

國立政治大學  
統計學系  
碩士學位論文

小區域生育率與人口推計研究

**Small Population Projections : Modeling  
and Evaluation**

指導教授：余清祥 博士

研究生：曹郁欣 撰

中國民國一百零二年一月

## 謝 辭

感謝指導教授 余清祥老師、政大統計系全體老師、助教、和兩年的同窗，另外，特別在此向口試委員致意，感謝陳寬政老師、陳信木老師、和王信忠老師給予本篇研究諸多寶貴建議。

僅以此篇文章，獻給如天地孕育萬物般地栽培我的 家父、家母。



## 摘 要

由於許多國家死亡率下降快速、壽命延長幅度超乎預期，加上生育率持續低於替代水準，人口老化現象愈發明顯，近年來個人生涯規劃及政府施政，都格外強調退休後經濟生活及老年相關社會資源分配的比重。以臺灣為例，行政院經濟建設委員會（簡稱經建會）從1990年代開始，每兩年公布一次未來的人口推估，但過去十年來經建會屢次修正歷年的推估假設，以因應生育率及死亡率變化快速，適時提醒臺灣日益加速的人口老化。正因為人口推估可能受到人口數、社會變遷、資料品質等因素，影響統計分析的可靠性，常用於國家層級的推估方法，往往無法直接套用至縣市及其以下的層級（即小區域），使得小區域人口推估較為棘手，需要更加謹慎面對。

本文延續王信忠等人 (2012) 的研究，以小區域人口推估為目標，著重在生育率推估研究，結合隨機模型與修勻方法，尋找適合臺灣縣市層級的小區域人口推估方法。本文考量的隨機模型計有區塊拔靴法 (Block Bootstrap) 和 Lee-Carter 模型 (Lee and Carter 1992)，以預測未來的生育率和死亡率，並套用年輪組成推計法（或稱為人口要素合成法；Cohort Component Method）及修勻 (Graduation) 方法，探討這些方法與人口規模之間的關係，評估用於小區域人口推估之可行性。

本文首先以電腦模擬，探討生育率的推估，討論是否可直接推估總生育率，類似增加樣本數的概念，取代各縣市的年齡別生育率，以取得較為穩定的推估。根據模擬結果，發現人口規模對出生數的推估沒有明顯的關係，只要使用總生育率、再結合區塊拔靴法，就足以提供穩定的推估結果。實證研究方面，以臺灣縣市層級的人口及其年齡結構（例如：0-14歲、15-64歲、65歲以上）為驗證對象，發現分析結果也與電腦模擬相似，發現以區塊拔靴法推估臺灣各縣市的總生育率、年齡組死亡率，其推估精確度不因人口規模而打折扣，顯示以區塊拔靴法推估總生育率、年齡組死亡率，可用於推估臺灣小地區的未來人口。

關鍵詞：人口推估、小區域推估、修勻、區塊拔靴法、隨機推估

## Abstract

Due to the rapid mortality reduction, prolonging human longevity is a common phenomenon and longevity risk receives more attention in 21<sup>st</sup> century. Many developed countries encounter many problems brought up by prolonging life, such as poor community infrastructure and insufficient financial pension funds for the elderly. Population Projection thus becomes essential in government planning in dealing with the population aging. However, rapid changes in mortality and fertility make the projection very tricky. It would be even more difficult to project areas with fewer populations (i.e., small areas) since it takes extra efforts to deal with the larger fluctuations in small population.

The objective of the study is to construct a standard operating procedure (SOP) for small population projection. Unlike the previous study, e.g., Wang et al. (2012), we will take both the fertility and mortality into account (but set migration aside for simplicity). First, for the fertility projection, we evaluate if total fertility rates (TFR) are more appropriate than the age-specific fertility rates for small population. Also, we compare two fertility projection methods: Lee-Carter model and block bootstrap, and check which shows better results. Based on the computer simulation, we found that TFR performs better and the block bootstrap method is more sensitive to rapid fertility changes. As for mortality rate projection, we also recommend the standard operating procedure by Wang et al. (2012). However, the smoothing methods have limited impacts on mortality projection and can be ignored.

In addition to simulation, we also apply the SOP for projecting the small population to Taiwan counties and it achieves satisfactory results. However, due to the availability of data, our method can only be used for short-term projection (at most 30 years) and these results might not apply to long-term projection. Also, similar to the previous work, the fertility rates have the larger impact on small population projection, although we think that the migration has large impact as well. In this study, only the stochastic projection is considered and we shall consider including expert opinions as the future study.

Key words: Population projection, Small Area Population Projection, Graduation, Block Bootstrap, Stochastic Projection.

# 目 錄

第一章 緒 論.....	8
第一節 研究動機.....	8
第二節 研究背景.....	9
第三節 研究目的.....	10
第二章 資料介紹與研究方法.....	11
第一節 資料介紹.....	11
第二節 名詞解釋.....	12
第三節 生育率、死亡率推估方法.....	13
第四節 修勻方法及資料插補.....	15
第五節 人口推估及結果衡量方法.....	18
第三章 電腦模擬與實證分析.....	21
第一節 電腦模擬與情境分析.....	21
第二節 臺灣地區生育率推估.....	24
第三節 縣市生育率推估.....	32
第四節 嬰兒出生性別比推估.....	35
第五節 死亡率推估.....	38
第六節 人口數推估.....	40
第四章 結論與建議.....	44
第一節 結論.....	44
第二節 後續研究建議.....	46
參考文獻.....	48

## 表 目 錄

表 2-1、臺灣地區和縣市人口數和死亡數資料.....	11
表 3-1、生育模擬的假設條件.....	22
表 3-2、總生育率型二法之推估誤差及其標準誤.....	23
表 3-3、臺灣地區育齡婦女年齡組生育率訓練－測試推估誤差.....	28
表 3-4、臺灣地區總生育率之訓練－測試誤差.....	29
表 3-5、比較兩種方法計算出生人數的差異.....	30
表 3-6、臺灣地區出生人口數之訓練－測試誤差.....	30
表 3-7、臺灣地區和縣市人口統計資料.....	33
表 3-8、縣市總生育率之訓練－測試誤差.....	35
表 3-9、縣市出生人口數之訓練－測試誤差.....	35
表 3-10、死亡率修勻法參照標準.....	38
表 3-11、縣市平均死亡率修勻誤差.....	39
表 3-12、縣市死亡率之訓練－測試誤差.....	40
表 3-13、臺灣地區和縣市人口數之訓練－測試推估誤差.....	42
表 3-14、臺灣地區和縣市人口數之訓練－測試推估誤差.....	43
附表 3-1、2012-2031年臺灣地區育齡婦女總生育率低、中、高推估結果.....	53
附表 3-2、2012-2031年縣市育齡婦女總生育率區塊拔靴法推估結果.....	54

## 圖目錄

圖 2-1、人口數插補示意圖 .....	18
圖 2-2、死亡數插補示意圖 .....	18
圖 3-1、總生育率六種情境 .....	21
圖 3-2、不同情境下，總生育率模擬變異係數 .....	22
圖 3-3、總生育率型二法之推估誤差 .....	24
圖 3-4、1947-2011年臺灣總生育率 .....	25
圖 3-5、資料年數和推估年數總和61年(訓練：測試)的推估誤差 .....	26
圖 3-6、移動起始年份示意圖(資料年數和推估年數皆為24年) .....	27
圖 3-7、資料年數和推估年數皆為12年的推估誤差(區塊長度為6) .....	27
圖 3-8、資料年數24年、推估年數12年的推估誤差 .....	27
圖 3-9、資料年數和推估年數皆為24年的推估誤差 .....	28
圖 3-10、臺灣地區年齡組生育率訓練－測試結果 .....	29
圖 3-11、臺灣總生育率訓練－測試結果之信賴區間 .....	31
圖 3-12、臺灣總生育率推估結果之信賴區間 .....	32
圖 3-13、1979-2011年縣市總生育率 .....	33
圖 3-14、縣市資料年數和推估年數比之總生育率訓練－測試誤差 .....	34
圖 3-15、1992-2011年臺灣地區與五個縣市的嬰兒性別比 .....	36
圖 3-16、累加平均法示意圖 .....	37
圖 3-17、臺灣嬰兒性別比訓練－測試推估結果 .....	37
圖 3-18、臺灣嬰兒性別比推估結果 .....	37
圖 3-19、臺灣地區資料年數和推估年數比之死亡率訓練－測試誤差 .....	39
圖 3-20、推估各年度的人口數之訓練－測試誤差 .....	41
附圖 3-2、縣市總生育率推估結果之信賴區間 .....	51
附圖 3-3、臺灣地區出生人數推估值和真實值 .....	52

# 第一章 緒論

## 第一節 研究動機

人類為族群、社會和文明發展的主體，因此人口議題與國家發展和社會制度的建立息息相關。近年國際論壇多圍繞在風險和第三世界崛起的議題上，對長壽風險、人口紅利等詞彙時有耳聞。其中，長壽風險為近年再保和壽險業最關注的提議，由於人口延壽的情況超乎預期，終生年金險和舊有退休金制度將使得政府和保險公司背上龐大的債務，也嚴重威脅到老年人退休後的經濟來源，為已開發國家未來的隱憂；而人口紅利被專家認為是造就「金磚五國」最重要的原因。舉中國為例，由於過去的高生育率加上1980年代後的一胎化政策，使得近十年壯年人口比例快速成長，勞動人口比例高的情況下提供社會和產業富足的人力資源，以低勞動成本的優勢加速營建業和製造業的蓬勃發展。然而，中國一胎化政策引起諸多社會問題，不僅破壞中國傳統家庭結構，也間接限制了未來勞動人口的成長，不久的將來中國的人口紅利將變成人口負債。面對這些充斥在生活周遭的人口問題，讓人不得不審慎思考人口相關議題，若能預先掌握未來人口動態，事先規劃國家政策和建設，將是國家發展的福音。

綜觀臺灣人口變化，近五十年人口快速增加，主要原因在於醫療技術的進步和生活條件的改善，大幅提升嬰兒存活率和急性病的治癒率，尤其自1995年全民健保實施後，國人享有更豐富的醫療資源和快速就醫的窗口。種種改變不僅使得各年齡層死亡率下降，國人的壽命也逐年延長，兩性的平均餘命自1994年到2010年間約延長7歲（內政部統計處簡易國民生命表）。而今，人口快速變遷下的臺灣正面臨許多問題，舉例來說：臺灣人口老化問題嚴重，增加的國民年金支出，恐成為未來國家的財政負擔；由於外籍新娘比例增加，是否影響下一代的學習力和對社會的適應力有待觀察；...等等。儘管政府已經正視人口問題將引發的後續效應，仍須配合有力的數據來擬定適當的政策，因此人口推估方法研究有其必要性。



然而國家發展除了整體規畫之外，勢必要根據地方特色和特殊社會團體做各別規劃，對症下藥才能確實滿足人民的需求。因此，如何掌握小區域（或小群體，指國家層級以下的單位）人口變化應視為一重要課題。

## 第二節 研究背景

臺灣孕育人口問題研究的良好環境。從種族融合來看，臺灣屬於多元民族社會，融合漢族與南島民族，近年移民更構成人口組成的一部份；從歷史和文化發展來看，臺灣歷經多次政權轉移，融合多元文化，具有豐富性和包容力；從國家發展和人口結構來看，由於各縣市規劃發展走向不一，使得各區域生育、死亡、遷移等人口特性也大異其趣（徐茂炫等 2011）。

雖然臺灣內部異質性高，惟目前人口推估發展的研究重點仍聚焦在以國家為單位的人口推估法（Wilson 2005; Booth 2006）。行政院經濟建設委員會（以下簡稱經建會）於2012年八月公布之「中華民國2012年至2060年人口推計」報告中，採用年輪組成推計法（Cohort Component Method）推估（Whelpton 1936; Leslie 1945, 1948），分別對臺灣未來50年出生、死亡、和遷移變化提出假設，以中推計結果來看，人口自然增加趨勢在2022年將會由自然增加變為自然減少，起因於生育率下降和老化速度增加交互影響的結果。然而，人口推估可能受到人口數、社會變遷、資料品質等因素，影響統計分析的可靠性，因此常用於國家層級的推估方法，往往無法直接套用至縣市及其以下的層級（即小區域），因而小區域人口推估往往較為棘手。

以臺灣而言，本文所指的小區域大致分為兩種：一是指以地域關聯劃分的區域，做人口推估時需要考慮遷移對人口數的影響，像是縣市人口和行政區域，廣義來說，甚至可以推廣到某山區的原住民、或是以某醫療院所所在地為中心的人口聚落、以及高汙染地區附近的住民。其二是指無地域關聯的特定人群，像是職業婦女、全國老年人口、原住民、弱勢團體、疾病之高危險群、和特定職業的就業人口等等...

種種影響人口變化的因素，造成小區域人口推估存在更多的不確定性，不僅受限於人口規模，尚有資料年數不足、資料品質不佳、缺乏完整性...等問題。以五都合併來說，臺灣部份區域重新劃分，資料合併時是否有缺失、過去縣市間的遷移人口該如何計算...等等，諸如此類的問題使得發展小區域人口推估更為不易。這也是本文探討小區域人口推估的原因，希冀能尋得適用於臺灣縣市、甚至鄉鎮市區層級的推估方法，做為學術研究或施政參考。

### 第三節 研究目的

本研究目的在評估小區域生育率、死亡率推估對於人口推估誤差的影響，根據研究結果，建議生育率推估方法，結合過去小區域死亡率推估的研究，使得年輪組成推計法能適用小區域人口推估；然而，本文未考慮遷移對小區域人口的影響，由於小區域資料蒐集、彙整不易，另考慮到加入遷移變項會增加研究的複雜度以致失去研究重心，暫不做討論。

由於受到人口數大小限制，常用於大區域的研究方法，往往無法直接套用至小區域，尤其當小區域內部異質性偏高時（如社會、經濟、地理環境、和人口結構等等差異），尋找適合的推估方法將更為棘手。本研究將採用區塊拔靴法 (Block Bootstrap) 和Lee-Carter模型推估生育率，將比較不同方法下，資料年數和推估年數比對誤差的影響。另外，生育率和死亡率特性不一，是否人口規模（總人口數）會影響推估誤差，將採用電腦模擬情境分析方式，作進一步評估。對於死亡率的推估，除了採用金碩 (2011) 建議的標準推估程序外，也會進一步驗證不同修勻法 (Graduation) 對資料的修整程度，和修勻能否降低人口推估誤差。

## 第二章 資料介紹與研究方法

本文研究小區域的人口推估，以隨機模型推估生育率、死亡率，並結合年輪組成推計法 (Cohort Component Method)，探討如何因應人口規模，以獲得較為穩定的結果。本文的焦點在於生育率的處理，輔以專家意見做參考，其中死亡率的推估延續金碩與余清祥 (2011) 的修勻及操作方法。本章將先介紹使用的隨機模型、因應人口規模的調整方法等等，作為後續電腦模擬、實證分析的基礎。

### 第一節 資料介紹

臺灣地區年齡組育齡婦女生育率資料年份為1947-2011年，共65年資料；縣市年齡組育齡婦女生育率資料年份為1979-2011年，共30年資料。臺灣地區嬰兒性別比資料年份為1976-2011年，共36年資料；縣市嬰兒性別比資料年份為1992-2011年，共20年資料。臺灣地區人口數和死亡數資料年份為1982-2011年，共30年資料。1981年以前的資料不含金門、連江兩縣。臺灣地區與縣市的人口數和死亡數資料介紹參考下表 (表 2-1)。

表 2-1、臺灣地區和縣市人口數和死亡數資料

	資料年份	最高年齡組
臺灣地區年齡組人口數資料	1982-1991	90+
	1992-2011	100+
臺灣地區年齡組死亡數資料	1982-1991	85+
	1991-1992	90+
	1993-1997	95+
	1998-2011	100+
縣市年齡組人口數資料	1982-1991	90+
	1992-2011	100+
縣市年齡組死亡數資料	1982-1991	85+
	1992-1997	95+
	1998-2011	100+

## 第二節 名詞解釋

生育率的測量方式，通常分為婦女年齡組生育率 (Age-specific Fertility Rate)、總生育率 (Total Fertility Rate, TFR)，其中總生育率可解釋為代表每位婦女一生平均生育的嬰兒數，五齡組的方式可定義如下 (Brown 1991)：

$$TFR = 5 \sum_{x=15}^{45} {}_5f_x = 5 \sum_{x=15}^{45} \frac{{}_5B_x}{{}_5F_x}; x = 15, 20, 25, \dots, 45$$

${}_5f_x$  為  $x$  歲至  $x + 5$  歲的婦女年齡組生育率， ${}_5B_x$  為  $x$  歲至  $x + 5$  歲婦女所生的嬰兒數， ${}_5F_x$  是  $x$  歲至  $x + 5$  歲 (年中) 婦女人數，在台灣婦女生育年齡的上限與下限分別為 15 及 49 歲，因此加總上限為 45。

由於年齡組生育率在人口總數較少時，會有很大的震盪，本文將採折衷作法，僅推估未來總生育率 (TFR)，年齡組生育率可由過去資料得出比例，再由總生育率反推出未來的年齡組生育率。本文將比較直接推估年齡組生育率，以及上述先透過 TFR 的生育率推估，找出比較適合臺灣的小區域推估方法，這兩個生育率推估方法分別記為：

總生育率型一：推估年齡組生育率，加總後乘以組數可得總生育率。

總生育率型二：推估總生育率，乘上年齡組生育率比例，再除以組數可得年齡組生育率。

年齡組生育率比例 ( $g_x$ )：

$$g_x = \sum_t^n \frac{{}_5f_x}{n \cdot \sum_{x=15}^{45} {}_5f_x}; x = 15, 20, 25, \dots, 45$$

其中  $t$  表示年度， $1 \leq t \leq n$ 。

$${}_5f_x = TFR \cdot g_x / 5$$

本文考量小區域人口推估，以隨機模型推估未來的年齡組生育率與死亡率假設遷移總數為零，代入年輪組成推估法，推得未來的人口總數及結構。本文不同於過去文獻，生育率及死亡率皆採用隨機模擬，例如：經建會人力規劃處的中推計的生育率推估為專家意見，為確定隨機模型是否可用於小區域人口推估，本文將以電腦模擬，測試不同人口規模下的推估結果。

出生數、死亡數等生命統計的電腦模擬，大多假設數值服從二項分配或布阿松 (Poisson) 分配，這兩者的差異不大，原則上本文使用二項分配。另外，本文的電腦模擬及資料分析，皆使用統計軟體 R，版本為2.12.2，以及R的模組R Studio 0.96.331。

### 第三節 生育率、死亡率推估方法

本文考量的隨機模型有兩種：Lee-Carter模型 (Lee and Carter 1992；以下簡稱為LC模型) 和區塊拔靴法 (Block Bootstrap；相關介紹可參考 Künsch 1989)。近年來，這兩種方法廣為各國使用在人口推估，其中LC模型為最常用的死亡率模型，也可用於生育率推估 (黃意萍與余清祥 2002)；區塊拔靴法為無母數電腦模擬法，因為操作方便，經建會最近幾次的人口推估，也使用區塊拔靴法做為參考意見 (陳政勳與余清祥 2010)。

LC 模型由 Lee and Carter (1992) 提出，廣為應用於預測未來的死亡率，但也適用於推估生育率 (Lee 2000)，LC 模型假設死亡率滿足以下方程式：

$$\log(m_{x,t}) = a_x + b_x k_t + \varepsilon_{x,t}$$

其中上式中的  $m_{x,t}$  代表  $x$  歲在  $t$  年的中央死亡率 (或年齡組生育率)，三個參數： $a_x$  為  $x$  歲死亡率的平均曲線， $b_x$  為  $x$  歲相對死亡率的變化率， $k_t$  是  $t$  年死亡率強度的變化量，誤差  $\varepsilon_{x,t}$  為常態分配。這個模型認為各年齡死亡率隨著時間有不同幅度改善，亦即預期  $k_t$  是一條遞減的曲線，代表死亡率隨著時間逐漸下降， $b_x$  會是大於0的數，數值越大表示該年齡死亡率改進幅度越大。

在求解參數時，為避免有無限多組解，通常要求  $\sum_x b_x = 1$  和  $\sum_t k_t = 0$ 。估計參數的方法有多種，Lee and Carter 提到可以利用死亡人數和人口數找出  $k_t$ ，而 Koissi et al. (2006) 整理了幾種估計方法，包含 Lawson and Hanson (1974) 提到的奇異值分解 (Singular Value Decomposition, SVD)、主成份分析 (Principal Component Analysis, PCA) 和最大概似估計 (Maximum Likelihood Estimation, MLE)。對未來的預測 (即時間參數  $k_t$ )，較常見的做法為假設  $k_t$  為具有飄移項的隨機漫步 (Random Walk with Drift, RWD)，簡言之，假設  $k_t$  為時間的線性函數，再以  $k_t$  數值代入求得未來的死亡率及生育率 (Li et al., 2004)。

關於 SVD 的具體作法，在對中央死亡率 (或年齡組生育率) 取對數後，先根據最小平方法估計  $a_x$

$$\min \sum_{t=1}^T [\log(m_{x,t}) - a_x - b_x k_t]^2$$

由於  $b_x k_t$  加總為 0，所以  $a_x$  為

$$a_x = \frac{\sum_{t=1}^T \log(m_{x,t})}{T}$$

再對  $[\log(m_{x,t}) - a_x]$  做 SVD 可得  $b_x$  和  $k_t$ 。將死亡率矩陣分解為  $U\Sigma V^T$  三個矩陣相乘，其中  $U$  和  $V^T$  是正交的單位向量矩陣， $\Sigma$  為奇異值的對角矩陣，奇異值代表每組向量可解釋的共變異數之量。

區塊拔靴法為拔靴法 (Bootstrap) 的延伸。拔靴法將樣本視為小母體進行重複抽樣，藉以模擬母體分配。區塊拔靴法則是應用在觀察值具有「順序」特質的情況。抽樣時，一次抽取一個區塊 (區塊內為多個相鄰的觀察值)，藉以保留資料的特性，區塊抽取的權重常見的有均勻 (Uniform) 分配與線性權重 (Linear Weighted)，前者表示過去各區塊發生的機率均等，後者認為距離現在越近的區塊發生機率越大。區塊拔靴法最早則由 Hall (1985) 提出，Künsch (1989) 有較完整的討論，Denton et al. (2005) 首先將其應用在人口統計，郭孟坤與余清祥

(2008) 使用區塊拔靴法於臺灣的人口推估，金碩與余清祥 (2011) 探討區塊長度與推估間的關係。

執行區塊抽取時，透過電腦模擬抽取多次區塊，連結這些區塊以取得未來各年度的預測值，若區塊長度為 $b$ 、抽取 $k$ 個區塊，即可求得未來 $b \times k$ 年的預測值；區塊拔靴法通常可重複許多次，多半為1000次或其倍數，整合這些未來預測值後，再計算出中位數、97.5與2.5百分位、95%預測區間。區塊抽取時會同時抽取所有年齡的變動，除了可保留過去的趨勢變化外，也可保留各年齡間的相關性，因此其推估效果也不錯 (郭孟坤與余清祥 2008)，若死亡率服從LC模型，以區塊拔靴法也可得到很好的近似結果。

由於生育率、死亡率等數值都不為負，通常在代入區塊拔靴法時會先取對數，以死亡率為例，假設 $Y = [Y_1, Y_2, \dots, Y_n]^T$ 為過去 $n$ 年的死亡率資料，則先計算區塊抽取之各年度間的變動率為：

$$\begin{aligned}\Delta \log Y &= [\log Y_2 - \log Y_1, \log Y_3 - \log Y_2, \dots, \log Y_n - \log Y_{n-1}]^T \\ &= \left[ \log \left( \frac{Y_2}{Y_1} \right), \log \left( \frac{Y_3}{Y_2} \right), \dots, \log \left( \frac{Y_n}{Y_{n-1}} \right) \right]^T\end{aligned}$$

共有 $n-1$ 個變動率，令抽取區塊長度為 $b$ ，則共有 $n-b$ 個區塊可抽取，按照線性權重抽取區塊後，將最後一年取對數後的死亡率依序加上抽取的變動率區塊後即為區塊拔靴法的推估值，重複抽取步驟多次後即可建構預測值與預測區間。

#### 第四節 修勻方法及資料插補

以二項分配的角度或分析歷史資料，可發現各年齡組死亡率除了隨時間下降外，也會呈現短期的上下波動，尤其當研究區域從全國縮小為縣市層級時，震盪情形越為明顯；年齡組生育率也有震盪現象，但長期趨勢不像死亡率那麼有規律。為了找出死亡率及生育率的長期趨勢、排除短期非系統性變化，本文採用修勻 (Graduation) 降低資料的震盪 (金碩與余清祥 2011)。

修勻（或稱平滑法；Smoothing）旨在針對一組資料做適當的調整，藉以修正或是減少非系統性誤差的影響。本文採用Partial SMR法（Lee 2003）、Whittaker比值法、和核修勻法（Kernel）三種修勻方法，其中Whittaker比值法為Whittaker-Henderson法的改良方法（參考余清祥的介紹 1997）。以下簡單介紹這三種修勻法：

### 一、Whittaker比值法

Whittaker修勻法是尋求下式極小值的死亡率修勻值  $v_x$ ：

$$M = F + hS = \sum_{x=1}^n w_x (v_x - q_x)^2 + h \sum_{x=1}^{n-z} (\Delta^z v_x)^2$$

其中F即為適度性，S為平滑性， $q_x$ 為 $x$ 歲的死亡率， $v_x$ 為調整後 $x$ 歲的死亡率， $w_x$ 為 $x$ 歲的權數（一般為 $x$ 歲的人口數）， $h$ 及 $Z$ 為選定的參數， $\Delta^z$ 為第 $Z$ 次的差分（Difference）。Whittaker比值法是以小區域與大區域的死亡率比值代替死亡率，代入上列的方程式。

### 二、Partial SMR

Partial SMR為參考母體或大區域的死亡數以修正小區域期望死亡數，修正方式透過標準死亡比（Standard Mortality Rate, SMR），若 $d_x$ 為 $x$ 歲觀察死亡數， $e_x$ 為 $x$ 歲期望死亡數，SMR就是觀察死亡總數與期望死亡總數的比值：

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

Partial SMR令調整過的死亡率為

$$v_x = q_x^* \times \exp \left( \frac{d_x \times \hat{h}^2 \times \log(d_x / e_x) + (1 - d_x / \sum d_x) \times \log(SMR)}{d_x \times \hat{h}^2 + (1 - d_x / \sum d_x)} \right)$$

其中 $x$ 歲的修勻值 $v_x$ 是在 $x$ 歲的死亡率比值，與SMR之間取得加權幾何平均所得之數值，式中的 $\hat{h}^2$ 是異質性參數 $h^2$ 的估計值。



$$\hat{h}^2 = \max \left( \frac{\sum (d_x - e_x \times SMR)^2 - \sum d_x}{SMR^2 \times \sum e_x^2}, 0 \right)$$

### 三、核修勻法

核 (Kernel) 修勻法和常見的修勻法類似，為減少某個年齡死亡率的震盪，會考慮該年齡附近的死亡率，因為增加樣本數可降低變異數，不過核修勻是分別以核函數計算死亡人數、總人數 (或暴露數)，再將兩者相除：

$$\hat{q}_x = \frac{[\sum_{i=1}^n d_i K(\frac{x-x_i}{h})]}{[\sum_{i=1}^n e_i K(\frac{x-x_i}{h})]}$$

其中核函數 $K(\cdot)$ 為觀察值的權數， $h$ 為環寬 (bandwidth)，用來決定觀察值加權的範圍和比重 (余清祥 1997)。

另外，單齡生育率及死亡率因為樣本數較少，容易有較大的震盪，本文的資料分析原則上使用五齡組資料，如有需要，再以內插 (Interpolation) 推得單齡數值。不過，零歲死亡率一般較1-4歲幼童死亡率高出許多，從醫學的角度解釋，由於嬰兒出生約六個月後個體才能製造免疫球蛋白，因此不足半歲的嬰兒抵抗力較弱，建議零歲死亡率個別推估。

計算高齡組死亡率時，建議先分別對人口數和死亡數資料做插補到95-99歲，再計算年齡組死亡率，這種作法類似Kernel修勻法。高齡組人口數資料做插補時，利用近年記錄較為完備的資料，找出前後兩個年齡組間資料比值的平均值，再將該平均值乘上需插補年度的前一個年齡組數值，進行插補 (圖 2-1)；高齡組死亡數資料做插補時，若前後兩個年齡組資料間存在線性關係，則建立簡單線性迴歸式估算死亡數，同時調整截距項為零，避免死亡數為負值 (圖 2-2)；否則，高齡組死亡數資料同樣地以比值平均值方法進行插補。若直接對粗死亡率資料進行插補，藉由人口數乘死亡率計算死亡數，再扣除死亡數計算下一個年齡組人口數，此作法會造成越高年齡組的誤差越大，而且完全排除遷移考量 (假設高齡組遷移數為零)，因此不建議如此操作。

年份	組A	組B	比值
	90 - 94	95 - 99	組B / 組A
1991	788	$788 \times 0.227 = 179^*$	
1992	746	167	0.224
...	...	...	...
2010	5102	1282	0.251
2011	5643	1433	0.254
比值平均			0.227

註：\* 為插補值

圖 2-1、人口數插補示意圖

唯臺北市女性死亡數 90-94 歲和 95-99 歲兩個年齡組、臺北市男性死亡數 90-94 歲年齡組採用簡單線性迴歸方式進行資料插補，其中 R-squared 皆大於 0.9。

年份	組A	組B	組C
	85 - 89	90 - 94	95 - 99
1991	405	$0.4532 \times 405 = 184^*$	$46^{**}$
1992	328	102	28
...	...	...	...
2010	1399	687	217
2011	1553	821	252

組A對組B簡單線性迴歸式 組B = 0.4532 × 組A

註：\* 簡單線性迴歸法計算插補值；\*\* 比值平均值方法計算插補值

圖 2-2、死亡數插補示意圖

## 第五節 人口推估及結果衡量方法

年輪組成推計法 (Cohort Component) 是最常見的人口推估方法，一般由出生、死亡、遷入、遷出四個人口變項組成 (Cannan 1895)，概念上是依據前一期人口資料，考量自然增加率和社會增加率對人口數的影響。本文將此方法配合人

口矩陣 (Leslie Diagram) 推估未來年齡組人口數，考量年輪群 (Cohorts) 隨時間發展而經歷人口變遷後，每一個年輪的人口組成 (陳信木 2004)。

### 一、人口平衡公式

年輪組成推計法的原理來自於人口平衡公式：

$$P_{t+1} = P_t + B_t - D_t + I_t - E_t$$

其中  $P$  為人口數、 $B$  為出生數、 $D$  為死亡數、 $I$  為移入數、 $E$  為移出數；符號的右下標代表年度。

### 二、年輪組成推計法及Leslie Diagram

$P_{t+1} = M_t P_t$ ，其中  $P_t$  表示第  $t$  年各年齡人數， $M_t$  表示人口矩陣，記錄人口平衡公式中第  $t$  年出生、死亡、遷移等資料。 $M_t$  如下表示：

$$\begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 & b_{15} & \dots & b_{49} & 0 & 0 \\ p_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \vdots \\ \vdots & 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 & 0 & \vdots \\ \vdots & 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 & \vdots \\ \vdots & 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 & \vdots \\ \vdots & 0 & 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & p_{100} & 0 \end{bmatrix}$$

$b_x$  為婦女生育率、 $p_x$  為生存機率。考量資料量及資料品質，本文的人口推估不考慮100歲以上的人口，因為上述矩陣的  $p_{100}$  為零，表示100歲以上人口不計。

本文衡量人口推估結果，以平均絕對誤差 (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) 作為推估方法優劣的衡量標準：

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

其中 $\hat{Y}$ 為推估值、 $Y$ 為真實值。本文在接下來兩章的電腦模擬、實證分析，都將採用這個衡量標準，而MAPE多半分為四個等級 (Lewis 1982)，只要誤差數值不大於20%，通常都是可行的人口推估方法。

MAPE範圍	< 10%	10% ~ 20%	20% ~ 50%	> 50%
準確度	高	良好	合理	低



### 第三章 電腦模擬與實證分析

本章將先以電腦模擬評估生育率推估的方法，是否以總生育的格式足以提供人口推估之用，避免年齡組生育率因為人數較少引起的震盪。另外，在本章後半段將整合生育率、死亡率推估，主要以機率推估方式取得未來人口的預測值，並且評估採用之隨機模型套用至小區域人口的可行性，探討隨機推估的限制及其適用時機，作為政府未來施政的參考。

#### 第一節 電腦模擬與情境分析

本節的電腦模擬在於探討不同生育情境下，人口規模和推估方法對於推估結果的影響。電腦模擬假設各年齡組育齡婦女人口比例和生育率比例固定，唯總生育率和人口規模改變，模擬期間45年。其中，總生育率變化分為六種情境（圖 3-1），分別為固定、遞增、遞減、先遞減後持平、先遞減後遞增、先遞增再遞減後持平。前三種情境生育率趨勢不變，主要觀察生育率數值大小對結果的影響；後三種生育率波動轉折，可探討誤差變化。為了排除其他干擾因素，諸如死亡率和遷移，因此假設育齡婦女數固定，為第九回國民生命表之女性生存人口，年齡組婦女生育率比例則參考2002-2011年（最近十年）臺灣地區育齡婦女生育率。（電腦模擬背景假設詳見表 3-1）。為了避免總生育率出現零或是負值等不合理情形，在此加入專家意見（郭孟坤與余清祥 2008），設定總生育率下限為0.75。

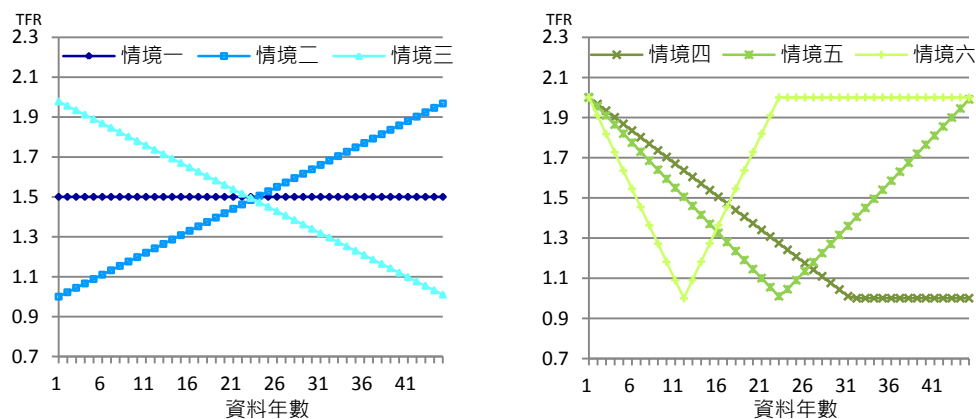


圖 3-1、總生育率六種情境

表 3-1、生育模擬的假設條件

項目	背景與假設
總生育率情境	假設45年間總生育率在1.0~2.0之間波動，並將總生育變化分為六種情境： 1. 固定；維持1.5平均水準。 2. 遞增 3. 遞減 4. 先遞減後持平 5. 先遞減後遞增 6. 先遞增再遞減、後持平
總生育率下限	0.75
育齡婦女數	第九回國民生命表的15-49歲女性生存人口數
年齡組生育率比例	2002-2011年、共10年年齡組生育率比例平均值

操作時，假設育齡婦女數以十分之一的規模遞減，分別假設育齡婦女總數為三百四十萬（參考第九回國民生命表之定常人口  $T_x$ ；育齡婦女總數約為  $T_{15}-T_{50}$ ）、三十四萬、三萬四千、和三千四百人，先觀察不同情境下，總生育率模擬平均數、標準誤、和變異係數。發現隨人口規模減小，變異增加（人口規模縮減十分之一，則變異數變為原先的10倍），此外，單一人口規模下，變異係數隨生育率趨勢變化，顯示情境假設不影響變異（圖 3-2），由此確保亂數穩定。

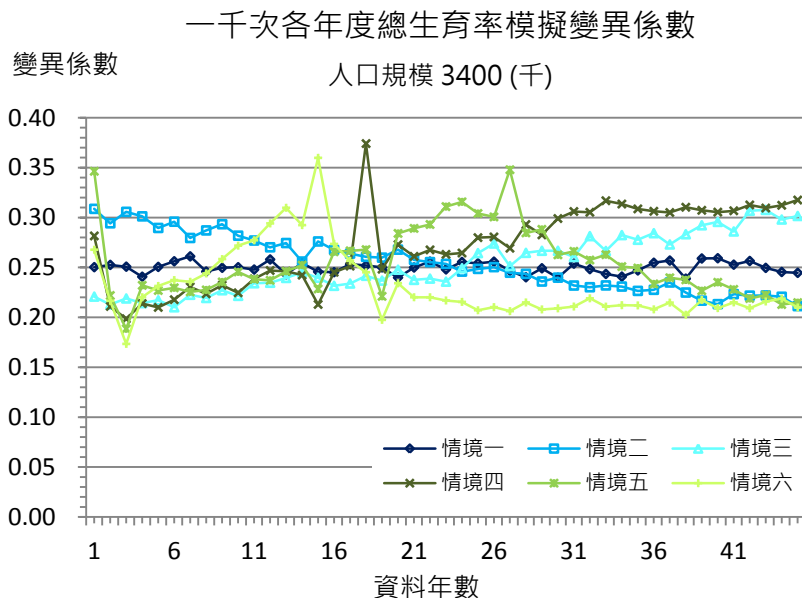


圖 3-2、不同情境下，總生育率模擬變異係數

接著評估六種情境之推估誤差，採用交叉驗證方式，使用訓練集資料30年、測試集15年，評估不同情境、不同人口規模下區塊拔靴法的推估表現，分析生育率變動方向（持平、遞減、或遞增）和速度（變動量）對出生人數推估結果的影響。結果發現（表 3-2），若生育率變動方向和速度不變，則區塊拔靴法推估出生人數的準確度高；若變動方向一致，但速度改變，雖然誤差增加但整體表現仍可接受；若生育率呈現波動，則不建議採用區塊拔靴法推估。此外，結果發現人口規模對於總生育率（及出生人數）推估誤差影響不大（圖 3-3），此與死亡率的研究非常不一樣（參考金碩 2011），顯示出生人數（亦即零歲人口）透過總生育率已足夠，並不會受到人口規模的影響。由於總生育率型一和型二兩種推估方式差異不大，因此僅呈現型二法的結果。

表 3-2、總生育率型二法之推估誤差及其標準誤

單位：MAPE (%)

推估誤差	人口規模			
	三百四十萬	三十四萬	三萬四千	三千四百
情境一	0.0118 (0.00510)	0.0396 (0.01453)	0.1165 (0.04055)	0.4951 (0.22601)
情境三	3.63 0.626	3.62 0.651	3.59 0.689	3.67 0.728
情境四	12.79 (1.284)	12.75 (1.306)	12.82 (1.287)	12.93 (1.311)
情境五	33.42 (3.854)	33.46 (3.835)	33.46 (3.775)	33.62 (3.825)
情境六	37.01 (15.681)	37.55 (15.550)	38.59 (16.043)	38.28 (15.711)

註1：由於情境二和情境三的結果相仿，僅記錄情境三的結果。

註2：括號為標準誤。

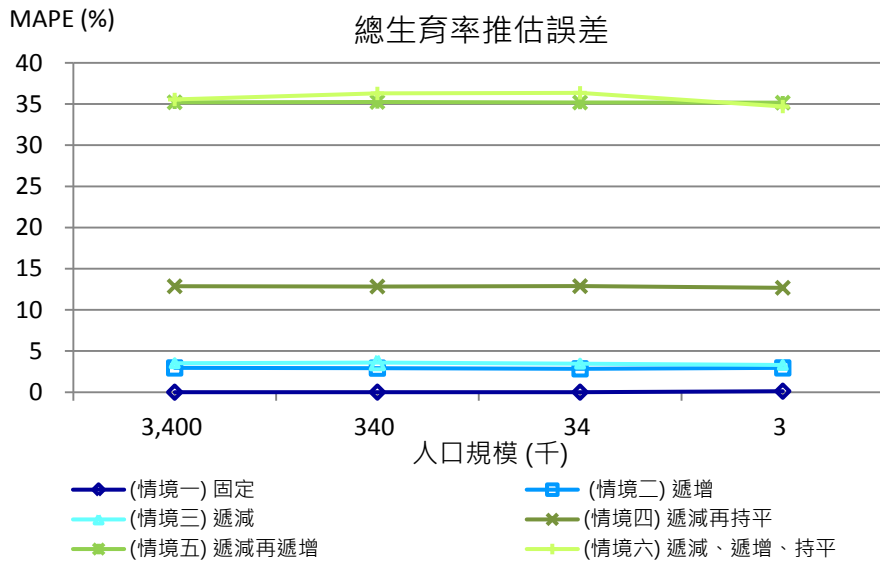


圖 3-3、總生育率型二法之推估誤差

## 第二節 臺灣地區生育率推估

生育率推估的研究目標在於找出適當的歷史資料年數、未來推估年數、和推估方法（區塊拔靴法或者LC模型），並配合適當的參數（如區塊長度），使得生率育和出生人口數之推估誤差控制在可接受的範圍且表現穩定。此外也可藉由推估誤差，觀察臺灣地區和縣市育齡婦女生育率變化與趨勢，評估人口規模與生育推估的關聯，驗證前一節的電腦模擬結果。

由於臺灣各縣市層級的生育率可使用的資料年數不多（僅過去30年），因此以臺灣地區（大區域）的資料為研究對象，評估隨機推估方法的優劣和限制，且當縣市（小區域）的推估值需要修正時，可以參考臺灣地區的數據。臺灣總生育率自1951年起逐年下滑（圖 3-4），而1983年可謂生育率轉型的分界點，臺灣總生育率跌破人口替代水準（Replacement Level）的2.1，而且高齡婦女生育率也逐漸攀升（陳寬政 1997）；2008-2010年時在1.0附近震盪，形成實質的一胎化，也就是說平均每位婦女一生生育不滿一個小孩。此外，除了逐年遞降外，臺灣總生育率還存在龍虎年效應，通常龍年的生育率居十二生肖之首，而虎年最低，2000年時這兩年的出生數差異約為4萬人。



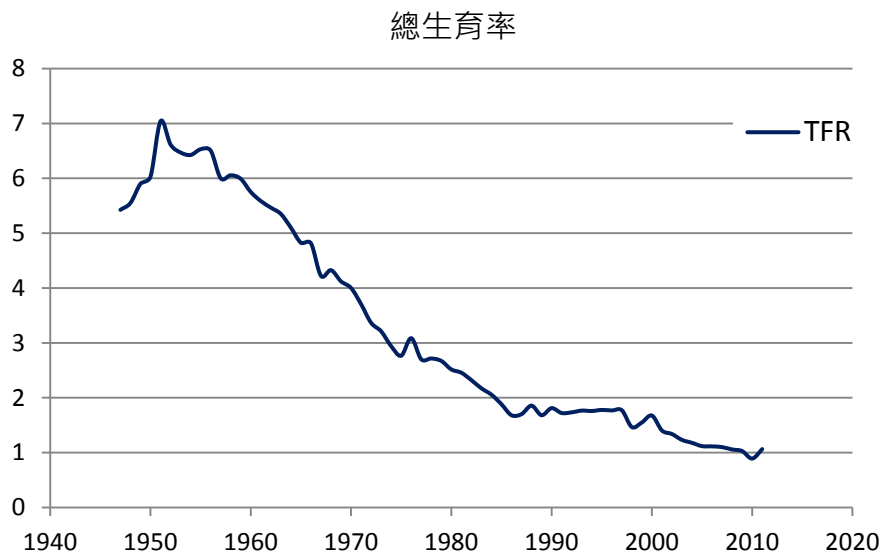


圖 3-4、1947-2011年臺灣總生育率

生育率推估除了前一節提到的區塊拔靴法，也可使用LC模型，本文將評估這兩種方法是否適合用於小地區生育率推估。本節將以1951-2011年臺灣育齡婦女生育率資料作為比較對象，分成測試集和訓練集，計算推估誤差，比較LC模型、總生育率型一、和總生育率型二，評估三種方法的優劣。因為臺灣生育率存有生肖週期，設定區塊拔靴法的區塊長度為12，而且仿造郭孟坤與余清祥 (2008)，假設未來生育率下限為0.75，區塊拔靴法的模擬中若總生育率的推估值小於0.75，則捨棄該次模擬。以下討論，限於篇幅限制，區塊拔靴法僅呈現總生育型一的結果。

為了研究歷史資料年數、未來推估年數這兩者對推估結果的影響，考慮兩者的不同組合（資料年數和推估年數的總和固定為61年）。推估時，資料起始年份都為1951年，逐次增加未來推估年數（亦即逐次減少歷史資料年數），假設推估年數為10至30年（或是資料年數為51至31年）。研究發現（圖 3-5），資料年數和推估年數的比例對區塊拔靴法沒有明顯影響，但對LC模型的結果則有明顯影響，使用資料愈多、推估誤差反而愈大。推測LC模型的誤差與歷史資料年數成反比，因為早期臺灣生育率的變化趨勢不同於最近幾年，使用的資料年數愈多、早

期資料權重愈重，這和區塊拔靴法不一樣，線性加權重視近期資料，不受早期資料的干擾，增加資料年數對推估影響不大。評估訓練－測試比例與推估誤差的關係，最佳資料年數和推估年數比大約為2：1；因為未來推估年數不多於30年，區塊拔靴法的推估誤差大致都在20%，這與金碩與余清祥 (2011) 的死亡率推估結果類似。此外，倘若歷年總生育率下降速度一致（生育率情境三），可預期推估誤差會更小（表 3-2）；若生育率變化較不規則，則推估誤差會較大。

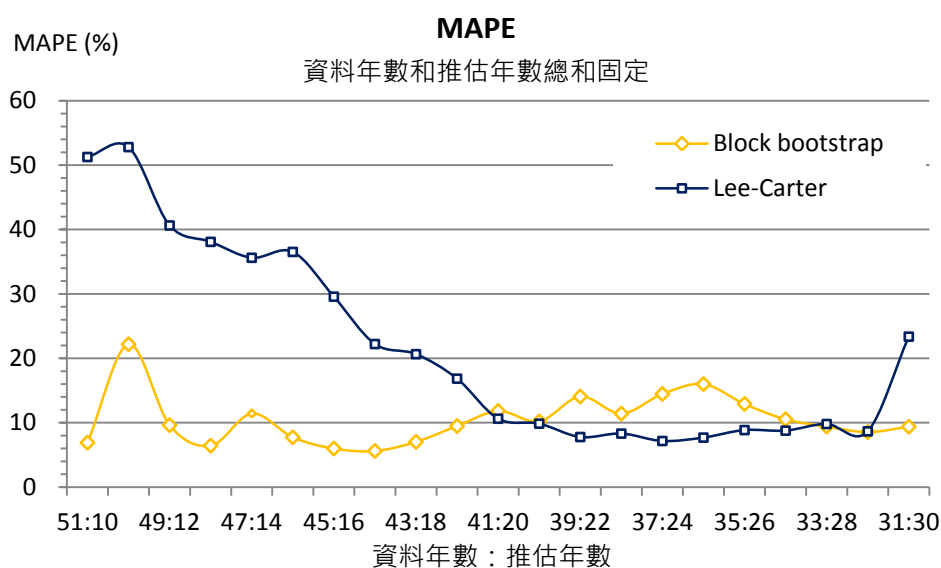


圖 3-5、資料年數和推估年數總和61年（訓練：測試）的推估誤差

圖3-5的結果反映歷史資料、推估年數兩者比例與推估結果的關係，但這個結果也與起始點（1951年）有關，本文將進一步變動起始點，觀察推估誤差變化，並驗證1951-2011年間臺灣總生育率是否出現轉折點或震盪，操作方式為固定歷史資料年數和推估年數，逐次移動起始年份（圖 3-6）。無論是歷史資料及推估年數均為12年（圖 3-7）、分別為24年及12年（圖 3-8）、或均為24年（圖 3-9），LC模型及區塊拔靴法的結果差異不大，從圖3-7可約略判斷在1980年代至1990年代中期，臺灣地區生育率大致平穩變化，約莫在1997年前後，總生育率整體趨勢改變，造成兩種推估方法的結果誤差皆增加。此外，觀察不同資料年數的推估誤差，發現當資料年數增加時誤差的穩定度增加，能降低誤差對總生育率波動的敏感度（圖 3-9）。根據上述結果，建議推估總生育率，選取近期生育率資料（或給予

較重的權數) 或增加資料年數，可增加推估方法的穩定度和準確度。

推估起始年份	資料年份	推估年份
1975	1951 - 1974	1975 - 1998
1976	1952 - 1975	1976 - 1999
...	...	...
1988	1964 - 1987	1988 - 2011

圖 3- 6、移動起始年份示意圖(資料年數和推估年數皆為24年)

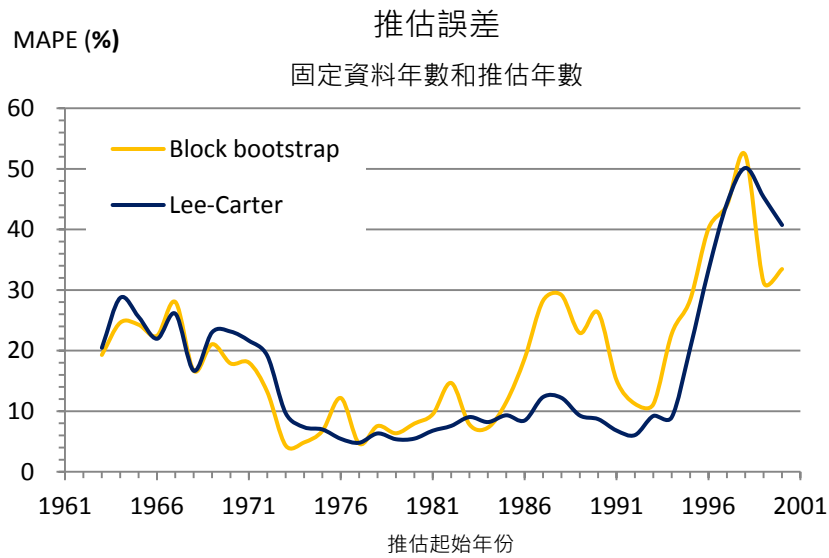


圖 3- 7、資料年數和推估年數皆為12年的推估誤差(區塊長度為6)

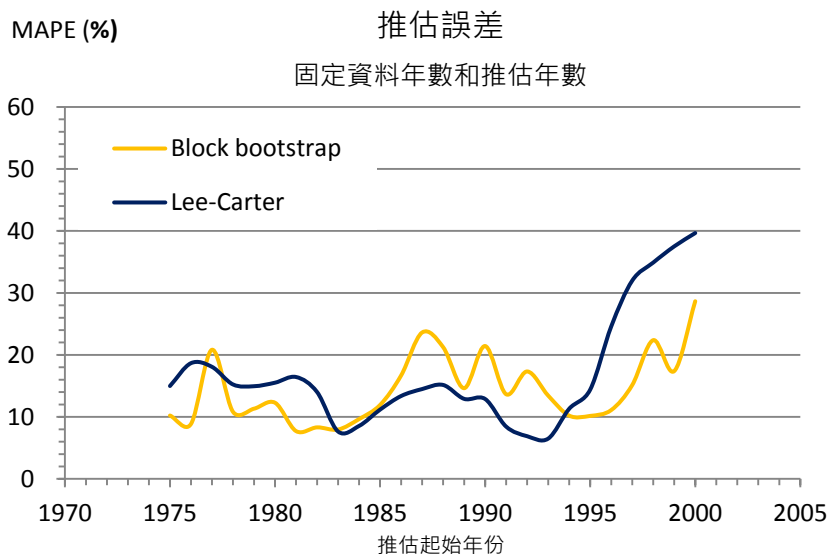


圖 3- 8、資料年數24年、推估年數12年的推估誤差

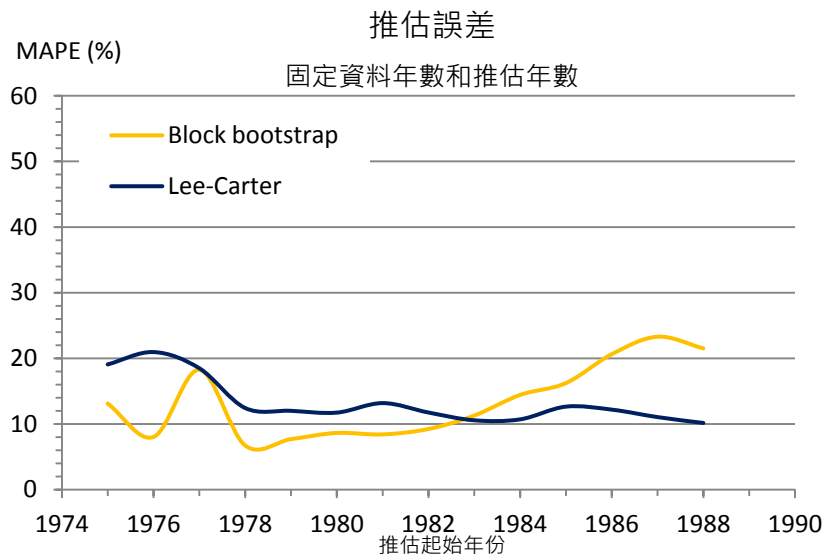


圖 3-9、資料年數和推估年數皆為24年的推估誤差

為了 Leslie 矩陣，須進一步評估年齡組生育率推估結果，然而訓練－測試結果誤差不理想 (表 3-3)。由於 35 歲以上婦女生育率下降趨勢不明顯，甚至近年高齡產婦人數不減反增，可預期推估結果不佳。由圖 3-10，20-24 歲和 30-34 歲推估值和真實值略有出入，似乎過去的資料無法完全反應近年生育率趨勢，其中 20-24 歲真實生育率下降趨勢比推估值明顯，而 30-34 歲生育率卻不減反增。由於受到傳統觀念的束縛，臺灣女性非婚生子比例低，而綜合上述觀察，間接地反映出臺灣女性初婚年齡正往後延遲。

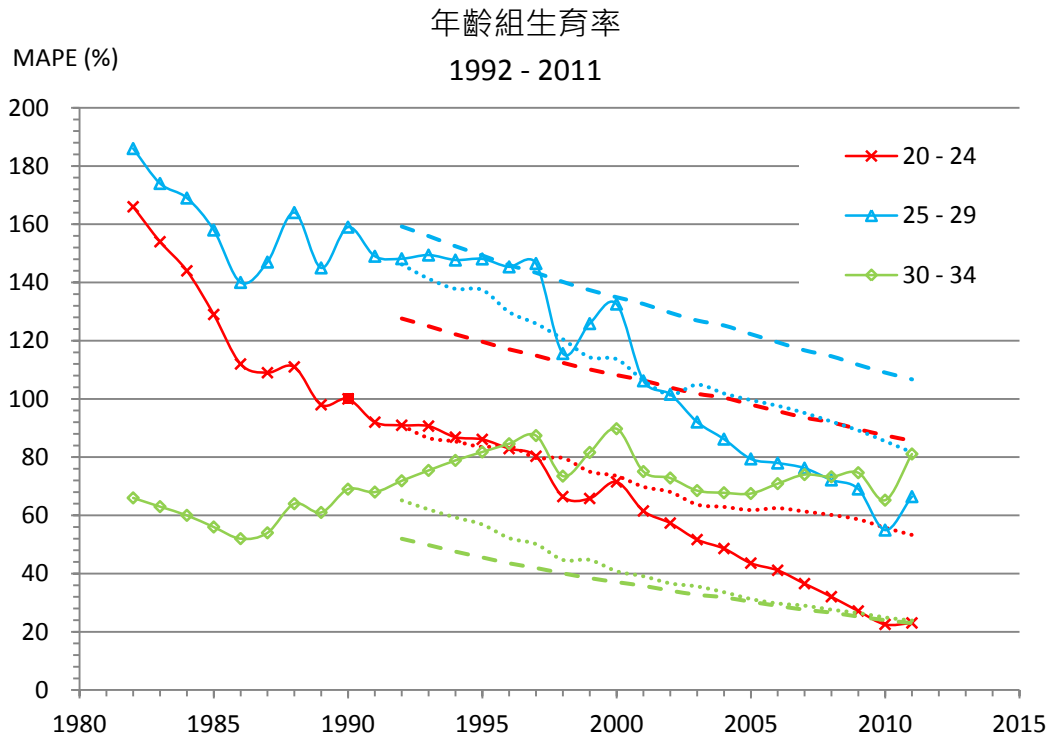
表 3-3、臺灣地區育齡婦女年齡組生育率訓練－測試推估誤差

(資料年數41年、推估年數20年)

年齡組	區塊拔靴法	單位：MAPE (%)
		Lee-Carter模型
5-19	44.97	<u>82.27</u>
20-24	39.12	<u>107.23</u>
25-29	16.23	30.30
30-34	45.85	<u>53.45</u>
35-39	<u>68.07</u>	<u>73.33</u>
40-44	<u>75.21</u>	<u>71.78</u>
45-49	<u>82.20</u>	<u>75.45</u>
總生育率	11.82	10.62

註、加註底線表示誤差超過可接受範圍 (MAPE > 50%)

由於機率推估方法無法估算社會和文化因素對生育率的影響，當社會隨時代變遷時，女性生育習慣和計畫也大異其趣，因此推估生育率時，不建議使用過於久遠的資料。此外，根據表3-4結果，在年齡組生育率推估結果不佳的情況下，但總生育型一的總生育率推估誤差卻相對準確，推測各年齡組生育率變化有互補的情況。



(註、點線為區塊拔靴法推估結果、虛線為Lee-Carter模型推估結果)

圖 3-10，臺灣地區年齡組生育率訓練—測試結果

表 3-4、臺灣地區總生育率之訓練—測試誤差

單位：MAPE (%)

資料年數 / 推估年數	總生育率型一	Lee-Carter模型	總生育率型二*
41 / 20	12.01	11.39	15.02
20 / 13	22.56	28.40	14.33

\*不考慮年齡組資料，直接對總生育率資料進行區塊拔靴法推估。

由於年齡組推估結果不理想，因此進一步探討生育率推估方法對於出生人數推估的影響程度，如果出生人數推估誤差在可接受範圍，則表示生育率推估方法對於人口推估的影響有限。由於本文著重在人口推估，若出生人數推估誤差皆控

制在可接受範圍，則選擇操作簡易的推估方法。計算總出生人數的方法有兩種：

一、 $\sum_i$  年齡組生育率 · 年齡組婦女數；

二、總生育率 · 平均單齡婦女數。

首先比較方法一、二計算方式是否存在差異。假設方法一的結果為真，計算出生人數誤差結果如表 3-5，顯示兩種計算方法差異不大。因此未來推估各年度出生人數時，可以採用方法二，一方面可以解決年齡組資料不齊全的問題，也能減少需處理的資料量。接著比較各種計算方法之推估誤差（表 3-6），發現當資料年數少時，總生育率型一之推估誤差增加，而型二法之誤差反而縮小，推測型一法是受到年齡組生育率趨勢不穩定的影響。綜合上述結果，建議人口推估時，採用總生育率型二法，依照過去比例求出年齡組生育率，如此即可取得不錯的出生人數推估值。

表 3-5、比較兩種方法計算出生人數的差異

資料年數 / 推估年數	單位：MAPE (%)		
	總生育率型一	Lee-Carter模型	總生育率型二
41 / 20	3.23	3.39	3.40
20 / 13	2.35	1.85	9.27

表 3-6、臺灣地區出生人口數之訓練—測試誤差

資料年數 / 推估年數	單位：MAPE (%)		
	總生育率型一	Lee-Carter模型	總生育率型二
41 / 20	15.28	10.26	16.36
20 / 13	19.70	24.91	11.52

由於推估時應考量變異大小，確保真實值落在信賴區間中，確保推估的穩定性，因此採用交叉驗證方式，使用訓練集資料20年、測試集資料20年，觀察是否測試資料皆落在信賴區間中。結果發現（圖 3-11），唯Lee-Carter之信賴區間包含全段訓練集資料，而區塊拔靴法的結果似乎高估總生育率下降速度，因此無法掌握龍年生育率的彈升，建議加入專家意見設定生育率下限值，可以使得推估區間

往上抬升。此外，由於設定總生育率下限值為0.75，因此越靠近0.75時，信賴區間有逐漸變小的情況。在此資料年數和推估年數比為1：1，不符合前述2：1的結果，可能有未預期的誤差，因此最後10年的推估結果（2002-2011年）僅作為參考。

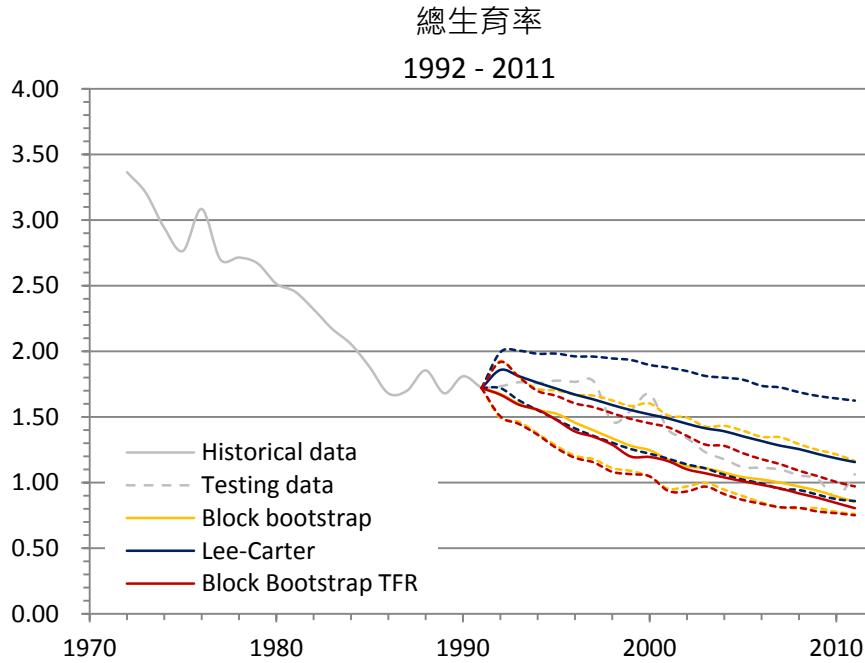


圖 3-11、臺灣總生育率訓練—測試結果之信賴區間

根據上述結果，以1992-2011年、共20年資料推估臺灣地區未來20年總生育率（2012-2031年）。觀察結果發現（圖 3-12），在總生育率下限值為0.75的限制下，推估值約落在0.9-1.2之間，最高不會超過1.6的水準。然而推估結果顯示總生育率下降的速度將趨緩，未來可能出現停滯的情況，是否會彈升還必須考量女性生涯規劃、社會變遷、政府政策、...等其他因素。

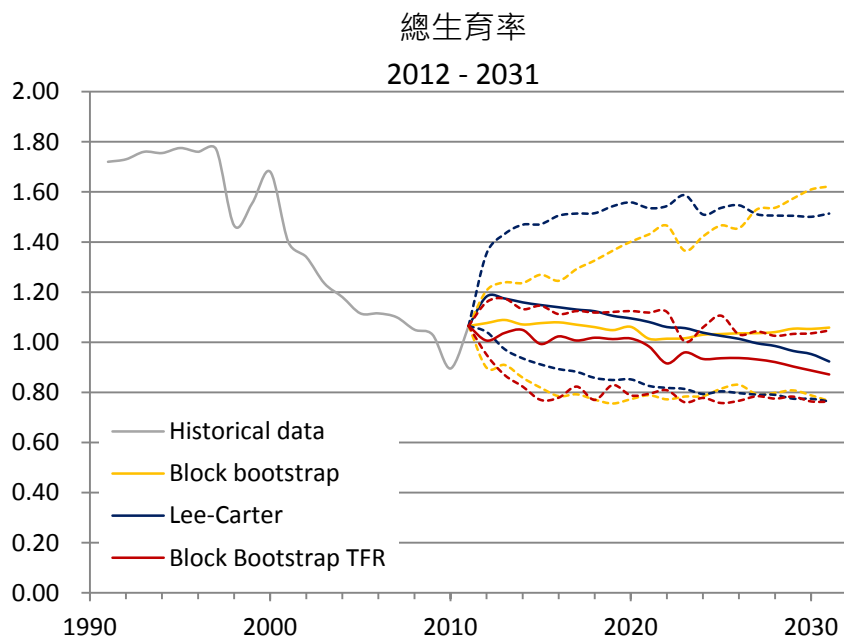


圖 3-12、臺灣總生育率推估結果之信賴區間  
(資料年數為40年、推估年數為20年)

### 第三節 縣市生育率推估

臺灣地區為大區域，以國家為單位，總人口數約兩千三百萬人；縣市為小區域，人口數介於幾千到四百萬人不等。選取縣市（小區域代表）時，依據人口數、自然增加率（出生死亡率）、和社會增加率（淨遷移率）做選擇，五個縣市分別為臺北市、彰化縣、苗栗縣、嘉義縣、和澎湖縣（表 3-7）。苗栗縣和嘉義縣總人口數相當，約五十五萬，然而近十年中，苗栗縣遷移人口少、淨遷移率波動較小，希望藉由兩個縣市推估結果，評估遷移對小區域人口推估的影響。此外，雖然澎湖縣平均社會增加率低，波動卻十分劇烈，可預期人口數推估結果不理想。由於縣市的總生育率震盪程度大（圖 3-13），可預期推估結果的穩定度和準確度不如臺灣地區，而選取的五個縣市中，尤其以嘉義縣和苗栗縣的資料有明顯震盪，於1986-2000年、共15年間，總生育率下降趨勢轉為平坦，且受龍虎年效應影響呈現波動，因此推估生育率時，僅探討總生育率結果，不考慮年齡組生育率。此外，由於過去總生育率變動方向仍一致，唯速度（變動量）不一，近似於本章第二節電腦模擬情境四的假設，因此仍可採用區塊拔靴法推估。



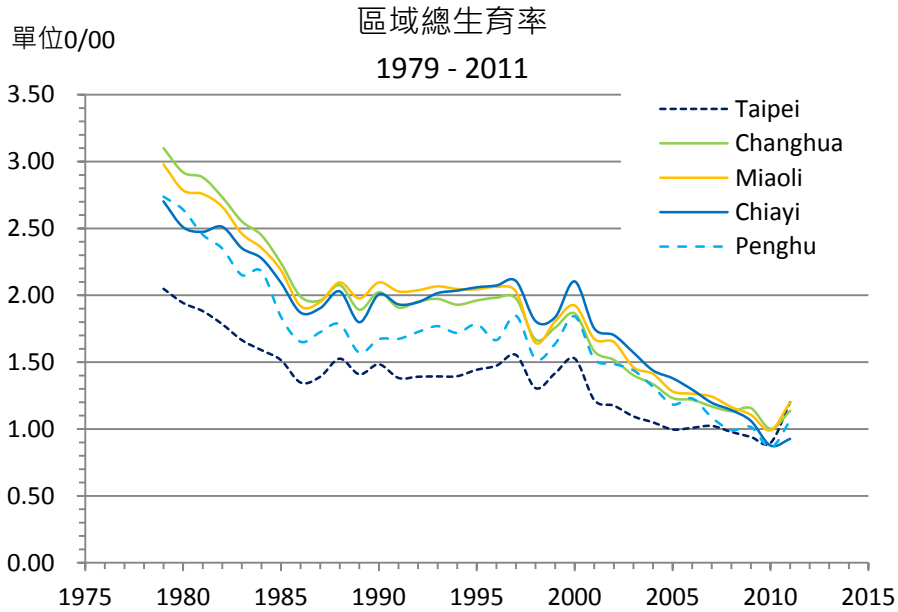


圖 3-13、1979-2011年縣市總生育率

表 3-7、臺灣地區和縣市人口統計資料

	總人口數 (千)	粗出生率 ( $\text{‰}$ )	粗死亡率 ( $\text{‰}$ )	自然增加率 ( $\text{‰}$ )	社會增加率 ( $\text{‰}$ )
臺灣地區	23,225	11.655	5.8405	5.815	0.1675
臺北市	2,651	10.40	5.09	5.31	(6.56)
彰化縣	1,303	12.6445	6.3515	6.293	(4.383)
苗栗縣	562	12.5645	7.108	5.455	(4.469)
嘉義縣	538	12.562	8.1645	4.3985	(5.937)
澎湖縣	97	11.154	8.313	2.8415	(1.953)

註1、資料為1992-2011年平均值

註2、括號表示負值

為了評估最佳的資料年數和推估年數比，同樣地固定資料年數和推估年數總和，改變資料比例計算誤差。結果顯示（圖 3-14），在不同的人口規模、資料年數和推估年數比下，區塊拔靴法推估誤差皆較Lee-Carter模型穩定，因此建議採用區塊拔靴法推估小區域總生育率。此外，發現資料年數差異小時反而誤差比較小，推測是短期間推估對生育率趨勢變化敏感所致，建議參考專家意見，將歷史

生育率分階段探討。由於資料年數和推估年數比為20:13是目前可取得資料之最佳解，因此後續研究皆依據本結果做分析探討。

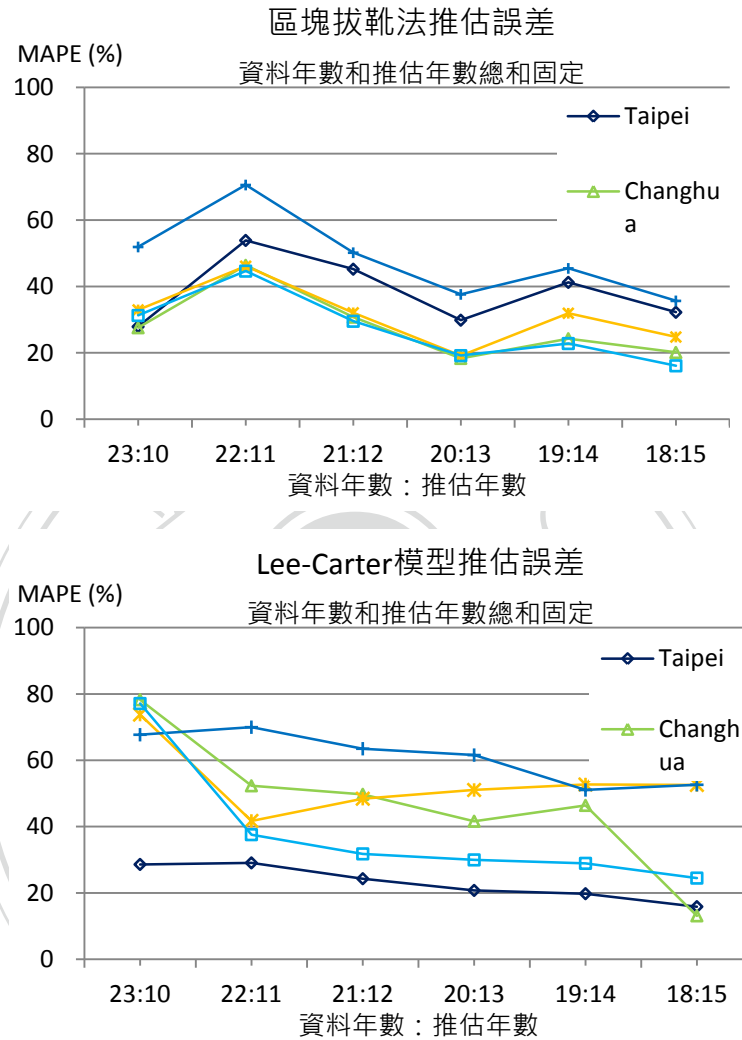


圖 3-14、縣市資料年數和推估年數比之總生育率訓練－測試誤差  
(上圖) 區塊拔靴法；(下圖) Lee-Carter模型

確定了資料年數和推估年數，後續探討縣市總生育率推估之準確度，採用總生育型一和型二方法推估總生育率和出生人數，得到結果以型二法誤差較小 (表 3-8、表 3-9)，其中，臺北市的結果兩種方法差異最大。推究原因，過去十年間臺北市 25-34 歲婦女生育率開始下降，產生系統性變化，因此型一法有高估總生育率之虞，推估結果 30-34 歲年齡組生育率不降反升，25-29 歲生育率下降速度也較真實值緩慢，因此未來做人口推估時，建議採用型二法推估總生育率，再依

據年齡組生育率比例計算年齡組生育率。此外，總生育率方法比年齡組佳的另一原因是推估變異比較小，具有較佳的穩定性。

比較縣市的結果發現，誤差變化和人口規模無明顯相關，儘管澎湖縣總人口數不足十萬，但誤差與彰化縣和苗栗縣相當，而五個縣市的結果以嘉義縣的誤差最大，預期人口推估會受到影響，需進一步探討影響程度。

表 3-8、縣市總生育率之訓練－測試誤差

單位：MAPE (%)

	臺北市	彰化縣	苗栗縣	嘉義縣	澎湖縣
總生育率型一	22.20	18.48	19.41	37.80	18.85
總生育率型二	4.01	12.74	16.28	28.60	16.99

表 3-9、縣市出生人口數之訓練－測試誤差

單位：MAPE (%)

	臺北市	彰化縣	苗栗縣	嘉義縣	澎湖縣
年齡組生育率	30.13 (17.51)	19.07 (9.19)	19.90 (11.04)	36.91 (30.35)	18.53 (10.84)
總生育率型一	28.19 (19.17)	14.12 (12.91)	17.41 (13.17)	33.69 (34.51)	17.62 (13.88)
總生育率	1.75 (1.38)	6.81 (1.71)	4.17 (0.68)	7.14 (1.16)	7.18 (1.16)
總生育率型二	11.60 (6.74)	12.68 (8.18)	16.84 (11.05)	27.42 (25.54)	15.98 (11.70)

註：資料年數20年、推估年數13年

#### 第四節 嬰兒出生性別比推估

人口推估時，由於兩性的人口變化差異大，除了死亡率變化不一致外，女性人口數會影響出生人數，而嬰兒性別比則會影響未來男、女性人口比例，可謂環

環相扣，因此男、女性應該各別探討，而此時嬰兒性別比即扮演舉足輕重的角色。由於臺灣社會過去存在重男輕女的觀念，隨著時代變遷，傳統觀念逐漸改變，雖然觀念的改變對於嬰兒性別比的潛在影響難以估計，但可以確定過去人口推估使用的男女嬰性別比已經不足以反映真實情況。為了反映嬰兒性別比的變化，本節中將嬰兒性別比視為變數，採用區塊拔靴法做推估。

觀察1992-2011年、共20年臺灣地區和五個縣市男女嬰性別比，發現人口數越多，嬰兒性別比震動幅度越小，顯示兩者存在反比關係。由過去趨勢可知（圖 3-15），五個縣市資料平均值約落在1.08~1.1之間，和臺灣地區資料一致，為了避免推估值發生非系統性震盪，僅以臺灣地區資料和推估結果做為參考。

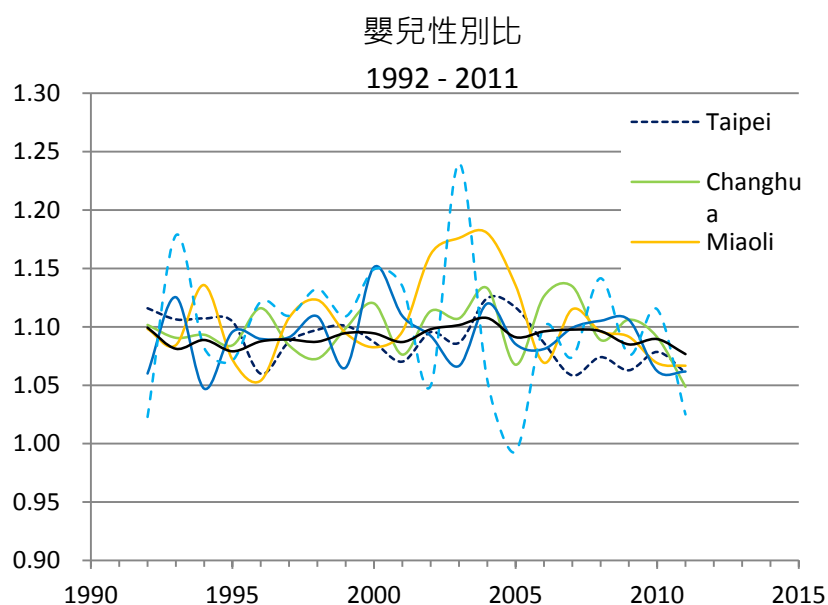
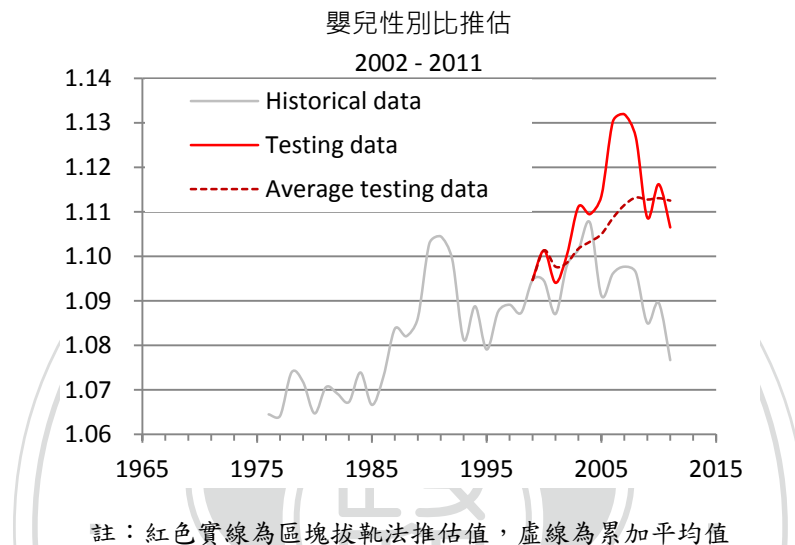


圖 3-15、1992-2011年臺灣地區與五個縣市的嬰兒性別比

首先採用交叉驗證方式檢驗誤差範圍，以1976-1999年、共24年資料為訓練集，2000-2011年、共12年資料為測試集，得推估誤差為1.75%，推估值落在1.09~1.13之間，比真實值區間1.08~1.11偏高。為了改善系統性誤差，採用累加平均值法（圖 3-16），其值約落在1.09~1.11之間，微幅度下修區塊拔靴法推估結果，得推估誤差為1.28%。將推估結果以圖 3-17呈現。以上述方法使用1976-2011年、共36年資料推估2012-2031年、共20年嬰兒性別比，發現區塊拔靴法推估值呈下降趨勢（圖 3-18），甚至出現1.07的結果，回到1980年代的水準。

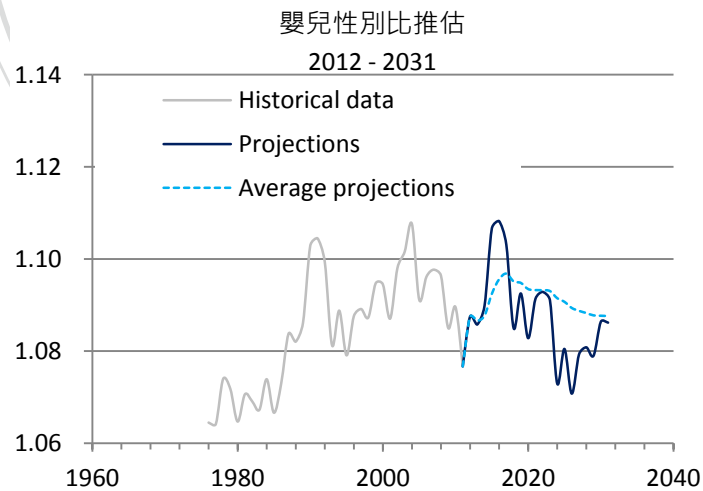
年份	推估值	累加平均值
2000	$V_1$	$V_1$
2001	$V_2$	$(V_1 + V_2) / 2$
...	...	...
2010	$V_{i-1}$	$(V_1 + V_2 + \dots + V_{i-1}) / (i - 1)$
2011	$V_i$	$(V_1 + V_2 + \dots + V_{i-1} + V_i) / i$

圖 3-16、累加平均法示意圖



註：紅色實線為區塊拔靴法推估值，虛線為累加平均值

圖 3-17、臺灣嬰兒性別比訓練—測試推估結果



註：藍色實線為區塊拔靴法推估值，虛線為累加平均值

圖 3-18、臺灣嬰兒性別比推估結果

由推估結果發現，若維持過去的變化趨勢，則未來20年嬰兒性別比呈現波動型態。然而從過去資料發現，嬰兒性別比逐年增加，自1976年的1.06到2004年的

1.11一路攀升，似乎沒有反映傳統重男輕女觀念消弭的現況，推測還有其他潛在因素影響生育性別，譬如飲食、醫療、和自然環境...等等。

## 第五節 死亡率推估

死亡對於幼齡和高齡人口的影響較大，兩者死亡率隨著醫療進步均大幅改善，近年「長壽風險」的議題更引發全世界的關注。由於死亡率對人口數的影響會逐年累積，因此發展一套準確且穩定的死亡率推估方法實為人口推估的關鍵。

根據過去研究模擬的結果（金碩與余清祥 2011），人口數五十萬以上區域，不須經過修勻、區塊長度介於10~15，可以將誤差控制在30~40%之間；人口數二十萬以下區域，透過修勻、區塊長度介於10~15，可以將誤差控制在20%以下，而人口規模越大，誤差對區塊長度的敏感度越小。因此本文推估死亡率時，區塊長度設定為10。此外，該研究歸納出小區域死亡率推估的標準程序：建議資料年數至少15年、推估年數控制在20年以下；修勻則根據大區域和小區域的死亡率比值，依照不同情境選擇Partial SMR法或Whittaker Ratio法（表 3-10）。

表 3-10、死亡率修勻法參照標準

修勻法	Partial SMR	Whittaker Ratio
死亡率比值特性	平坦、具一致性	遞增、遞減、波動

參考過去研究結論，臺灣地區、臺北市、和彰化縣總人口數皆大於一百萬，不需要修勻；苗栗縣、嘉義縣、和澎湖縣總人口數不足一百萬，以臺灣地區作為參考母體（大區域），各年齡組死亡率比例介於1.0~1.5之間，數值平坦沒有遞增、遞減、和波動的情況，採用Partial SMR法。此外，為了評估修勻法的差異，使用Kernel法、Partial SMR法、和Whittaker Ratio法修勻苗栗縣、嘉義縣、和澎湖縣資料，以MAPE評估死亡率修整程度：MAPE越大，修勻幅度越大，且資料越趨於平滑。整體來說，澎湖縣修勻幅度最大。三個縣市的平均修勻誤差如表 3-11。由結果可知，Whittaker Ratio法修勻結果最接近真實值，修勻幅度小；Kernel法和Partial SMR法修勻結果比較平滑，但犧牲較多資料訊息。在此驗證金碩與余

清祥 (2011) 的研究結果，當大區域和小區域死亡率比值差異大時，使用 Whittaker Ratio法能保留較多小區域資料訊息，推估結果相對其他方法準確。

表 3-11、縣市平均死亡率修勻誤差

單位：MAPE (%)

	Kernel	Partial SMR	Whittaker Ratio
男性	22.45	30.70	9.16
女性	23.17	21.68	8.39

同樣以交叉驗證法評估最佳資料年數和推估年數比，固定資料年數和推估年數總和為30年，使用臺灣地區1982-2011年資料。由結果可知 (圖 3-19)，最佳資料年數和推估年數比約為2：1，而1：1的誤差仍控制在30%以下，至少確定30年資料能推估未來30年死亡率，且誤差落在可接受範圍內。

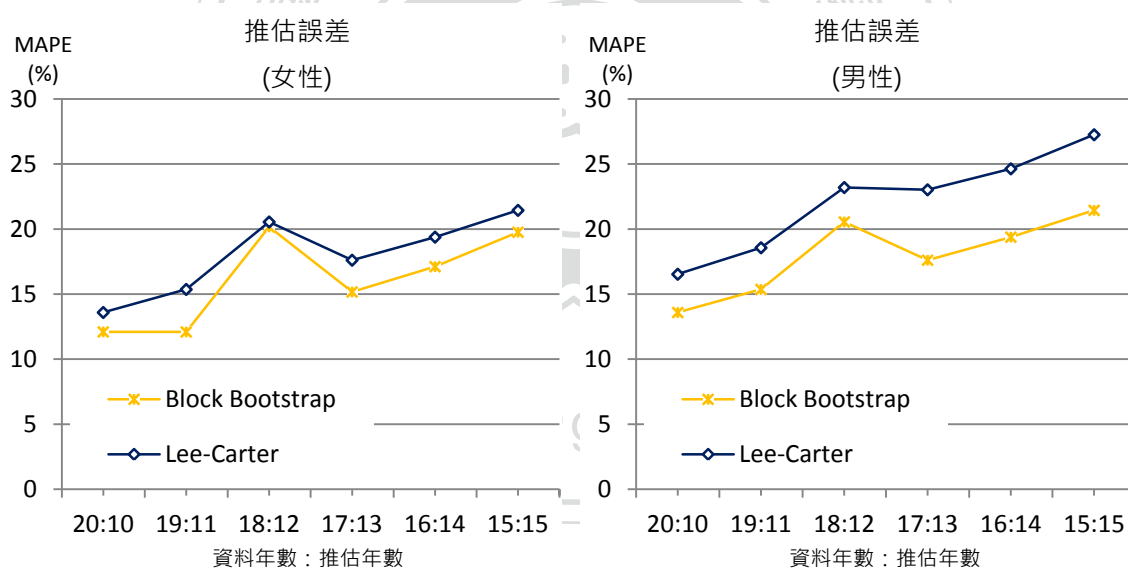


圖 3-19、臺灣地區資料年數和推估年數比之死亡率訓練－測試誤差

將人口結構分成幼齡、工作人口、高齡、高高齡、和零歲人口做死亡率誤差探討 (表 3-12)，發現幼齡的誤差最大，澎湖縣甚至超過100%。觀察澎湖縣死亡率資料和推估結果，發現由於總人口數少，粗死亡率為0的比例高，尤其分布在幼齡組和高高齡組，儘管推估時為0者皆以 $10^{-4}$ 取代，資料波動幅度過大仍為造成誤差的主因。除了幼齡組誤差不理想外，其餘年齡組別誤差大致控制在30%以下

，維持一定水準。此外，修勻似乎無法明顯改善推估誤差，後續作人口推估時會進一步探討修勻的影響。

表 3-12、縣市死亡率之訓練－測試誤差

(資料年數20年、推估年數10年)

單位：MAPE (%)

		台北市	彰化縣	苗栗縣	嘉義縣	澎湖縣
男性	幼齡 (0~14歲)	49.58	<u>63.66</u>	<u>53.68</u>	<u>63.90</u>	<u>534.30</u>
	工作年齡 (15~64歲)	19.04	23.87	18.23	23.73	80.60
	高齡 (65歲+)	16.53	13.75	14.43	13.58	<u>373.65</u>
	高高齡 (85歲+)	27.75	21.30	23.54	19.75	<u>851.19</u>
	零歲	43.02	34.29	22.95	<u>63.57</u>	<u>1,603</u>
	女性	幼齡 (0~14歲)	41.35	<u>55.09</u>	<u>77.43</u>	<u>71.24</u>
工作年齡 (15~64歲)		19.90	24.58	23.41	40.37	<u>104.06</u>
高齡 (65歲+)		11.42	16.71	18.13	14.08	25.96
高高齡 (85歲+)		17.28	25.35	25.89	20.40	30.54
零歲		24.65	24.42	30.80	<u>59.05</u>	<u>2,250</u>

## 第六節 人口數推估

參考前五節的結果與建議，採用人口組成推計法推估人口數，並建立Leslie矩陣（分男性、女性）。採用區塊拔靴法推估臺灣地區嬰兒出生性別比、生育率、和死亡率。其中，生育率推估採用總生育率型二推估法，年齡組生育率將藉由年齡組生育率比例計算；至於死亡率，僅苗栗縣、嘉義縣、和澎湖縣資料進行修勻後推估。採用交叉驗證法，以MAPE表示總人口數推估誤差，藉以評估推估的穩定度和準確度。



根據第一節的結果，維持資料年數和推估年數比 2:1，進行交叉驗證：訓練集為 1982-2001 年資料、共 20 年；測試集為 2002-2011 年資料、共 10 年。結果分析時，可以依照年齡層和推估年度作探討。以年齡層分類時 (表 3-13)，將推估人口數分成幼齡、工作年齡、高齡組、高高齡、和零歲人口計算推估誤差，相較之下，幼齡組結果不穩定、誤差較大，但總體而言，MAPE 皆落在可接受範圍；以推估年度計算誤差時 (圖 3-20)，原本預期誤差會隨年度增加，概念上是越遠的未來不確定性越高，誤差應該會變大，卻發現推估誤差不會隨推估年度增加而增加，而且第 1 年至第 n 年的誤差維持在一定的水準，推測主要是受到生育率推估結果不穩定的影響，其次為遷移。雖然短期預測結果還不錯，但由於經建會要求 50 年預測值，因此嘗試增加推估年數，將資料年數和推估年數比降為 1:1，觀察誤差的變化 (表 3-14)。

此外，推估人口數時，經過測試發現死亡率是否經過修勻對總人口數推估影響不明顯，推測死亡率對短期推估影響不大，而生育率為主要誤差來源，因此可以不修勻即進行人口數推估。

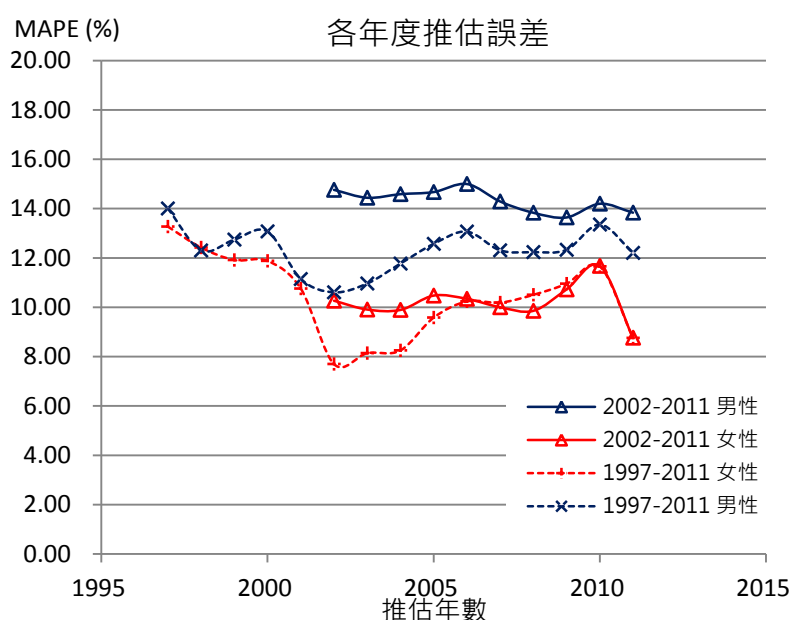


圖 3-20、推估各年度的人口數之訓練—測試誤差

(資料年數20年、推估年數10年)

表 3-13、臺灣地區和縣市人口數之訓練－測試推估誤差

(資料年數20年、推估年數10年)

單位：MAPE (%)

	人口數	臺灣地區	臺北市	彰化縣	苗栗縣	嘉義縣	澎湖縣	
兩性	總人口數	0.75	2.57	3.62	3.44	4.98	1.48	
	幼齡 (0~14歲)	20.04	13.33	19.65	22.14	33.60	20.81	
	工作年齡 (15~64歲)	2.34	1.59	1.30	0.31	1.00	3.30	
	高齡 (65歲+)	8.44	5.38	5.68	3.87	5.62	3.26	
	高高齡 (85歲+)	16.85	9.57	14.77	7.99	10.93	9.73	
	0歲	31.40	16.97	40.72	47.95	<u>64.54</u>	36.38	
	男性	總人口數	1.45	3.66	3.52	3.31	4.81	1.50
	幼齡 (0~14歲)	23.91	13.52	19.44	21.38	33.50	20.94	
	工作年齡 (15~64歲)	2.10	2.65	1.21	0.26	0.79	3.02	
	高齡 (65歲+)	9.26	3.93	6.47	3.79	6.34	3.23	
	高高齡 (85歲+)	21.69	10.55	13.56	8.68	11.97	13.24	
	0歲	31.58	17.30	40.57	47.08	<u>64.76</u>	37.23	
女性	總人口數	0.35	1.55	3.71	3.59	5.16	1.47	
	幼齡 (0~14歲)	16.08	13.13	19.88	22.98	33.71	20.67	
	工作年齡 (15~64歲)	2.58	0.64	1.40	0.43	1.28	3.59	
	高齡 (65歲+)	7.63	6.76	5.00	3.95	5.00	3.29	
	高高齡 (85歲+)	11.96	8.73	15.44	8.54	10.27	8.09	
		0歲	31.21	16.62	40.93	49.04	<u>64.33</u>	35.70

表 3-14、臺灣地區和縣市人口數之訓練－測試推估誤差

(資料年數15年、推估年數15年)

單位：MAPE (%)

	人口數	臺灣地區	臺北市	彰化縣	苗栗縣	嘉義縣	澎湖縣
兩性	總人口數	1.90	4.86	5.35	6.91	8.56	2.42
	幼齡 (0~14歲)	11.69	11.27	21.80	29.94	45.52	9.50
	工作年齡 (15~64歲)	3.99	4.89	3.30	3.37	3.48	3.88
	高齡 (65歲+)	8.62	4.01	7.56	5.01	6.25	7.42
	高高齡 (85歲+)	13.13	7.29	29.41	8.93	12.68	7.09
	0歲	21.93	25.79	36.83	48.73	<u>60.06</u>	16.98
	男性	總人口數	3.01	6.78	4.90	6.34	7.69
幼齡 (0~14歲)		11.01	12.16	22.05	29.44	44.92	10.20
工作年齡 (15~64歲)		5.20	6.86	2.54	2.62	2.61	3.42
高齡 (65歲+)		10.05	3.13	8.40	5.57	8.64	6.15
高高齡 (85歲+)		16.46	14.13	21.52	15.22	19.84	6.32
0歲		16.87	26.47	37.27	48.41	<u>60.72</u>	17.51
女性		總人口數	1.04	2.87	5.59	7.29	9.32
	幼齡 (0~14歲)	12.90	10.93	21.96	30.49	45.62	9.28
	工作年齡 (15~64歲)	3.08	2.76	3.92	4.01	4.53	4.43
	高齡 (65歲+)	8.44	6.77	7.79	5.34	4.96	9.17
	高高齡 (85歲+)	11.88	6.20	34.51	5.65	8.69	12.90
	0歲	27.66	25.05	36.40	49.20	<u>59.36</u>	16.69

## 第四章 結論與建議

本文的貢獻在於確認臺灣現行的人口推估方法能得到穩定且準確的結果，也可以嘗試套用在縣市人口推估，且在資料品質佳的前提下，短期推估不需要對原始資料做修整，即能得到不錯的結果（誤差在可接受範圍）。此外，出生、死亡、和遷移三個人口變項以出生對於短期人口推估的影響最大，而影響生育率推估最主要的原因是無法確切掌握未來的生育趨勢，和區域人口數較無關聯，因此生育率的推估假設至關重要。

### 第一節 結論

人口推估包含三個面向：出生、死亡、遷移，由於遷移的牽涉層面較出生、死亡複雜，其變動未必仿造過去趨勢，因此尚未發展出可行的隨機模型，必須依賴專家意見，根據歷史資料窺知一二，因此本文中不考慮遷移。從出生來看，本文分四個層面探討，前兩個結果較為重要，其中(一)總生育率的推估精確度是否和總人口數有關。為了評估人口規模對誤差的影響，以電腦模擬分析不同生育率情境，發現兩者間無明顯關聯，此發現在後續實證研究中也獲得證實，澎湖縣的零歲人口的推估誤差表現優於苗栗、嘉義兩縣，推測生育率推估表現主要取決於生育率的趨勢變化。(二)資料年數和推估年數是否有最佳組合解。以臺灣地區資料為測試標的，發現區塊拔靴法比較不受年數組合的影響，而Lee-Carter模型大致在年數比例為2:1時有較佳推估結果。此差異可能受到資料權數的影響，由於本研究中Lee-Carter模型權數均為1，表示過去資料不論年代遠近皆一般重要，但這違背近期資料較能反映未來趨勢的常識，以致於Lee-Carter模型的推估誤差反而隨資料使用年數增加。

另外兩個結果包括整體推估或分齡推估，其中(三)總生育率和年齡組生育率推估先後順序是否有差異。探討總生育率和年齡組育齡婦女出生率於推估出生人數時是否有差異，年齡組生育資料因人口數不足而產生震盪，因此生育率推估相對不穩定，雖然計算總生育率後差異縮小，且出生人數推估誤差小，但比起直

接推估總生育率，需要較細部的資料（像是年齡組育齡婦女人口數和生育數），若資料品質不佳，反而增加整體的推估誤差。因此建議直接推估總生育率，再根據年齡組育齡婦女生育率比例，估算年齡組生育率。(四) 出生嬰兒性比推估。嬰兒性別比自1976年的1.06攀升至2004年的1.11，假設每年出生人數20萬人，將造成單一性別約3千人的差異，增加出生人數誤差3%，該誤差對於短年期推估的影響或許不明顯，但長年期推估時建議將性別比納入考量。

從死亡來看，參考過去的研究（金碩與余清祥 2011），對苗栗縣、嘉義縣、和澎湖縣人口數不足一百萬的縣市做死亡率修勻來減少資料震盪。本文的人口推估加入了出生及死亡兩個因素，小區域的縣市推估結果發現，除臺北市以外，其他縣市的幼齡誤差均不理想，驗證先前研究結論人口數需在一百萬以上才能達到穩定的推估結果。其中，澎湖縣男性、女性結果不一致，男性高齡組的推估誤差高，女性則是工作人口的結果不理想，觀察兩性資料，發現女性高齡人口數較男性多、而工作人口卻恰好相反，推測誤差可能是人口數大小所造成，雖然其他縣市也有類似的情況，但其他縣市總人口數至少為澎湖縣五倍以上，因此推估結果相對穩定。

雖然死亡率結果看起來與人口規模無明顯相關，但由於小區域年齡組死亡數少，甚至會發生粗死亡率為0的情況，造成資料劇烈震盪，因此當人口數小於一定規模後，誤差會明顯膨脹，此時資料的插補和適度的修勻有助於縮小誤差。另外，修勻法的選擇和修勻對推估的影響程度需要進一步探討，過去研究也指出，Partial SMR法高度依賴大區域和小區域的死亡率比值，各年齡死亡率比值是否一致為Partial SMR法能否有效降低誤差的衡量標準。根據本文研究結果發現，Partial SMR法對資料的修整程度比Whittaker比值法高，也就是說前者的修勻結果較平滑，但相對也犧牲了原始資料訊息，因此當死亡率比值波動幅度大時（指大區域和小區域死亡率特性不一致），使用Partial SMR法會扭曲小區域的資料特性，造成誤差增加。雖然修勻有助於縮減死亡率推估誤差，不過根據人口推估結果，發現死亡率對短期推估的影響有限，修勻與否並未增加人口推估的準確度和穩定度，建議未來做短年期人口推估時，可以省略修勻步驟。

本文人口推估考慮生育、死亡兩個面向，礙於資料年數有限，僅能做短年期(約15~20年)的人口推估，金碩的死亡率推估研究中建議資料年數至少15年，因此資料年數和推估年數比最多只能推展到1:1，所得誤差和2:1的結果相當，因此以1982-2011年、共30年資料推估未來五個縣市人口數時，能確保30年的推估值，其誤差控制在合理範圍。就生育率來說，由於長年期推估影響年齡層較廣，以推估N年為例，零歲出生人口將影響之後1~N歲的人口數，對於N歲以上人口則不具影響，因此，若想更進一步探討長年期誤差，必須針對生育率做更深入的探討和誤差測試。

本文中，小區域是以縣市層級為單位，為小於國家單位、依地理位置或行政目的而劃分的區域。通常，小區域人口受到出生、死亡、遷徙的影響，然而本文中不考慮遷徙，儘管如此，短期人口推估誤差表現仍良好。此外，本文研究方法也適用小群體規模推估(小群體係指目標族群，如原住民、弱勢團體、...等等)，小群體推估不受地域的限制，只需考量出生和死亡。本文關於「出生」的研究，其應用範圍可以擴大為發生率，舉例來說，若想探討心血管疾病之高危險群，則有高血量症狀者將被歸入該群體中，視為「發生」。

## 第二節 後續研究建議

若進一步探討年齡組生育率推估，建議未來三個研究方向：(一) 可以採用Lee-Carter加權模型，觀察是否結果和區塊拔靴法一致。若兩者結果一致，則表示使用資料年數的遠近對誤差有決定性的影響。(二) 測試區塊拔靴法的權數，可以依據MAPE的變化做權數選擇，當MAPE變動越小，該權數設定越佳。(三) 加入修勻，觀察是否修勻能有效縮小誤差。此外，根據本文結果發現，三個人口推估面向中，以生育率對短期人口推估的影響最為顯著，建議將生育率分成低、中、高推估三種情境，測試不同生育率情境對總人口數的影響，並以機率角度詮釋這三種情境。由於本文電腦模擬採用定常人口假設，建議未來可以使用真實人口資料(如世界人口)，可排除人口單調遞減假設的影響，也較貼近真實情況。

本文的人口推估仍侷限在短期人口推估，礙於資料年數不足，無法以交叉驗證法評估長年期結果，在此提出可能的解決方案，建議更進一步，先以全臺灣資料，嘗試年數比為30：30的預測（或較長期間的推估）。以此想法延伸，參考推估誤差法的概念 (Stoto 1983)，假設使用過去30年資料推估未來30年，並且每5年評估一次，觀察推估結果是否穩定，可判斷推估方法是否存在系統性的誤差。倘若誤差皆落在合理範圍，則可以假設推估值為真，做更長遠的推估（這個想法類似郭孟坤以推估誤差法，提供高、中、低情境機率詮釋）。由於長年期人口推估有其必要，尤其當已開發國家逐漸邁入高齡化社會的今天，確實掌握未來老年人口的發展才能預先擬定政策方向和個人退休生活規劃，提前做好防老準備。

本文探討的人口推估主要採用機率推估法，生育率則加入專家意見，而推估品質倚賴資料品質、資料年數、未來變化和過去趨勢等因素，沒有考量政策、外在環境（經濟、醫療等）的影響。建議未來進行人口推估時，多方參考專家意見，將更能掌握整體人口的變遷趨勢。另外，資料不足可對缺失的資料進行插補、嘗試不同的參數（如生育率下限值）、和納入遷移對人口推估的影響，都可讓推估結果更接近實際變化，並更進一步評估推估結果對於假設和參數的敏感度。

## 參考文獻

### 中文部分

王信忠、金碩、余清祥 (2012)。小區域死亡率推估之研究。 *Journal of Population Studies (TSSCI)*, 45, 121–154.

余清祥 (1997)。修勻：統計在保險的應用。台北市：雙葉書廊。

金碩與余清祥 (2011)。修勻與小區域人口之研究。碩士論文。

徐茂炫、陳建亨、黃彥豪 (2011)。逾百年臺灣縣市人口興衰之轉折：1987-2010。 *人口學刊*, 43, 109–135。

陳政勳與余清祥 (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。

陳寬政 (1997)。臺灣地區人口出生數量的動態模擬。 *人口學刊*, 18, 1–18。

黃意萍與余清祥 (2002)。台灣地區生育率推估方法的研究。 *Journal of Population Studies (TSSCI)*, 25, 145–171.

郭孟坤與余清祥 (2008)。電腦模擬、隨機方法與人口推估的實證研究。 *人口學刊*, 36, 67–98。

### 英文部分

Booth H. (2006). Demographic forecasting: 1980 to 2005 in review. *International Journal of Forecasting*, 22(3), 547–581.

Brown R. L. (1991). Introduction to the Mathematics of Demography, ACTEX Publications, Inc.

Cannan E. (1985). The probability of a cessation of the growth of population in England and Wales during the next century. *The Economic Journal*, 5(20), 505–515.



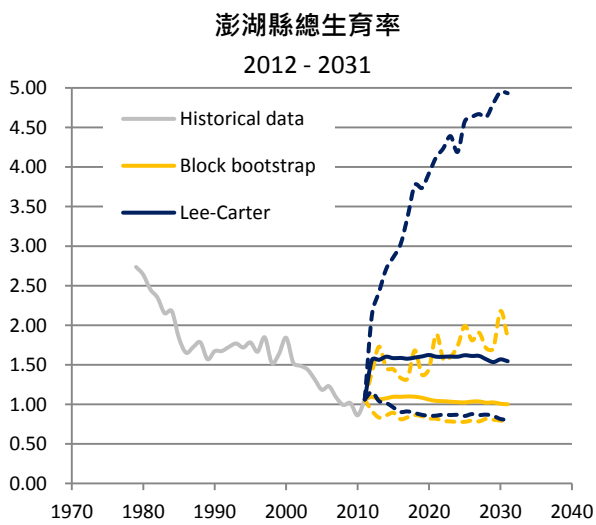
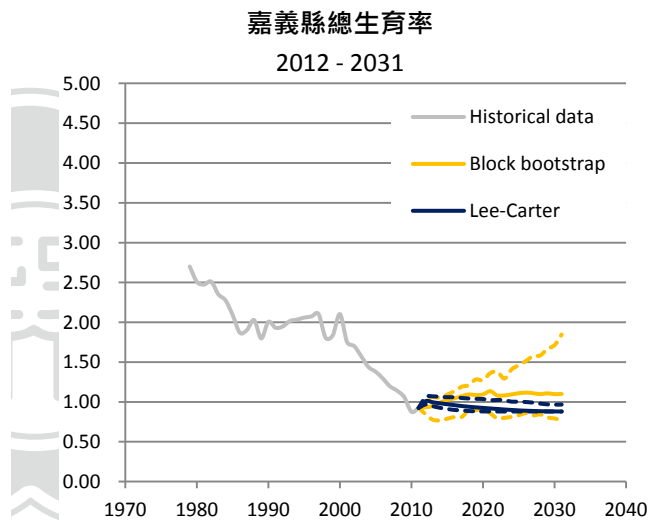
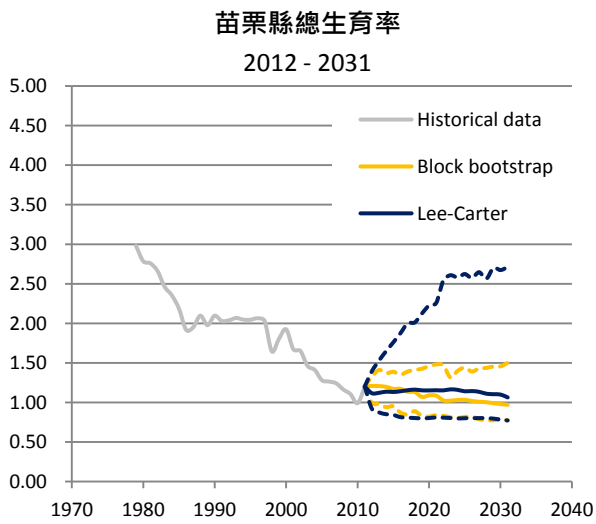
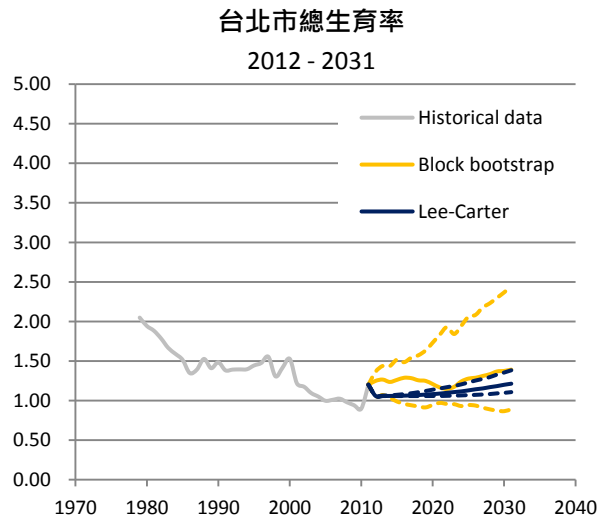
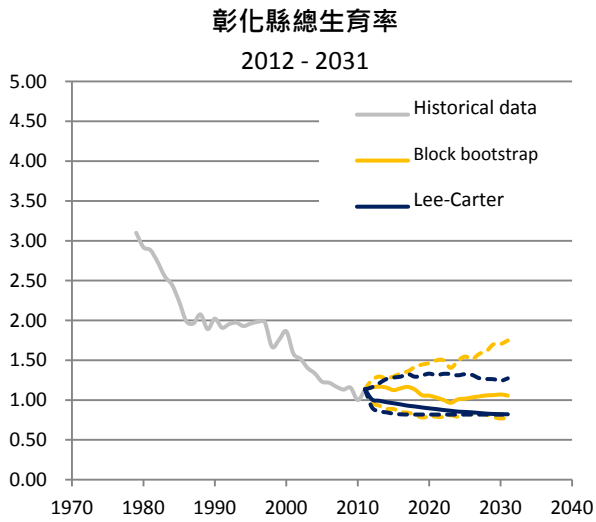
- Denton F. T., Feaver C. H., & Spencer B. G. (2005). Time series analysis and stochastic forecasting an econometric study of mortality and life expectancy. *Journal of Population Economics*, 18(2), 203–227.
- Hall P. (1985). Resampling a coverage pattern. *Stochastic Processes Applications*, 20(2), 231–246.
- Koissi M. C., Shaporo A. F., & Högnäs G. (2006). Evaluation and extending the Lee-Cater model for mortality forecasting: Bootstrap confidence interval. *Insurance: Mathematics and Economics*, 38(1), 1–20.
- Künsch H. R. (1989). The Jackknife and the Bootstrap for general stationary observations. *Annals of Statistics*, 17, 1217–1261.
- Lawson C. L., Hanson R. J. (1974). *Solving least squares problems*. New Jersey: Prentice-Hall, EngleWood Cliffs.
- Lee R. D., Carter L. R. (1992). Modeling and forecasting US mortality. *Journal of the American Statistical Association*, 87(419), 659–671.
- Lee R. D. (2000). The Lee-Carter method for forecasting mortality, with various extensions and applications. *North American Actuarial Journal*, 4(1), 80–93.
- Lee W. (2003). A partial SMR approach to smoothing age-specific rates. *Annals of Epidemiology*, 13(2), 89–99.
- Leslie P. H. (1945). On the use of matrices in certain population dynamics. *Biometrika*, 33, 183–212.
- Leslie P. H. (1948). Some further notes on the use of matrices in population mathematics. *Biometrika*, 35, 213–245.
- Lewis C. D. (1982). *Industrial and business forecasting methods : a practical guide to exponential smoothing and curve fitting*. London: Butterworth Scientific.
- Li N., Lee R., & Tuljapurkar S. (2004). Using the Lee-Carter method to forecast mortality for populations with limited data. *International Statistical Review*, 72 (1), 19–36.
- Myers G. C. (1990). Demography of Aging. *Handbook of Aging and the Social Science*, Third Edition, 19–44.

Stoto M. A. (1983). The Accuracy of Population Projections. *Journal of the American Statistical Association* ,78, 13-20.

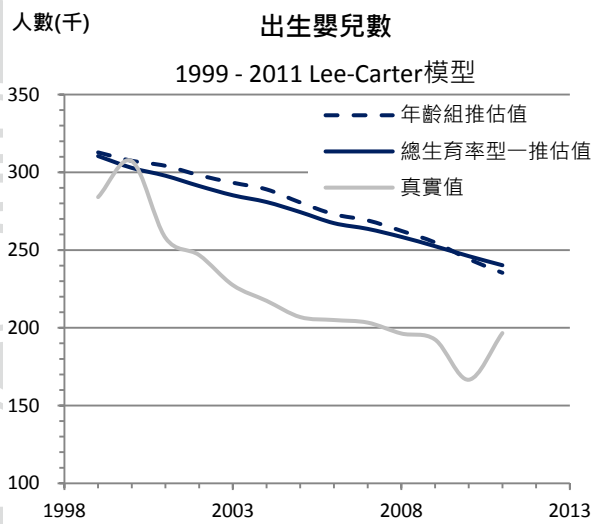
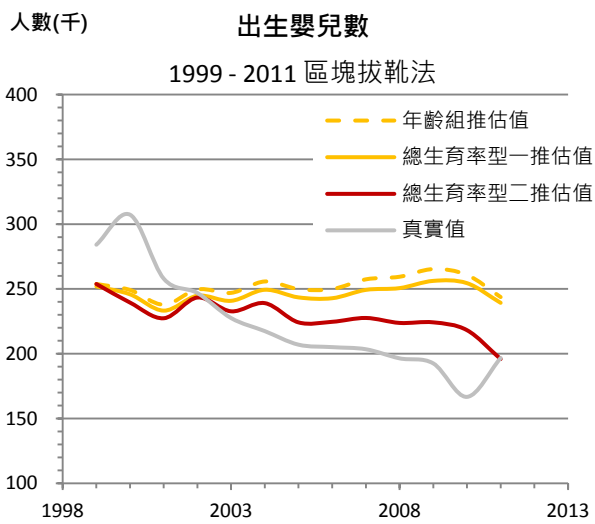
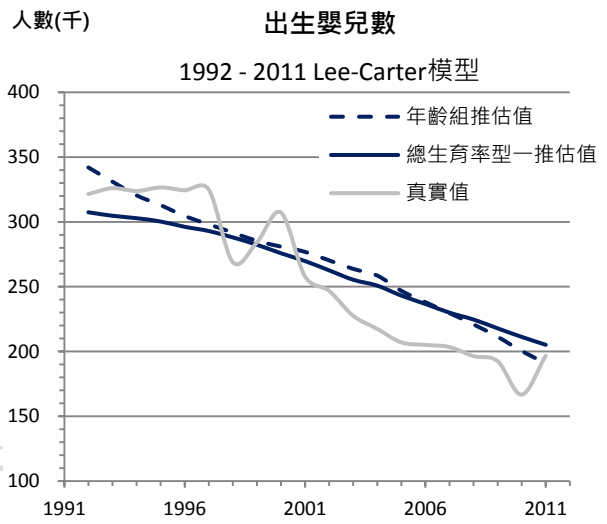
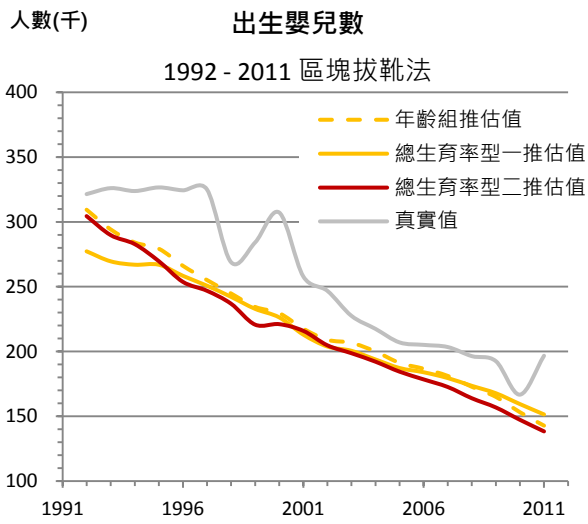
Whelpton P. K. (1936). An empirical method for calculating future population. *Journal of the American Statistical Association*, 31, 457–473.

Wilson T., Rees P. (2005). Recent developments in population projection methodology: a review. *Population, Space and Place*, 19(1), 1–126





附圖 3-1、縣市總生育率推估結果之信賴區間



附圖 3-2、臺灣地區出生人數推估值和真實值

附表 3- 1、2012-2031年臺灣地區育齡婦女總生育率低、中、高推估結果

年份	區塊拔靴法			Lee-Carter模型		
	低推估	中推估	高推估	低推估	中推估	高推估
2012	0.90	1.077	1.21	1.04	1.183	1.35
2013	0.91	1.089	1.24	0.97	1.175	1.43
2014	0.86	1.071	1.24	0.94	1.159	1.47
2015	0.82	1.076	1.27	0.91	1.149	1.47
2016	0.79	1.079	1.25	0.89	1.140	1.51
2017	0.79	1.070	1.29	0.88	1.130	1.51
2018	0.77	1.060	1.33	0.86	1.124	1.52
2019	0.76	1.048	1.37	0.85	1.106	1.54
2020	0.77	1.061	1.40	0.85	1.095	1.56
2021	0.79	1.014	1.43	0.83	1.081	1.54
2022	0.77	1.014	1.46	0.82	1.061	1.54
2023	0.78	1.016	1.36	0.81	1.057	1.59
2024	0.79	1.030	1.42	0.79	1.038	1.51
2025	0.81	1.033	1.47	0.80	1.026	1.54
2026	0.83	1.036	1.46	0.80	1.014	1.55
2027	0.79	1.036	1.53	0.79	0.996	1.51
2028	0.80	1.040	1.54	0.79	0.985	1.51
2029	0.81	1.054	1.57	0.77	0.966	1.50
2030	0.79	1.053	1.61	0.77	0.953	1.50
2031	0.77	1.058	1.62	0.76	0.923	1.51

附表 3-2、2012-2031年縣市育齡婦女總生育率區塊拔靴法推估結果

年份	臺北市	彰化縣	苗栗縣	嘉義縣	澎湖縣
2012	1.25	1.16	1.21	0.93	1.10
2013	1.27	1.17	1.21	0.95	1.07
2014	1.24	1.16	1.20	0.99	1.08
2015	1.26	1.13	1.17	1.02	1.10
2016	1.29	1.15	1.17	1.05	1.10
2017	1.28	1.16	1.13	1.07	1.10
2018	1.26	1.13	1.13	1.09	1.10
2019	1.25	1.06	1.07	1.09	1.08
2020	1.21	1.06	1.09	1.09	1.06
2021	1.17	1.03	1.09	1.14	1.04
2022	1.15	1.00	1.03	1.08	1.04
2023	1.17	0.97	1.02	1.08	1.03
2024	1.24	1.01	1.03	1.09	1.03
2025	1.28	1.02	1.03	1.11	1.02
2026	1.29	1.03	1.02	1.12	1.03
2027	1.31	1.05	1.01	1.11	1.04
2028	1.33	1.06	1.00	1.10	1.02
2029	1.37	1.06	0.99	1.11	1.02
2030	1.37	1.07	0.98	1.10	1.01
2031	1.39	1.06	0.97	1.10	1.00