

第一章、前言

第一節、研究動機

壽命延長是近年全球普遍的現象，與歐美日各國相同，以台灣地區來說，男性與女性零歲平均壽命皆明顯大幅延長(圖 1)，資料來自於內政部統計處的 1950 年~2006 年五齡一組的歷年生命表之零歲平均壽命(Life Expectancy)。人口學的研究往往建立在社會與經濟的需要上，若各國平均壽命屢創新高，以今日壽命的數值規劃未來，勢必會低估老年人的經濟、衛生醫療等需求，造成社會未來的社會問題，因此各國都積極投入壽命未來變化的研究，以避免預期之外的壽命延長衝擊政府的政策與預算規劃，以及個人退休生活的安排。各國投入死亡率的研究不遺餘力，終極目標皆是死亡率未來的推算(Projection)，故多以數理模型來分析死亡率，最主要的變數以年齡(Age)和年代(Period)為主。其年齡效應是指反應在人身上因年齡所產生的變化，為最重要的因子，年代效應是指生活環境受到時間的遷移所產生的變化，與年齡效應有密切的關係，亦會隨著公共衛生及醫學突破而效應增加(Frost, 1939)。

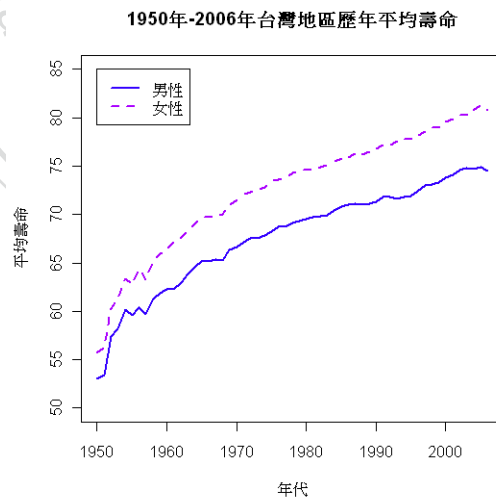


圖 1、台灣地區男性與女性的零歲平均壽命

首先，以台灣地區的年齡別死亡率(Age Specific Death Rate)來檢視年齡與年代在分析死亡率上的重要性。20 世紀初以來，台灣地區居民的壽命大幅延長，年齡別死亡率有明顯下降的趨勢(圖 2)，資料來自於內政部統計處的五齡組的九次國民生命表之死亡率，可發現台灣地區的死亡率在 20 世紀中葉的改善幅度頗

大。觀察到年齡別死亡率的變化有兩個共同特徵，一為死亡率一直都與年齡有關，形狀大致維持 V 字型：自 0 歲起下降，在 10 歲前後達到最低，之後規律平滑上升，中年時的死亡率已超過嬰兒死亡率；另一為死亡率的下降幅度在各年代不同，且亦與年齡有關，亦隨不同年代而變化。這兩個特徵不只出現在台灣地區，各國的死亡率亦有類似現象，而改變幅度與時間點略有不同。

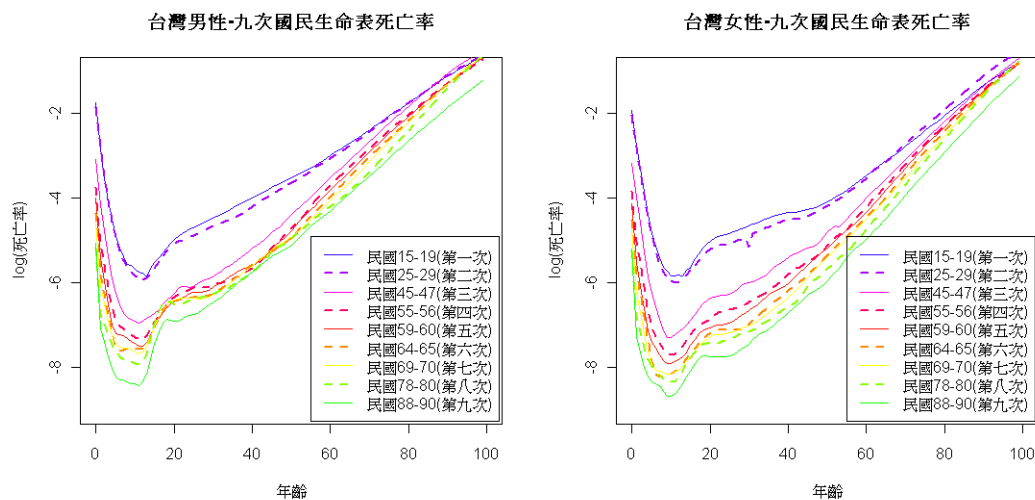


圖 2、台灣男性與女性的九次國民生命表的年齡別死亡率

人口學家習慣將死亡率視為與時間有關的函數，故使用年齡與年代做死亡率分析的參數模型不勝枚舉。Graunt(1662)和 Halley(1693)最早發現死亡率的規則性而發展出生命表，為將觀察到的年齡別死亡率 $m(x)$ 數學化，Gompertz(1825)提出的死力法則 $m(x) = ae^{\beta x}$ ，取對數的瞬間死亡率隨年齡直線上升，常用來分析高齡人口的死亡率。Heligman and Pollard(1980)建立以三大項有關時間函數的總和表示死亡率，可表為 $m(x) = A^{(x+B)^c} + De^{-E(\ln x - \ln F)^2} + GH^x / (1 + GH^x)$ ，其中 A, \dots, H, c 為 8 個與時間有關的參數，第一項解釋幼年人口的死亡，第二項解釋青少年的死亡率(accident hump)，第三項為以 Gompertz 的角度解釋成年與老年的衰老。另外，近代 Coale and Kisker(1990)所提出的死亡率模型也常用來分析高齡人口的死亡率。Lee and Carter(1992)提出 Lee-Carter 模型預測美國未來的死亡率，以時間數列預測參數值的迴歸模型，再代回取指數而得到年齡組死亡率預測值，即是年齡、年齡與年代交互作用兩者合成的線性方程式，為一般常使用的參數模型。為彌補 Lee-Carter 模型使用上的不足，英國連續死亡率調查局(Continuous Mortality Investigation Bureau)於 1999 年提出縮減因子(Reduction Factor)模型以改善

Lee-Carter 模型的不足。

但台灣地區近年來死亡率急遽下降，使得只有年齡和年代組成的模型不足解釋死亡率的變化，加上各年齡組的長期死亡率變化非單一趨勢(圖 3)，使得死亡率未來的預測會偏離真實的死亡率，大幅限制了死亡率分析的可能性。蒐集台灣地區 1951~2006 年五齡一組的生命表死亡率，計算某一年度年齡組的死亡改善率(Death Rate of Change)，類似環比指數(Chain Index)，定義為

$$Rate\ of\ change_{age} = \frac{m_{age+1,t} - m_{age,t}}{m_{age,t}}, x = 0, 1 \sim 4, \dots, 80 \sim 84, t = 1951, \dots, 2006。$$

以 0 歲組來說，死亡改善率為 1~4 歲的死亡率減 0 歲的死亡率再除上 0 歲的死亡率，意即計算各年齡組於不同年度的變化率。若改善率為正值，表示該年於某年齡組至下一個年齡組是死亡率上升，改善率的大小即為上升的死亡率占該年齡組的比率，反之亦然。台灣地區兩性的年齡組死亡率改善情形，在幼年及青少年有較大的變動，0 歲與 1~4 歲的死亡率一開始急遽下降之後變緩，即出生嬰兒活超 1 歲的比例大幅提高，1~4 歲與 5~9 歲的死亡率差異逐年縮小，15~19 歲與 20~24 歲的死亡率改善幅度逐年縮小，愈晚近縮小比率愈小，中年及老年則維持在固定的比率下降。各年齡組的死亡率改善非直線變化且非固定，意謂死亡率的變化不僅只與年齡和年代有關係。

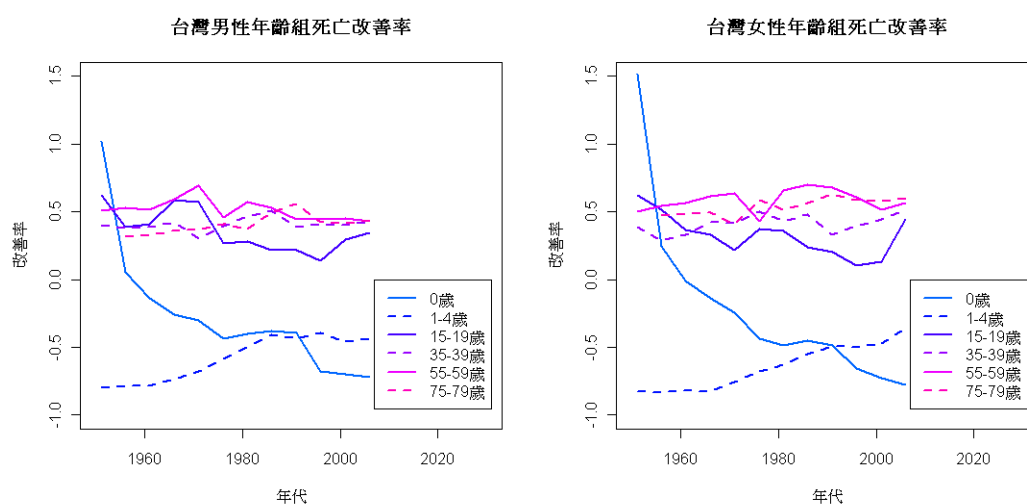


圖 3、台灣男性與女性的生命表的年齡別死亡改善率

除了年齡及年代，有不少研究加入世代(Cohort)來分析死亡率，以捕捉年齡與年代的交互影響，亦有學者稱為年輪，像 Lee-Carter 模型也有人提出加入世代的修正模型(Cairns et al, 2002)，來解釋死亡率中非年齡與年代可解釋的部分。世

代決定於年齡與年代的線性組合結果，其世代效應是指橫跨不同出生年代所產生的變化，即不同世代的人在某些特質會有差異存在，亦反應累積一生所暴露的風險 (Ryder, 1965)。世代分析源於以幾何方式呈現的結核病研究(Frost, 1939)，發現某些年齡別的死亡率隨年代上揚，但部分情況則非如此，即同一世代的人可能有類似的情況。簡易地說，隨年齡的增加死亡率並非因此而累加，打破只用年齡與年代分析的表示方式，在生物統計學中為追蹤疾病發展的長期趨勢，會考慮世代的效果，世代分析在死亡率與發生率的分析扮演非常吃重的角色。

1980 年代所發展的 Age-Period-Cohort 模型(APC 模型)，將三個因子同時納入作考量，廣泛使用於社會科學、流行病學與人口學等領域，使年齡、年代與世代三個解釋變數能在同一迴歸模型下做討論，有別於過去僅用於描述資料，此模型可解釋為死亡率由年齡、年代與世代三個效應所決定，詮釋的角度與常見的死亡率模型不同，主要的焦點是在年代與世代的效應，並假設死亡率符合卜瓦松 (Poisson)分配，由於三個因子有共線性關係，使得參數解不唯一，故陸續有學者及先進提出估計 APC 模型參數的方法，足可見 APC 模型為近代相關統計學門的重要研究方向。

第二節、研究目的

APC 模型能提供三個面向的資訊，限制在死亡人數服從卜瓦松分配及誤差服從常態分配的假設下，則 APC 模型是否適合描述死亡率？不同 APC 模型參數估計方法在描述死亡率是否有差異？本文整理常見的 APC 模型參數的估計方法，以及各方法的主要特色。Yang et al.(2007)指出假設參數理論值下，透過電腦模擬的方式比較本質估計量與分別限制在年齡、年代及世代三者的廣義限制模型的參數，本質估計量與參數理論值接近，所以明顯最佳，並且以限制在年齡的廣義線性模型最差(圖 4)。王郁萍(2006)亦指出假設參數理論值下，透過電腦模擬的方式比較本質估計量、序列法 ACP、序列法 APC 及自我迴歸模型，以參數估計值、參數標準誤及真實參數值區間的涵蓋率比較 APC 模型估計方法，其比較參數估計值的方式是將參數估計值減掉參數理論值(圖 5)，故距離 $X = 0$ 愈近愈好，發現以本質估計量與自我迴歸模型最佳，且其差異具有系統性誤差。兩文皆假定參數理論值，以模擬的方式比較不同 APC 模型估計方法，但模擬結果並不一致，

除了 APC 模型參數表達不唯一外，尚未一起比較所有估計方法，亦不清楚何種 APC 模型估計方法較容易使用。

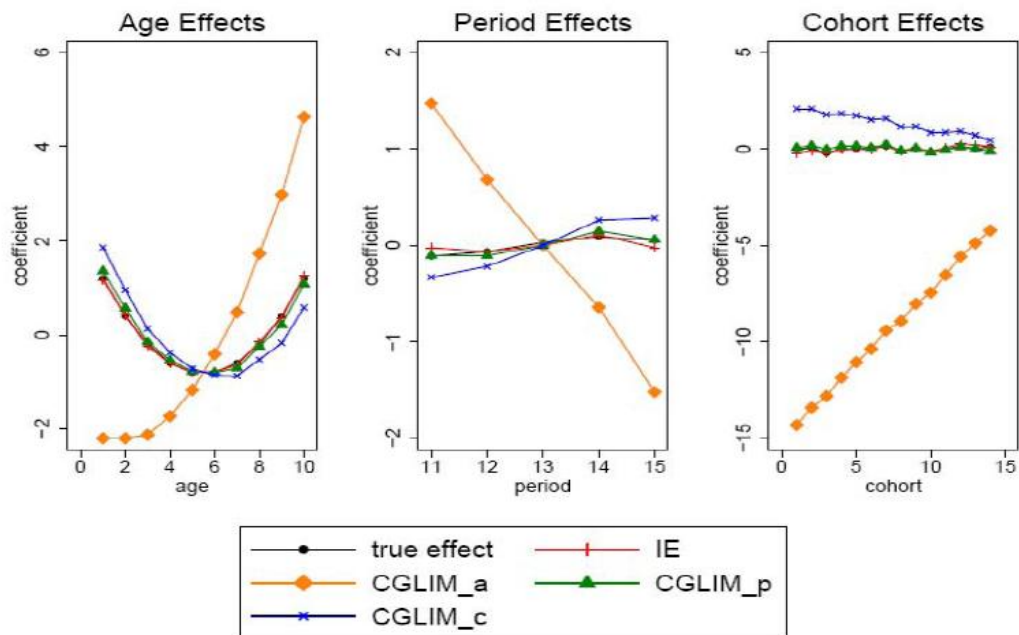


圖 4、Yang et al.(2007)比較本質估計量與三種限制的廣義限制模型的參數值

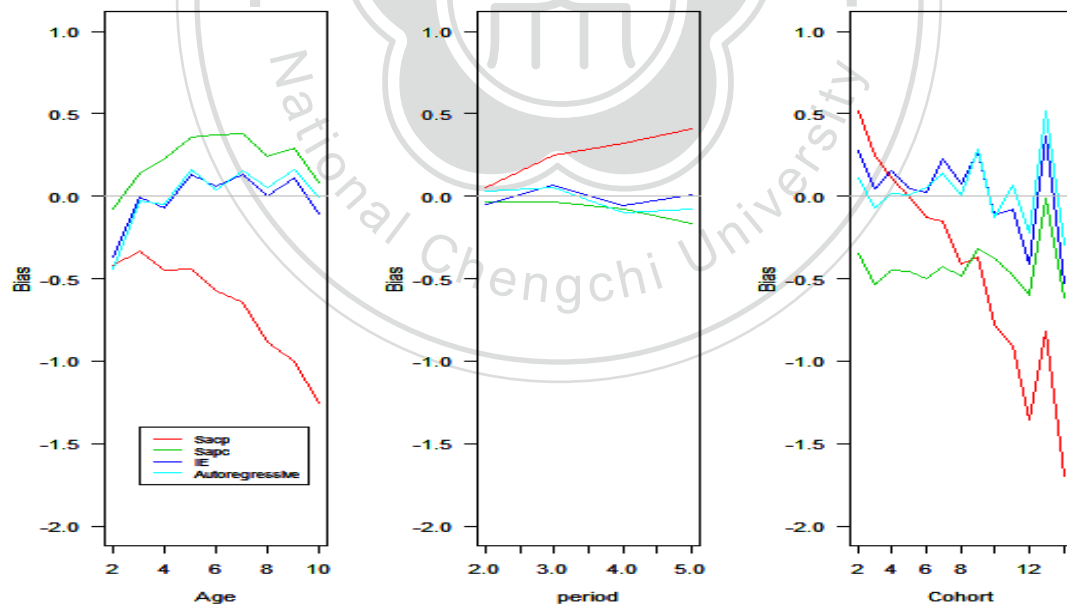


圖 5、王郁萍(2006)比較本質估計量、序列法及自我迴歸模型的參數值

本文最主要的目的亦是比較不同估計方法，先衡量各估計方法在台灣地區死亡率的估計表現，接著，在比較各估計方法的差異時，先檢查模型假設的問題。以模擬的方法，同時比較 Yang(2007)與王郁萍(2006)所比較的 APC 模型參數估計方法，蒐集台灣地區的死亡資料，代入各種估計方法得參數估計值，以這些參數

估計值為參數理論值進行模擬，所以同樣是假定參數理論值，透過模擬的方式比較不同估計方法，除了比較參數估計值與參數標準誤，另以估計死亡率的觀點來比較不同 APC 模型估計方法。最後，比較 Lee-Carter 模型與 APC 模型估計方法於死亡率估計及預測表現。

以台灣地區的男性與女性的死亡資料為例，探討不同估計方法在 APC 模型的表現，以分析死亡率在年齡、年代與世代三個因子的效應，及描述 APC 模型的特色，並加入 Lee-Carter 模型做討論，最終以估計及預測死亡率為目標，探討各種死亡率模型的表現。本文的研究目的依序可整理為四大主軸：

1. APC 模型是否適合估計死亡率，於台灣地區男性與女性的死亡率估計實證結果分析，並觀察年齡、年代與世代三個因子的長期趨勢效應表現。
2. 固定參數理論值下，透過蒙地卡羅方式產生模擬值，進行 APC 模型假設的檢查。
3. 透過腦模擬分析不同 APC 模型估計方法的差異，企圖找出各種 APC 模型估計方法的特色及差異性。
4. 透過 Lee-Carter 模型與 APC 模型於死亡率估計的比較，探討死亡率模型所存在的效應，並透過交叉驗證衡量模型於預測的表現。

本文共分為六章，其章節內容安排如下，第一章為前言，說明研究動機與研究目的；第二章為文獻探討，介紹何謂 APC 模型及各種 APC 模型估計方法；第三章為 APC 模型應用於台灣地區死亡率的分析；第四章為以電腦模擬方式檢查 APC 模型理論假設；第五章為以電腦模擬方式比較不同 APC 模型估計方法；第六章為分析 Lee-Carter 模型及其延展模型於死亡率的表現，並與 APC 模型比較；第七章為結論與討論，對本文分析結果做總結。