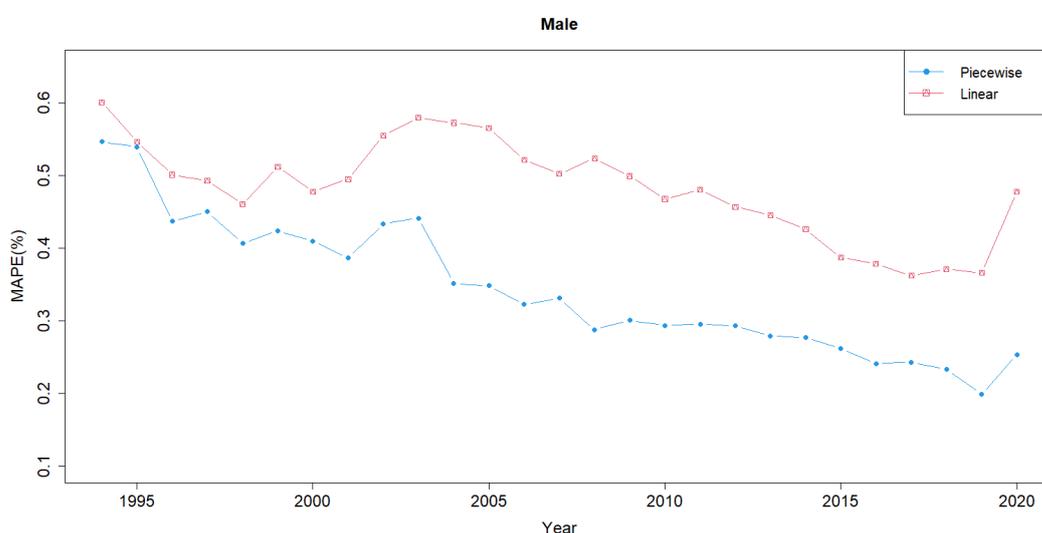


圖 10、HMD 各國零歲平均餘命 MAPE（男性）

除了以 SDR 及 SMR 估計平均餘命，也有其他方式估計平均餘命，像是 Raftery et al. (2013) 提議貝氏分層模型 (Bayesian Hierarchical Model)，以各國前一年平均餘命等資訊作為先驗資訊 (Prior Information)，將模型用於 1950~1995 年聯合國 158 個國家，預測未來 100 年各國之平均餘命。在此比較本文及 Raftery 等人的模型，計算 HMD 資料庫 38 個國家 1996~2020 年男性平均餘命之 MAPE (以五年為單位)，將聯合國生命表的零歲平均餘命當作參考標準。以五年為單位的原因在於 Raftery 的模型假設，他們藉由馬可夫鏈蒙地卡羅 (Markov Chain Monte Carlo，以下簡稱 MCMC) 法更新參數，以 1950 年到該期前期之資料當作先驗資訊，例如：預測 1996~2000 年平均餘命以 1950~1995 年為先驗資訊。本文模

型採取線性分段迴歸（段點參考表 5），以 3 年為基底資料，建立後續 5 年平均餘命的模型。

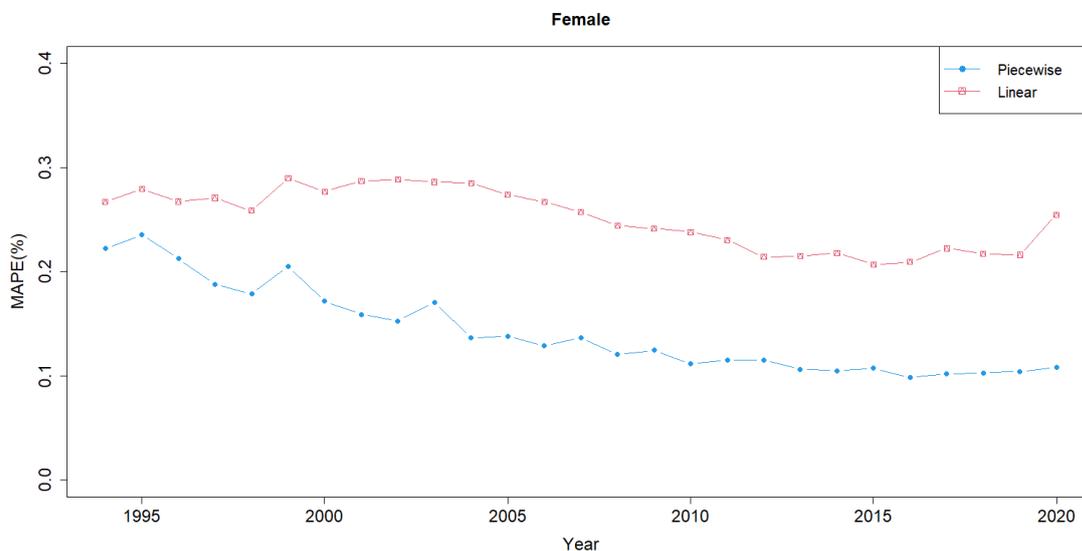


圖 11、HMD 各國零歲平均餘命 MAPE (女性)

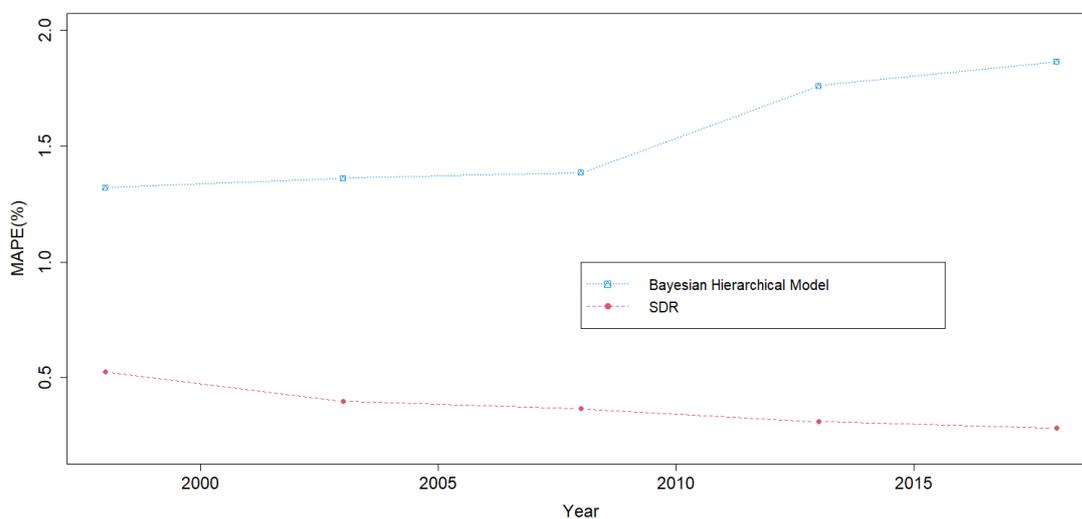


圖 12、SDR 與貝氏分層模型 MAPE 比較 (1996~2020 年 HMD 男性資料)

由於資料期間為 1996~2020 年，因此會有五個 5 年度的 38 個 HMD 國家 MAPE 平均數（圖 12）。線性分段模型明顯有較低的 MAPE，其中貝氏分層模型的 MAPE 都超過 1%，最低的一期也有 1.32%（約 0.92 歲）誤差，而 SDR 的

MAPE 皆在 0.52% 以下 (約 0.36 歲)，兩者在五期的誤差超過兩倍的差距。本文模型的 MAPE 略大於圖 10 的結果，原因在於推估後續年度不同，這裡為五年因此誤差較大。進一步檢視兩種方法的臺灣平均餘命估計值，除了 1996~2000 年，其餘皆是 SDR 估計值比較接近聯合國的平均餘命 (圖 13)。不過這兩種方法使用本質及目標訴求並不同，本文方法是透過 SDR (及 SMR) 估計平均餘命，可根據過去三年的 SDR 及平均餘命資料建立模型，操作相對簡單；貝氏分層模型是以過去的平均餘命預測未來平均餘命 (不依賴 SDR 等數據)，但貝氏方法並非本文探討重點，加入比較的原因是提供讀者估計平均餘命的另一種選擇。

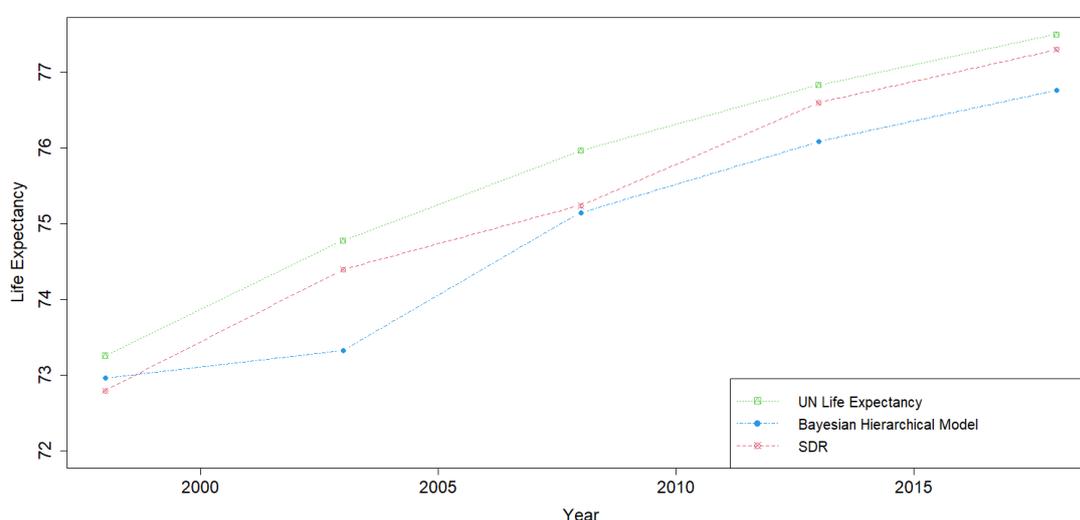


圖 13、SDR 與貝氏分層模型平均餘命估計 (臺灣)

伍、結論與建議

臺灣雖然面積僅有約三萬六千平方公里，但各地居民不論是健康、生活形態都有明顯不同，內政部簡易生命表的縣市平均餘命及有很大差異。以小區域平均餘命評估某地區居民健康，政府也可藉由各地平均餘命透過熱區 (hot spot) 等空間分析工具，檢視政策效果及規劃地區發展。為了減少人口年齡結構以及小區域各年齡組的死亡率觀察值震盪造成的干擾，本文以 SDR 與 SMR 這兩個指標為基礎，透過線性迴歸模型估計小區域的零歲平均餘命，在 2000~2020 年臺灣縣市發現這些指標與官方公佈的零歲平均餘命高度線性關聯。雖然透過迴歸模型連

結 SMR/SDR 與平均餘命並非我們獨創，但本文從理論、實務兩個角度檢視迴歸模型的可行性。我們檢查迴歸模型的殘差，滿足誤差服從常態分配、具有固定變異數的假設，實務考量則透過回測法，建議使用者以過去 3 年資料估計平均餘命，與內政部之簡易生命表的結果非常接近，歷年最大之差異不到 0.7%（約 0.5 歲），顯示本文方法可用於估計我國縣市層級以上地區的平均餘命，其中 SDR 的效果略優於 SMR。

然而使用本文 SDR 迴歸模型時應格外謹慎，尤其需留意 SDR 的分佈範圍，以臺灣縣市為例，男女性 SDR 分布全距（Range）分別為 584.85 及 365.78，但 HMD 各國的男女性 SDR 全距 1544.9 及 676.38，兩者有非常大的差距。在臺灣可憑藉簡單線性迴歸連結 SDR 與平均餘命的關係，HMD 各國的平均餘命則需修正，本文提議分段線性迴歸的修正，藉由交叉驗證、AIC 及殘差檢定找出合適的分段點，將 SDR 數值分成四個區段，即能取得相當準確的 HMD 國家平均餘命的估計值。也就是說，如果要透過 SDR 估計某個地區或國家的平均餘命，未必能如同臺灣僅需單一簡單迴歸模型，必須留意 SDR 之範圍及資料屬性討論，選擇適當的分段點個數及位置。

此外，受限於內政部所提供之公開資料，為了取得足夠多年份以及鄉鎮市區域的暴露數與死亡數資料，本文在計算 SDR、SMR 皆是使用五齡組的死亡數與暴露數之資料，雖然目前內政部編製之國民生命表以及簡易生命表亦是以五齡組的資料轉換成單齡編算生命表，但余清祥等（2021）在推估小區域人口時發現以單齡資料有較小誤差。有鑑於此，本文認為如果資料足夠亦可嘗試以本文之方法，使用單齡組的資料計算 SDR、SMR 線性模型估計平均餘命並與五齡組的實證分析結果做比較，也建議政府能夠提供更完整的死亡率資料，例如：鄉鎮市區單齡組 0~100 歲的死亡人數與人口數。

本文提出方法在臺灣單一性別人口數大於 5 萬之縣市層級的地區經由實證分析後發現，以 SDR 加上社經變數（該地區原住民比例、該地區碩博士學歷以上之比例）估計之平均餘命與官方生命表之差異非常小。當面對人口數較少時，可將死亡率先經過 Lee-Carter 模型或 Partial SMR（Wang et al. 2018; Yue et al. 2019）等修勻方法，如此可降低 SDR 迴歸模型平均餘命估計值的誤差。換言之，以 SDR 估計平均餘命實務上可行，降低小區域的平均餘命估計誤差以及簡化平均餘命估

計之過程，以電腦模擬本文方法，仍可用於驗證 5 萬人左右的地區，但不清楚能否推廣至人口極少地區，讀者在以 SDR 估計小區域的平均餘命時需謹慎處理，未來我們將繼續研究本文方法能否推廣至表 1 中所有臺灣鄉鎮市區。

本文以 SDR 或 SMR 為基礎的線性模式估計平均餘命，而 SDR 與 SMR 皆以年齡組死亡率計算，本文也透過電腦模擬證明，以 LC+PSMR 修勻後再進行 SDR 之計算能大幅降低小區域平均餘命估計值的變異與偏誤，後續在計算 SDR 或 SMR 前可以結合其他不同的死亡率模型、修勻方法或是其他小區域的死亡率估計方式，例如：貝氏方法、Whittaker 比值修勻法、以及其他增加樣本數的修勻方法。此外，本文之方法著重之面向為當年度之平均餘命「估計」，並未觸及未來平均餘命的「預測」，必須依賴未來 SDR 或 SMR 才能用於預測，此與 Raftery et al. (2013) 的貝氏分層預測模型不同。關於未來年度之平均餘命推估或預測，本文認為可嘗試以小區域之死亡率推估、再結合本文模型，亦即先推估往後年度的死亡率，計算 SDR 或 SMR 後再代入本文模型估計平均餘命。

謝誌

本文作者感謝兩位匿名評審的建設性建議，國家發展委員會人力發展處的寶貴意見，以及國家科學及技術委員會對本文在研究進行與撰寫時的補助（補助計畫編號：MOST 113-2410-H-004 -023 -MY3）。

參考文獻

- 王信忠、余清祥、王子瑜（2017）。臺灣原住民死亡率暨生命表編撰研究。人口學刊，55：99-131。doi: 10.6191/JPS.2017.55.03
- 王信忠、金碩、余清祥（2012）。小區域死亡率推估之研究。人口學刊，45：121-154。doi:10.6191/JPS.2012.11
- 余清祥、王信忠、陳譽騰（2021）。年輪變動比用於小區域人口推估的探討。人口學刊，63：99-133。doi:10.6191/JPS.202112_(63).0003
- 吳宛蕙、楊長興（2007）。全民健保對健康差距之影響-以平均餘命為測量。台灣公共衛生雜誌，26：196-207。doi:10.6288/TJPH2007-26-03-04
- 陳政勳、余清祥（2010）。小區域人口推估研究：臺北市、雲嘉兩縣、澎湖縣的實證分析。人口學刊，41：153-183。doi:10.6191/JPS.2010.9
- 溫啓邦、蔡善璞、鍾文慎（2005）。高雄市和臺北市居民平均餘命差距之分析。台灣公共衛生雜誌，24：125-135。doi:10.6288/TJPH2005-24-02-04
- 劉士嘉、林正祥（2017）。人類壽命上限值探討—以臺灣為例。人口學刊，55：133-163。doi:10.6191/JPS.2017.55.04
- Ahmad, O. B., Boschi-Pinto, C., Lopez, A. D., Murray, C. J., Lozano, R., and Inoue, M. 2001. "Age Standardization of Rates: A New WHO Standard." *Geneva: World Health Organization* 9(10): 1-14.
- Arias, E., Escobedo, L. A., Kennedy, J., Fu, C., and Cisewski, J. 2018. "U.S. Small-area Life Expectancy Estimates Project: Methodology and Results Summary." *Vital and Health Statistics* 181: 1-40.
- Bennett, J. E., Pearson-Stuttard, J., Kontis, V., Capewell, S., Wolfe, I., and Ezzati, M. 2018. "Contributions of Diseases and Injuries to Widening Life Expectancy Inequalities in England from 2001 to 2016: A Population-based Analysis of Vital Registration Data." *The Lancet Public Health* 3(12): e586-e597.

doi:10.1016/S2468-2667(18)30214-7

- Dwyer-Lindgren, L., Kendrick, P., Kelly, Y.O., Sylte, D.O., Schmidt, C., Blacker, B.F., Daoud, F., Abdi, A.A., Baumann, M., Mouhanna, F., Kahn, E., Hay, S.I., Mensah, G.A., Nápoles, A.M., Pérez-Stable, E.J., Shiels, M., Freedman, N., Arias, E., George, S.A., Murray, D.M., Phillips, J.W.R., Spittel, M.L., Murray, C.J.L., and Mokdad, A.H. 2022. “Life Expectancy by County, Race, and Ethnicity in the USA, 2000–19: A Systematic Analysis of Health Disparities.” *The Lancet* 400(10345): 25-38. doi: 10.1016/S0140-6736(22)00876-5
- Kulkarni, S.C., Levin-Rector, A., Ezzati, M., and Murray, C.J. 2011. “Falling Behind: Life Expectancy in US Counties from 2000 to 2007 in an International Context.” *Population Health Metrics* 9(16): 1-12. doi: 10.1186/1478-7954-9-16
- Lai, D., Hardy, R. J., and Tsai, S. P. 1996a. “Statistical Analysis of the Standardized Mortality Ratio and Life Expectancy.” *American Journal of Epidemiology* 143(8): 832-840. doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a008822
- Lai, D., Guo, F., and Hardy, R. J. 2000b. “Standardized Mortality Ratio and Life Expectancy: A Comparative Study of Chinese Mortality.” *International Journal of Epidemiology* 29(5): 852-855. doi: 10.1093/ije/29.5.852
- Lawson, C. L., and Hanson, R. J. 1974. *Solving Least Squares Problems*. New York, NY: Prentice-Hall.
- Lee, R. D. and Carter, L. R. 1992. “Modeling and Forecasting US Mortality.” *Journal of the American Statistical Association* 87(419): 659-671.
- Lee, W. C. 2003. “A Partial SMR Approach to Smoothing Age-specific Rates.” *Annals of Epidemiology* 13(2): 89-99. doi: 10.1016/S1047-2797(02)00266-1
- Lewis, E.B. 1982. “Control of Body Segment Differentiation in *Drosophila* by the Bithorax Gene Complex.” *Embryonic Development* 1: 269-288. doi: 10.1007/978-1-4419-8981-9_15

- Li, N. and Lee, R. 2005. "Coherent Mortality Forecasts for a Group of Populations – An Extension of the Lee-Carter Method." *Demography* 42(3): 575-594. doi: 10.1353/dem.2005.0021
- Liou, L., Joe, W., Kumar, A., and Subramanian, S. V. 2020. "Inequalities in Life Expectancy: An Analysis of 201 Countries, 1950–2015." *Social Science and Medicine* 253: 112964. doi: 10.1016/j.socscimed.2020.112964
- Raftery, A. E., Chunn, J. L., Gerland, P., and Ševčíková, H. 2013. "Bayesian Probabilistic Projections of Life Expectancy for All Countries." *Demography* 50(3): 777-801. doi: 10.1007/s13524-012-0193-x
- Rashid, T., Bennett, J.E., Paciorek, C.J., Doyle, Y., Pearson-Stuttard, J., Flaxman, S., Fecht, D., Toledano, M.B., Li, G., Daby, H.I., Johnson, E., Davies, B., and Ezzati, M. 2021. "Life Expectancy and Risk of Death in 6791 Communities in England from 2002 to 2019: High-resolution Spatiotemporal Analysis of Civil Registration Data." *The Lancet Public Health* 6(11): e805-e816. doi: 10.1016/S2468-2667(21)00205-X
- Skriver, M. V., Væth, M., and Støvring, H. 2018. "Loss of Life Expectancy Derived from A Standardized Mortality Ratio in Denmark, Finland, Norway and Sweden." *Scandinavian Journal of Public Health* 46(7): 767-773. doi: 10.1177/1403494818767404
- Sormin, M. K. Z., Sihombing, P., Amalia, A., Wanto, A., Hartama, D., and Chan, D. M. 2019. "Predictions of World Population Life Expectancy Using Cyclical Order Weight/Bias." *Journal of Physics: Conference Series* 1255: 012017 doi: 10.1088/1742-6596/1255/1/012017.
- Stephens, A. S., Purdie, S., Yang, B., and Moore, H. 2013. "Life Expectancy Estimation in Small Administrative Areas with Non-uniform Population Sizes: Application to Australian New South Wales Local Government Areas." *BMJ Open* 3:

e003710. doi:10.1136/bmjopen-2013-003710

- Wang, H.-C., Yue, C.-S. J., and Chong, C.-T. 2018. "Mortality Models and Longevity Risk for Small Populations." *Insurance: Mathematics and Economics* 78: 351-359. doi: 10.1016/j.ins.2017.10.020
- Wilmoth, J. R., Andreev, K., Jdanov, D., Gleijeses, D. A., Boe, C., Bubenheim, M., Philipov, D., Shkolnikov, and Vachon, P. 2007. "Methods Protocol for the Human Mortality Database." *University of California, Berkeley, and Max Planck Institute for Demographic Research, Rostock* 9: 10-11.
- Yue, J. C., Wang, H.-C. and Wang, T.-Y. 2019. "Using Graduation to Modify the Estimation of Lee-Carter Model for Small Populations." *North American Actuarial Journal* 25(sup1): S410-S420. doi: 10.1080/10920277.2019.1650288
- Yue, J.C., Tu, M. and Leong, YY. 2024. "A Spatial Analysis of Health and Longevity of Taiwan People." *Geneva Papers on Risk and Insurance: Issue and Practice* 49(2): 384-399. doi: 10.1057/s41288-024-00322-3

附錄、WHO 2000 年標準人口

附表 1 為 WHO 2000 標準人口（五齡組），包含各年齡組的人數與所占總人口的比例。

附表 1、WHO 2000 標準人口

年齡	人口數	比例 (%)	年齡	人口數	比例 (%)
0-4	88,569	8.86%	55-59	45,484	4.55%
5-9	86,870	8.69%	60-64	37,187	3.72%
10-14	85,970	8.60%	65-69	29,590	2.96%
15-19	84,670	8.47%	70-74	22,092	2.21%
20-24	82,171	8.22%	75-79	15,195	1.52%
25-29	79,272	7.93%	80-84	9,097	0.91%
30-34	76,073	7.61%	85-89	4,398	0.44%
35-39	71,475	7.15%	90-94	1,500	0.15%
40-44	65,877	6.59%	95-99	400	0.04%
45-49	60,379	6.04%	100+	50	0.01%
50-54	53,681	5.37%	總計	1,000,000	100.00%