

年輪變動比用於小區域人口推估的探討

A Study of Applying Cohort Component Ratio to Small Population Projection

余清祥、王信忠、陳譽騰

摘要

人口推估常用於制訂國家發展方針的依據，根據歷史數據及政策方向預測全國人口數及年齡結構，作為政府研擬政策及分配資源的依據。年輪組成法為我國官方的人口推估方法，需要詳細生育、死亡、遷移等資料，很難直接套用至縣市層級及以下之人口推估。小區域推估可採 Hamilton and Perry（簡稱 HP 法）的年輪變動比（Cohort Change Ratio；簡稱 CCR），本文以臺灣各級行政區域為研究區域，驗證 HP 法是否能用於推估臺灣縣市、鄉鎮市區層級的人口及結構。本文根據 1975~2019 年臺灣全國、縣市、鄉鎮市區的人口紀錄，透過區塊拔靴法與歷年平均法估計 CCR，並運用回測法得出之 MAPE 誤差作為評估依據。研究發現 HP 法可用於小區域人口，15 年之內短期推估與年齡組成法相當，但推估誤差未必隨著人口數減少而增加。另外，推估時建議採用單齡推估（五齡組誤差較大），基底年數與地區特性有關，推估年數建議不超過 15 年。

關鍵詞：小區域人口推估、年輪變動比、電腦模擬、回測法、遷移

A Study of Applying Cohort Component Ratio to Small Population Projection

Abstract

Population policy is essential to national development and population projection is often used to provide insightful suggestions for planning government policies and allocating public resources. The cohort component method is currently used in projecting the national level population in Taiwan, but this method requires detailed population data, such as the records of births, deaths, and migration. It is difficult to acquire these data in county and township level and we need to seek an alternative method for the sub-national population projection. In this study, we evaluate whether the Cohort Change Ratio (CCR), proposed by Hamilton and Perry, is suitable for the sub-national population projection via backcasting the historical data in Taiwan (1975-2019). In specific, we are interested in compare the projecting accuracy of CCR and cohort component methods, and we found that the CCR method can be used for short-term projection (e.g., 15 years or less) for county and township levels. Also, we projection errors are smaller using the single-age data (comparing to 5-age group data), and there are little differences in using block bootstrap or weighted average to predict the future CCR.

Keywords: Small Area Estimation, Cohort Change Ratio, Simulation, Backcast, Migration

一、緒論

人是國家組成的最重要元素，其數量及素質是國家競爭力的關鍵，瞭解人口現況及趨勢方能研擬適當政策、規劃發展方向、善用有限資源。21 世紀的全球人口特徵之一為老化，無論歐美先進國家，或是開發中、低度開發國家，都將面臨壽命延長，造成全國老年人口增加的挑戰。亞洲國家因為少子化、死亡率下降等因素，人口老化速度比歐美國家更快。美國、德國由高齡化社會步入高齡社會（高齡人口比例超過 14%），分別經過了 73 年與 40 年，我國僅花了 24 年就邁入高齡社會。鑑於政策規劃等需求，國家發展委員會（簡稱國發會，前身為經濟建設委員會）每隔 2~3 年推估未來全國人數及結構，作為產官學各界的參考，推估範圍大多以全臺灣地區、或北中南東等範圍較大的區域為目標，目前尚未公布直轄市、縣市等之區域層級（Sub-national）人口推估結果。

然而，臺灣幅員雖然不大，但各縣市的人口結構、產業特性等非常不同，全國人口推估未必可直接套用至縣市層級，尤其面對資源的有限性及問題的時效性，無論工作教育、醫療照護、生活規劃等都需全盤考量，以滿足各年齡人口的需求。以 2020 年年底為例，各縣市高齡人口（65 歲以上人口）比例有非常大的差別，全國平均約 16.1%，其中嘉義縣的 20.3% 和新竹市的 12.1% 明顯不同，前者對高齡需求的壓力較為迫切。相對而言，新北市的高齡及幼年人口都低於全國平均，2020 年年底勞動人口較多（15~64 歲人口比例 72.7%），市民可能較為專注於成家就業等需求，而臺北市的高齡及幼年人口高於全國平均，對於老年及幼齡的社會福利需求較多。有鑑於此，縣市等地方政府需要根據各地特色的推估結果，以制定合宜的公共政策及有效地運用社會資源，而這種人口數較少的推估也稱為小區域人口推估（Small Area Population Projection）。

和全國人口推估不同，除了人口數較少而有較大震盪外，小區域人口推估也需考量資料是否可以取得，包括「資料取得性」和「資料品質」等因素。臺灣過去通常使用年輪組成法（Cohort Component Method）推估全國人口結構，需要人口、生育、死亡、遷移等詳細數值，這些人口資料在全國層級相當完備，但縣市等地方層級未必有紀錄，更不必提及鄉鎮市區層級。以縣市層級為例，人口數及年齡結構、生育、死亡等資料，可查閱「臺閩地區人口統計」之類的內政部官方資料，但遷移資料很少以不同性別、年齡的方式出現，官方紀錄至多只有淨遷移人數，更遑論以遷入、遷出的細部資料（如：遷出地）。如果想要獲得遷移的性別、年齡別資料，只能依據人口平衡

公式反推而得。

由於缺乏詳細紀錄，無法透過遷移模型取得未來人口遷移的假設，或是直接套用年輪組成法推估未來人數及年齡結構，因此小區域推估很少套用全國推估模型。鑑於人口資料的限制，Hamilton and Perry（簡稱 HP 法，Hamilton and Perry 1962）認為只需各年度、男女性各年齡人數，藉由各年齡的人數變化捕捉出生、死亡、遷移的特性，即可獲得不錯的推估結果。但過去有關 HP 法的實證分析多以普查年度為基礎，驗證未來 5 年或 10 年的人口推估結果，並沒有將其應用於一般的小區域，提供各年度男女性、年齡別的人口數。因此本文在於探討 HP 法的適用時機，以臺灣全國、縣市、鄉鎮市區三種行政層級為對象，並將推估時間單位放寬至每一年，分成「人口數」、「推估年數」（Projection Horizon）、「基底年數」（Baseline Year）三個面向探討 HP 法，藉由交叉驗證（Cross Validation）評估推估誤差及可行性。

本文的章節安排如下：第二節介紹人口推估方法、參數估計方法等相關文獻及本文的研究方法；第三節介紹本文使用的臺灣人口資料，以及透過生育、死亡、遷移等資料，檢視是否可依據 HP 法取得穩定的人口推估。第四節呈現臺灣、縣市層級與鄉鎮市區層級的推估結果，並找出最佳的推估方法和推估參數設定（如：推估年數、基底年數），比較 HP 法及年輪組成法的推估誤差，評估 HP 法的實用可行性。最後一節整理本文的主要研究結果，並提供小區域人口推估的建議。

二、研究方法與實證資料

早期的人口推估大多不加入解釋變數，採用數學模式預估未來的總人數（及年齡結構），著名的馬爾薩斯《人口論》提到幾何級數（如人數）、算術級數（如食物等資源）的成長屬於數學模式，常用的羅吉士曲線（Logistic Curve）也是其中一種。這類型方法通常只提供人口總數的預測，很少提供詳細年齡別的人口結構，而且其原理頗為接近外插法（Extrapolation），通常用於短期預測，但中長期的人口推估結果多半誤差較大。我國政府使用的年輪組成法由 Cannan（1895）提出，加入出生、死亡、遷移三個人口要素（Vital Statistics），最早應用於英格蘭與威爾斯（England and Wales）的人口推估，之後經過 Whelpton（1928）等人的推廣後，現在廣泛使用於世界各國（包括聯合國）。

年輪組成法主要依據人口平衡公式：

$$P(t + 1) = P(t) + B(t) - D(t) + I(t) - E(t) \quad (2-1)$$

其中 $P(t)$ 、 $B(t)$ 、 $D(t)$ 、 $I(t)$ 、 $E(t)$ 五個變數分別代表第 t 年的人口數、出生數、死亡數、移入數及移出數。第 t 年人口數為該年年初的人口數，而基年人口數（Jump-off Population）則是 $t = 0$ 的人口數；第 t 年的出生數及死亡數發生在 $[t, t + 1)$ ，移入數及移出數也是指 $[t, t + 1)$ 的遷移人數。年齡和年份一樣，第 x 歲代表年齡介於 $[x, x + 1)$ 的人。另外，婦女的生育年齡 x 歲在臺灣通常訂為滿 15 歲至滿 50 歲之前，表示為 $15 \leq x < 50 < \omega$ ， ω 代表婦女生育年齡的上限。

在封閉人口（Closed Population）的假設下，或是移入移出兩者淨值為 0（即 $I(t) - E(t) = 0$ ），在第 $t + 1$ 年的人口數可以使用 Leslie 矩陣（Leslie Matrix），藉由馬可夫鏈（Markov Chain）計算而得：

$$\tilde{P}(t + 1) = M(t) \times \tilde{P}(t) \quad (2-2)$$

其中 $\tilde{P}(t)$ 表示各年齡層在第 t 年所組成的人口數向量， $M(t)$ 為第 t 年各年齡層的死亡率及生育率組成的矩陣（Leslie Matrix）。另外，（2-2）式在計算時會將男、女兩性分開計算，其中每年的出生男嬰、女嬰人數會以歷年的性比例（Sex Ratio）決定，再代入 Leslie 矩陣得出男性、女性的未來人數及年齡結構。其中，各國通常假設男女嬰的出生比例為 1.05 : 1，亞洲國家通常有重男輕女的傾向，因此男嬰的出生比例會高於全球平均，臺灣曾有一段時間男女嬰比例大於 1.10，近年有下降的趨勢。

如果推估母體並非封閉人口，或是移入、移出人數兩者不平衡，也就是社會增加（Social Increase）人數不為 0，則在（2-2）式的等號右邊加上第 t 年的淨遷移（Net Immigration）人數組成的向量，仍舊透過 Leslie 矩陣推估未來人數。像是美國、愛爾蘭等之類的國家，無法忽略國際淨遷移人數（= $I(t) - E(t)$ ）對全國人口的影響，套用（2-2）式可能會出現嚴重的高估或低估（郭孟坤、余清祥 2008）。實務上各國的國際遷移人數通常不多（相對於全國人口），尤其是我國、日本之類的海島型國家，但縣市層級的區域人口推估需考量國內遷移（Domestic Migration），內部遷移人數多半相當可觀，我們將於第三節說明臺灣國內遷移的現況。其他關於年輪組成法使用細節及相關討論，可參考 Alho and Spencer（2005）的討論。

年輪組成法將人口變化分成自然增加、社會增加，使得推估的面向簡化成「生育、死亡」及「遷入、遷出」，然而相關資料能否取得、品質可信度、紀錄格式是否一致等因素，限制了年輪組成法的實用性。由於人口遷移等資料取得不易，Hamilton and Perry 在 1962 年提出年輪變動比（Cohort Change Ratio；CCR），將生育、死亡、遷移三個因素全部融入（2-2）式，透過相鄰兩個年度同一組人數的變化，描述三個因素的

合成效果。例如： x 歲人口經過一年後變成 $x+1$ 歲，因此比值

$$R_x(t) = P_{x+1}(t+1) / P_x(t) \quad (2-3)$$

包括了 x 歲存活至 $x+1$ 歲的資訊，以及遷入、遷出造成 x 歲的人數變化。對於 0 歲人口而言，類似 Leslie 矩陣的作法，則是計算零歲（嬰兒）人數與育齡女性人數（15~49 歲人數）的比值，或是

$$R_0(t) = P_0(t) / \left(\sum_{x=15}^{49} P_x^f(t) \right) \quad (2-4)$$

以 CCR 推估的想法類似年齡組成法，後者推估時只參照存活機率，而 HP 法則是透過 CCR 將遷移併入生育、存活中，使用時通常會先檢視遷移活動，確定各年齡 CCR 值是否在不同年度有較大震盪。

Smith and Tayman (2003) 使用佛羅里達州 (Florida) 各地區的年齡層資料，以 1990 和 2000 為測試點年份進行人口推估，並評估未來 10 年及 20 年的推估誤差，發現 HP 法準確度接近年輪組成法。Swanson and Tayman (2017) 以美國四個州為研究目標，隨機選取一個人口普查區 (Census Tract)，在五齡組人口、每十年預測一次的設定下，透過回測法 (Backcast) 測試 1920~2010 年人口資料，亦即彌補了 Smith and Tayman (2003) 較少測試點的問題，結果也是 HP 法可用於小區域人口，但需留意推估年數超過十年的準確度。上述實證分析多以普查年度為基礎，推估年數也限於未來十年（或五年），本文主旨在於探討 HP 法的適用時機，以臺灣全國、縣市、鄉鎮市區三種行政層級為對象，並將推估時間單位放寬至每一年，分成「人口數」、「推估年數」、「基底年數」三個面向探討 HP 法是否可行。

HP 法透過年輪變動比 $R_x(t)$ 推估第 t 年 x 歲人數，Hamilton and Perry (1962) 原先目標為短時間推估，因此未來 CCR 值設定為定值，通常令為最近幾年 CCR 的加權平均數。例如：如果歷史資料年數為十五年（記為第 $t_0 - 14, t_0 - 13, \dots, t_0$ 年）、推估年數為十年（記為第 $t_0 + 1, t_0 + 2, \dots, t_0 + 10$ 年），計算得出過去十五年各年齡 CCR 平均數（記為 \bar{R}_x ），並假設未來十年各年齡 CCR 等於這些平均數，則第 $t_0 + k$ 年嬰兒人數等

於 $\bar{R}_0 \times \sum_{x=15}^{49} P_x^f(t_0 + k)$ ，而 $x+k$ 歲人數等於 $P_{x+k}(t_0 + k) = P_x(t_0) \times \prod_{i=0}^{k-1} \bar{R}_{x+i}$ ，其中 $1 \leq k \leq 10$ 。

我們認為未來 CCR 數值可透過平均數以外的方式取得，而且未必是定值，像是電腦模擬的區塊拔靴法 (Block Bootstrap) 或是時間數列 (Time Series) 等統計模型。本文選

擇區塊拔靴法，比較平均數、電腦模擬何者較適於臺灣的小區域人口推估。

區塊拔靴法是拔靴法（Bootstrap）的延伸，而拔靴法最早由 Efron（1979）提出應用於獨立的樣本，藉由已知的樣本中，進行重複抽樣的方式建立一組模擬母體的新樣本。區塊拔靴法最早由 Hall（1985）提出，繼承了拔靴法的精神，Denton et al.（2005）將之用於推估加拿大的平均餘命，陳政勳、余清祥（2010）應用於縣市層級的小區域人口推估，兩者都有不錯的效果。區塊抽取的權重常見的包括均勻或線性加權（Uniform）與線性加權（Linear Weight），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，由於區塊拔靴法一次抽取多年的變動幅度，也保留了資料間的相關性。

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，則待執行區塊抽取之變動率矩陣為：

$$\begin{aligned} \Delta \log Y &= [\log Y_2 - \log Y_1, \log Y_3 - \log Y_2, \dots, \log Y_n - \log Y_{n-1}]^T \\ &= \left[\log \left(\frac{Y_2}{Y_1} \right), \log \left(\frac{Y_3}{Y_2} \right), \dots, \log \left(\frac{Y_n}{Y_{n-1}} \right) \right]^T \end{aligned} \quad (2.5)$$

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。

本文使用臺灣全國、縣市、鄉鎮市區使用 1975~2019 年共 45 年男女性及各年齡人口資料，資料來源為內政部戶政司與內政部統計處。推估的準確率則透過回測法衡量，作法類似交叉驗證（Cross Validation）：先將資料分成訓練（Training）集、測試（Testing）集，根據訓練集的資料決定未來 CCR 值，再求出測試集的人口推估值，並以測試集的誤差為評斷依據。例如：以 1975~1989 年的資料推估 1990~1994 年（五年）、1990~1999（十年），因為共有 1975~2019 年（45 年）資料，因此可以得到 26 個五年及 21 個十年的測試集之推估誤差。推估誤差則採平均絕對百分比誤差 MAPE（Mean Absolute Percentage Error），比較推估值、實際值之間的差異，以數學式表示如下：

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right| \times 100\% \quad (2-6)$$

其中 Y_t 為實際值， \hat{Y}_t 為推估值。根據 Lewis (1982) 依 MAPE 的推估能力分級，以 0~10% 為高準確度、10~20% 為良好、20~50% 為合理的預測界限。

另外，本文也引進死亡標準比 (Standardized Mortality Ratio; SMR) 的概念比較各地的人口特性。SMR 常用於流行病學，比較不同地區的死亡率，由於死亡率與年齡有關，單從粗死亡率 (死亡人數/總人數) 很難判斷哪些地區的死亡率較高，因此會以某個大母體為比較標準，計算出相對於大母體的死亡比值，比值小 (大) 於 1 表示整體死亡狀況較佳 (差)，公式如下：

$$\begin{aligned} \text{標準化死亡比(SMR)} &= \frac{\text{觀察死亡人數}}{\text{期望死亡人數}} \\ &= \frac{\text{總死亡人數}}{\sum(\text{各組年中人口數} \times \text{各組標準人口死亡率})} \end{aligned}$$

這個計算公式也可用於生育、遷移，將「死亡率」改成「生育率」及「遷移率」，即可定義「生育標準比」及「遷移標準比」，作為比較各地區生育、遷移的依據。

我們將於下一節分析臺灣歷年全國、縣市、鄉鎮市區的 CCR 數值，檢視這些數值的震盪幅度與人口數、不同時間的關係，確定以加權平均、區塊拔靴法預估 CCR 未來的趨勢是否適宜。第四節則探討在不同的「人口數」、「推估年數」、「基底年數」的考量下，透過臺灣縣市、鄉鎮市區的實際資料，驗證以 CCR 作為人口推估工具需要注意的事項，提供小區域人口推估的實證參考；另外，我們也以年輪組成法、HP 法推估臺北市等五個縣市的人口 (人數介於 10~400 萬)，評估 HP 法可否作為年輪組成法的替代可能。

三、年輪變動比的特性

本文使用內政部 1975 年至 2019 年 (45 年) 臺灣各級行政區域 (全國、縣市、鄉鎮市區) 的人口資料，包括性別及年齡別的人數、死亡數、生育數，而年齡可分為五齡及單齡兩種，但鄉鎮市區層級的資料較為不足，僅有五齡組的紀錄。其中內政部紀錄最高年齡 (Ultimate Age) 隨著時間而增加，例如：內政部人口資料的最高年齡組最早是 65 歲以上 (記為 65+)，上升至 1975 年的 90 歲以上 (90+)，以及 1992 年的 100 歲以上 (100+)，為了兼顧資料的一致性，年齡層選擇的範圍由 0 至 89 歲：五齡組格式為 0~4 歲、5~9 歲、...、85~89 歲，單齡組格式為 0 歲、1 歲、2 歲、...、87 歲、88 歲、89 歲。

為了探究 HP 法的實用性，尤其是能否用於人數較少的小區域，本文選擇全國（臺灣）、縣市（5 個縣市：新北市、臺北市、彰化縣、基隆市、澎湖縣）與鄉鎮市區（15 個鄉鎮市區）共三個層級的觀察值，檢視 CCR 在不同人口數之下的特性。臺灣人口數接近 2400 萬，而上述五個縣市的人口數大約為 400 萬、260 萬、120 萬、40 萬及 10 萬：新北市人口約為臺北市人口的 1.5 倍、臺北市約為彰化縣人口的 2 倍、彰化縣約為基隆市人口的 3 倍、基隆市約為澎湖縣人口的 3.5 倍。鄉鎮市區的人數為 40 萬、10 萬、5 萬、2 萬及 1 萬，其中選擇 40 萬與 10 萬人口數是為了與基隆市與澎湖縣兩個縣市比較，其餘更小的人口數則是為了確認 HP 法是否可以用於更小的區域。本文選取的全國、縣市、鄉鎮市區及其相關人口資料，參閱附錄表 A-1 及表 A-2。

CCR 為 HP 法的精髓，其中 0 歲 CCR 反映零歲人口的資訊，包括總生育率、零歲人口的存活率及遷移，非 0 歲 CCR 則包含各年齡人口的死亡及遷移，我們先檢視各年齡層的 CCR 震盪範圍，作為評估 HP 法是否可行的依據。如果歷年各年齡 CCR 數值都很穩定，特性接近時間數列的平穩（Stationary）狀態，則根據經驗值求出之 CCR 預估值，無論透過加權平均數、區塊拔靴法，應當都可獲得準確的人口推估。由於鄉鎮市區較多，本節僅以人數較多的全國及五個縣市為例，說明生育、死亡、遷移與 CCR 的關係，以及 CCR 的震盪幅度及其特性，作為後續使用 HP 法的參考，鄉鎮市區層級的推估評估在下一節以推估準確率驗證。

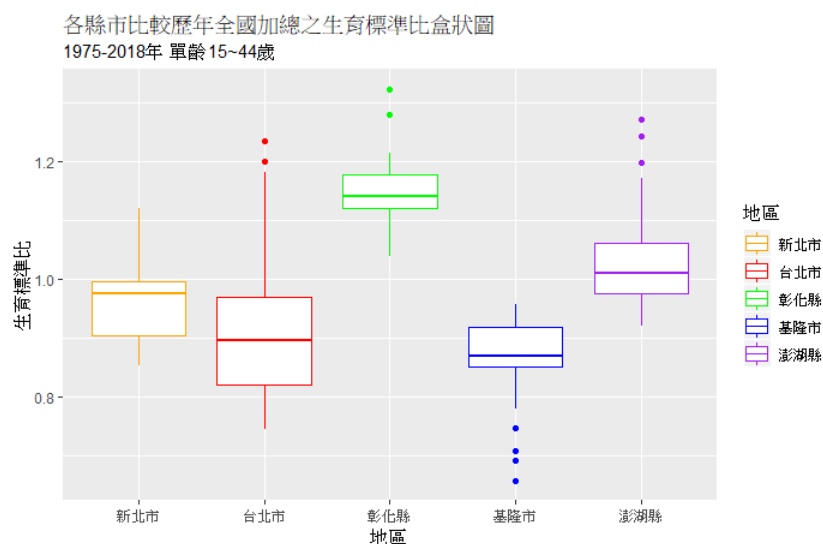


圖 1 臺灣、五個縣市歷年生育標準比分布（1975~2019）

首先分析歷年全臺灣、新北市、臺北市、彰化縣、基隆市和澎湖縣生育率與零歲

CCR 的關係。我們可仿造上述死亡標準比定義生育標準比（生育率 SMR），可大略得知各地區生育率的大小及變化，其中生育率 SMR 的標準母體為歷年全臺灣人口加總，各年齡生育率為該年齡歷年生育率的平均。這種計算方式可以一窺各地區相對於全國的生育率數值，由圖 1 可知彰化縣生育率較高（比全國平均高 15%）、而且震盪幅度較小，而臺北市（震盪較大）及基隆市生育率較低，大約比全國平均少 10%。CCR 本身比較連續兩年間的人數變化，由於零歲人口的死亡、遷移比例較低，零歲 CCR 代表兩年間的生育率變化，可視為生育率的穩定性，全國及五個縣市（圖 2）以新北市、彰化縣的震盪幅度最大，而臺北市最小，這個結果與圖 1 的生育率趨勢不同。綜合圖 1 及圖 2，無論是各年度生育率（令為 Y_t ）、或是兩年間的生育率變化（令為 $\Delta Y_t = Y_{t+1} - Y_t$ ）似乎與人口數沒有明顯關係，與各縣市的人口特質有關，或許這也是生育率較難預測的主因之一。由於歷年出生數的變化非常大，像是 2019 年臺灣出生數僅為 1976 年的 41.8%，若以零歲 CCR 作為推估生育率（或出生數）的替代方法，當然也會有不小的震盪（圖 2）。預期零歲人口的 CCR 推估誤差將是各年齡最大者，我們將在第四節說明推估結果。

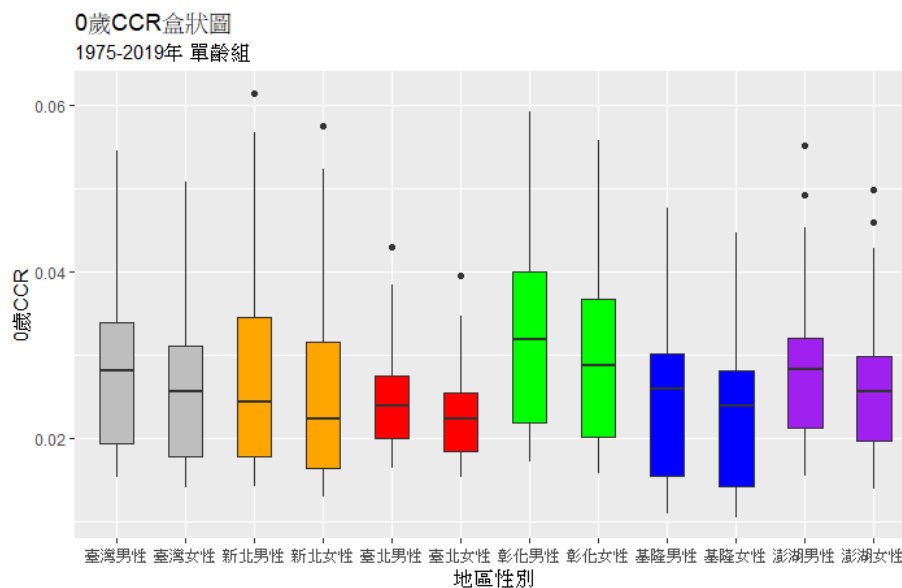


圖 2 臺灣、五個縣市歷年零歲 CCR 分布（1975~2019）

接著觀察單齡 CCR 分布，評估 HP 法推估 1~89 歲的可能。由於年齡數較多，因此僅以五齡組中間年齡的 CCR 為代表，例如：5~9 歲取 7 歲、10~14 歲取 12 歲，以此類推。圖 3 為臺灣 5~89 歲的歷年 CCR 箱型圖，65 歲以下的分布都很集中，65 歲之

後全距隨年齡上升。而 CCR 數值在 55 歲前都接近 1，代表各年齡死亡率不高（小於 0.01），而且國際淨遷移人數不多；CCR 數值則隨年齡快速下降，在 85 歲之後的 CCR 大約在 0.9 附近，因為高齡國際淨遷移人數很接近零，亦即 CCR 數值大約與各年齡的存活機率相當。由全臺灣人口的經驗資料判斷，歷年 CCR 的趨勢相當穩定，但震盪幅度隨年齡上升，猜測與高齡人口較少有關，我們繼續分析五個縣市的 CCR 經驗資料。

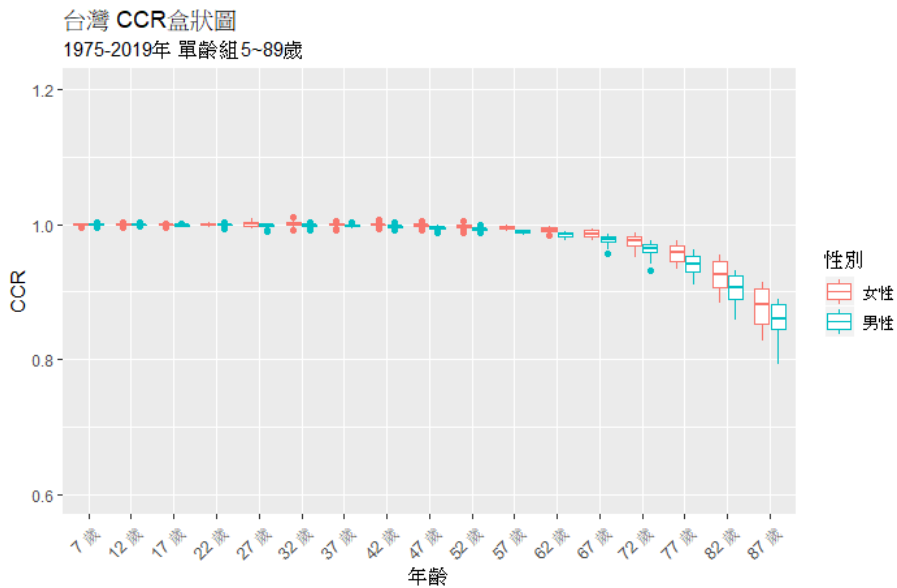


圖 3 臺灣歷年 5~89 歲 CCR 分布 (1975~2019 年)

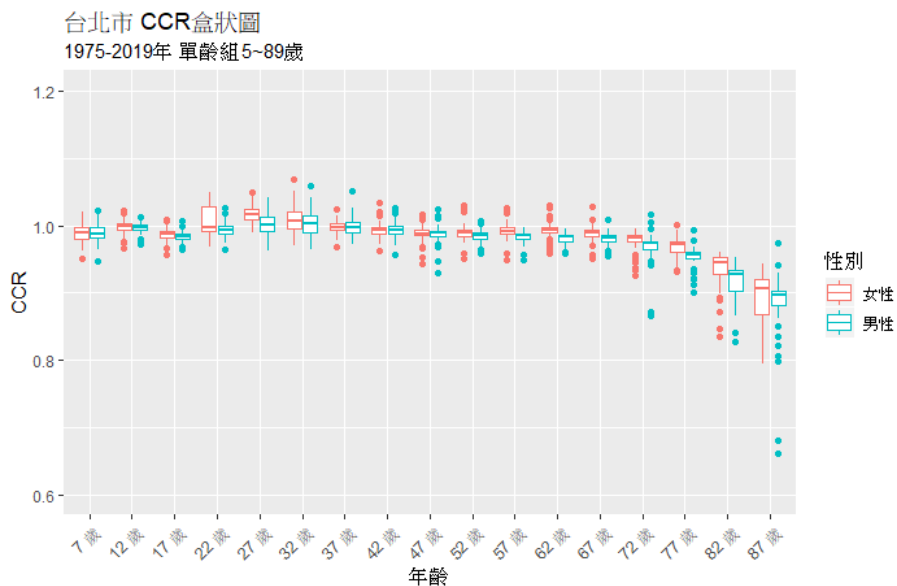


圖 4 臺北市歷年 5~89 歲 CCR 分布 (1975~2019 年)

進一步檢視縣市層級的 CCR 趨勢，限於篇幅，僅以臺北市（260 萬人）及彰化縣

(120 萬人) 為例說明各年齡 CCR 的特性，同時可推測該地區的人口推估誤差。雖然臺北市人口較多，但 CCR 分布範圍反而較廣，男性或女性皆是如此(圖 4)，CCR 的震盪幅度高於人口較少的彰化縣(圖 5)，由於臺北市各年齡死亡率大致小於彰化縣同齡者，臺北市的 CCR 震盪大顯示遷移活動較頻繁。例如：兩個縣市在 20~39 歲的數值差異頗大，臺北市在這些年齡的 CCR 平均略大於 1，彰化縣則是略小於 1。由於 CCR 在零歲以外反映死亡、遷移的結果， $CCR > 1$ 代表淨遷移人數為正且大於死亡人數；相反地，因為彰化縣 20~39 歲的單齡死亡率不大於萬分之三， $CCR < 1$ 代表淨遷移人數為負且為數不少。不過，藉由 CCR 數值僅能判斷淨遷移人數，無法區隔遷入來源為國際遷移或是國內遷移，猜測臺北市因就業、福利等因素，形成較大的人口拉力(Pull)，而彰化縣則有較大的推力(Push)。

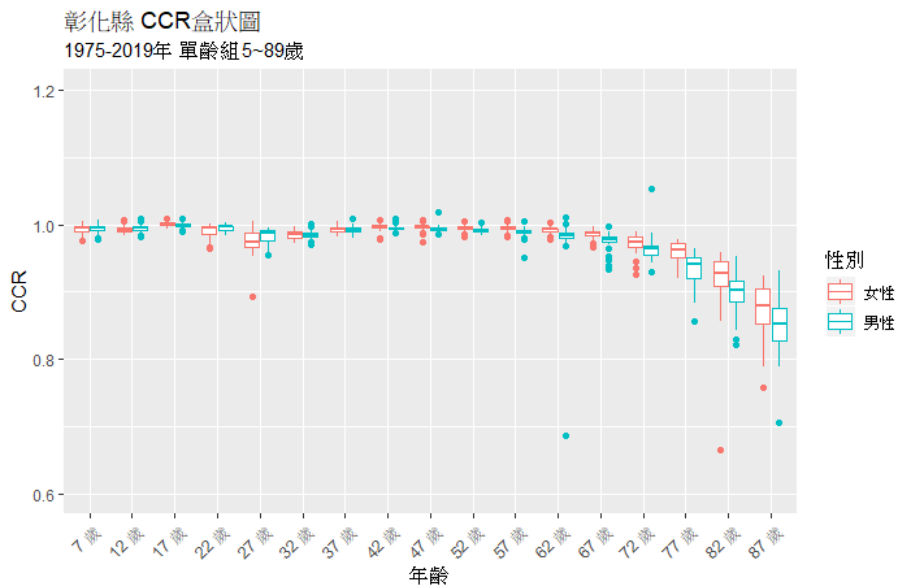


圖 5 彰化縣歷年 5~89 歲 CCR 分布 (1975~2019 年)

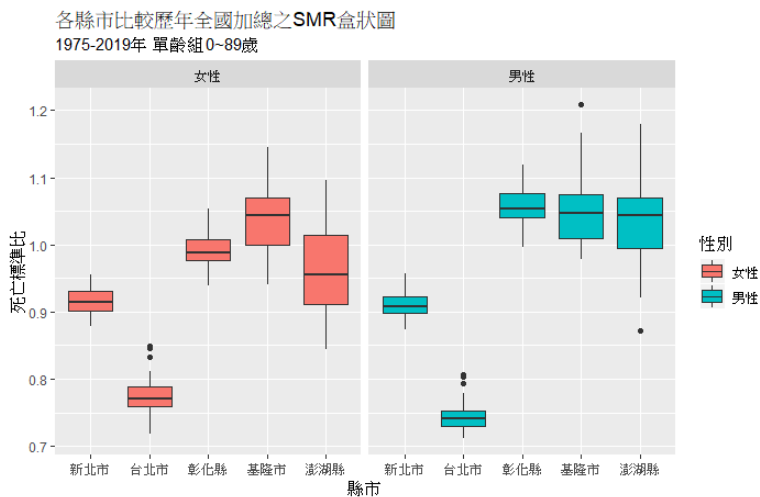


圖 6 臺灣、五個縣市歷年死亡率標準比分布（1975~2019）

從上述圖 1 及圖 2，生育率 SMR 與零歲 CCR 提供不同角度的生育率資訊，同理，由於臺灣縣市層級的死亡率相當穩定（圖 6 死亡標準比），我們也可定義遷移標準比，以 1~89 歲 CCR 與遷移率 SMR 評估各地區的遷移活動。圖 7 為臺灣、五個縣市的遷移率 SMR，參考母體為 1975~2019 年全臺灣人數加總，其中 SMR 反映（國內及國際）遷移的歷年趨勢，明顯可知澎湖縣、臺北市遷移活動較活躍，彰化縣遷移相對較少。綜合上述生育、死亡、遷移的結果，推估誤差（及 CCR 震盪幅度）未必隨縣市人數而上升（或下降），與各縣市的人口特性有關，其中遷移及生育的差異較大，各縣市死亡率的變化幅度較為接近。

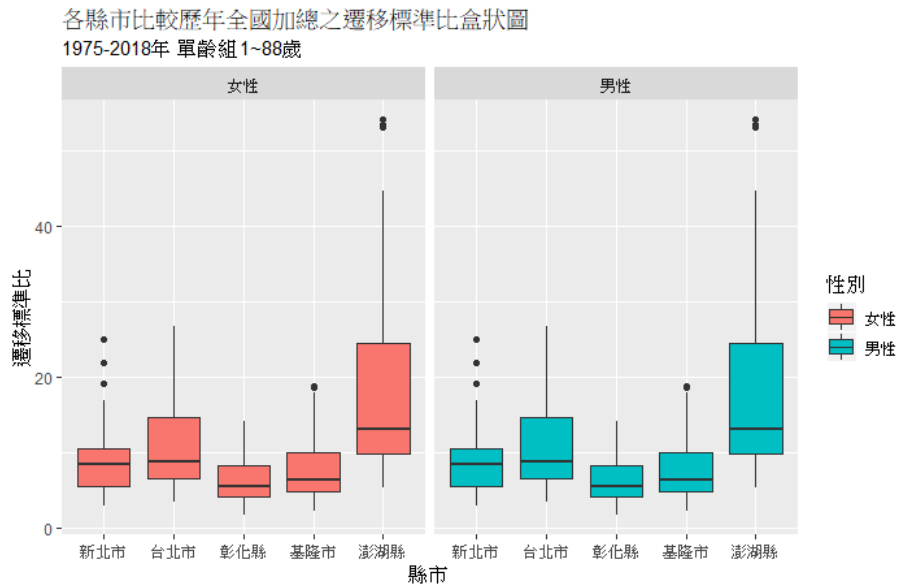


圖 7 臺灣、五個縣市歷年遷移率標準比分布（1975~2019）

四、HP 法的縣市、鄉鎮市區推估評估

本節以全臺灣、縣市、鄉鎮市區層級地區為研究對象，透過類似交叉驗證（Cross Validation）的方式，將資料分成訓練集（Training Data）、測試集（Testing Data），分別當作基底年數（Baseline Period）和推估年數（Projection Horizon），根據訓練集的資料推估測試集的人口數及結構，並以回測法評估 HP 法用於全國及各地區的推估可行性。例如：基底年數 15 年推估未來 10 年，就是以 1975~1989 年（15 年）資料推估 1990~1999 年（10 年）、1976~1990 年推估 1991~2000 年、...、以此類推。如

此可得 21 組推估未來 10 年的結果，為了避免推估不同起始年度（或稱基年，Jump-off Year）的影響，最後以所有推估組合的平均誤差作為衡量標準。

表 1 HP 法 15 年推估 10 年的單齡誤差（0~89 歲、1975~2019 年）

MAPE	性別	區塊拔靴 線性加權	區塊拔靴 倒數加權	歷年平均 均勻加權	歷年平均 線性加權
臺灣	男	3.72	3.23	4.35	3.43
	女	3.98	3.47	4.64	3.68
新北市	男	5.95	5.36	7.26	5.60
	女	6.18	5.61	7.46	5.80
臺北市	男	6.84	6.25	6.94	5.89
	女	6.96	6.44	6.82	5.99
彰化縣	男	4.50	3.99	5.13	4.09
	女	4.52	3.98	5.30	4.16
基隆市	男	6.84	6.09	7.39	6.01
	女	6.62	6.02	7.30	6.00
澎湖縣	男	7.51	7.21	7.98	7.00
	女	7.17	7.09	8.05	6.86

註：加陰影者為各種方法中誤差最小。

先討論全國及縣市層級的 HP 法推估結果。表 1 為 1975~2019 年的單齡人口推估誤差，區塊拔靴法考量線性（均勻）及倒數加權（註：區塊長度為 5），歷年平均則是均勻及線性（倒數）加權，各方法的推估誤差都小於 10%，可歸類為準確的推估，其中倒數加權區塊拔靴法、歷年線性平均的效果較佳，以下討論只顯示這兩種推估方法的結果。因為 CCR 是 HP 法的關鍵角色，在此呈現推估誤差與人口數的對數、CCR 變異數的關係圖（圖 8，歷年平均線性加權），其中 X 軸（水平軸）為人口數對數值、Y 軸為推估誤差、圓圈為 CCR 變異數。全國及彰化縣的推估誤差較小，與前一節提到的歷年生育、遷移數值有較小震盪吻合，大致上推估誤差隨人數增加而下降，但並不是絕對地遞降，這與相關文獻的研究結果頗為接近（Smith and Sincich 1990；王信忠等人 2012）。另外，推估誤差也與 CCR 變異數有正向關係，CCR 變異數為圖中泡泡的大小。圖 8 由統計軟體 R 的泡泡圖（Bubble Plot）繪製而成，屬於散佈圖（Scatterplot）的一種，將第三個變數的資訊加入圖形中，其中泡泡大小（或半徑）為第三個變數（本文為 CCR 變異數）的數值。泡泡圖近年常用於顯現三個變數的資訊，像是世界各國的平均餘命、國內生產毛額（GDP；Gross Domestic Production）、

人口數¹。

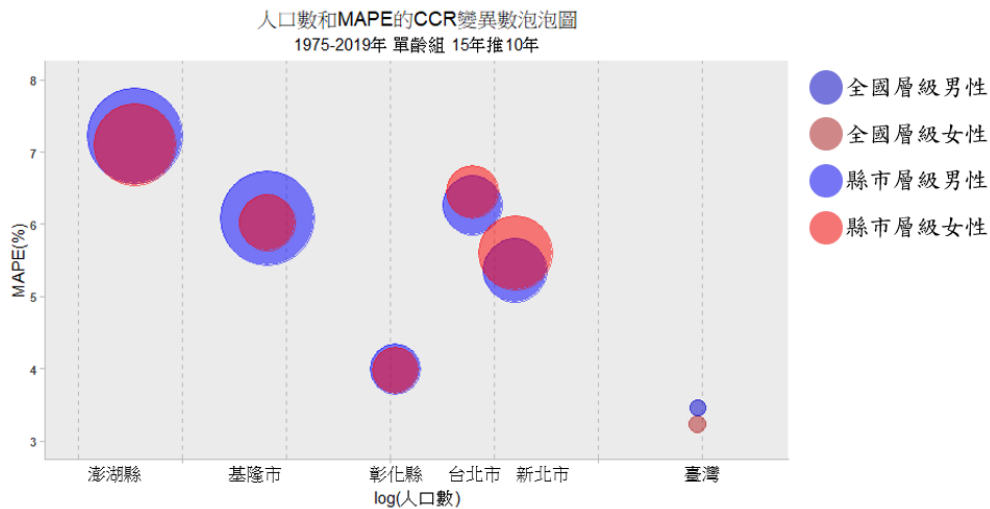


圖 8 推估誤差與人口數、單齡 CCR 變異數的關係圖（泡泡圖）

資料相依（Data Dependent）經常出現在實證分析，許多模型和方法都有這種特性，因此套用 HP 法之類的方法前，通常先檢測模型假設是否成立，因此知名統計學家 John W. Tukey 提議先對資料進行探索性分析（Exploratory Data Analysis, EDA），確定哪些分析方法合適，後面這個步驟稱為驗證性資料分析（Confirmatory Data Analysis, CDA）。本文的分析也是根據這個原則，先檢視 CCR 的變化幅度，接著再套入 HP 法，如果 CCR 的震盪幅度較大且不規則，HP 法的推估誤差通常較大。圖 8 結果顯示 CCR 變異數較大者（泡泡較大），推估誤差（Y 軸）也較大，其中誤差未必與人數有絕對關係，像是臺灣總人數最多、誤差也最小，但人數少於雙北的彰化縣，其推估誤差卻小於雙北。這些結果印證了推估準確性受到資料相依的影響。

由於 HP 法原先用於五齡組、每隔五年的推估（Swanson and Tayman, 2017），本文將其擴大至每一年度單齡人口，在此仿造上述縣市單齡情境設定，驗證 HP 法是否也適用於五齡組人口推估。表 2 為五個選定縣市的單齡、五齡組推估誤差，限於篇幅只顯示倒數加權區塊拔靴法、歷年平均線性加權，結果顯示 HP 法更適合用於單齡人口推估，單齡推估誤差約為五齡組的 1/4~1/10。猜測單齡使用詳細的 CCR 資料，因此較能捕捉各年齡的人數變化，但五齡組的資料較為粗略，導致

¹ <https://www.data-to-viz.com/story/ThreeNum.html>

MAPE 誤差大量增加。人數較多的新北市、臺北市，單齡和五齡組的誤差差異反而更大（又以女性誤差最大），前一節分析得知生育、死亡、遷移最為穩定的彰化縣，五齡組推估誤差最小，MAPE 介於 20~30%。根據五個縣市的推估誤差，如果可取得歷年單齡人口資料，建議以單齡 CCR 作為推估依據，因此以下討論只考量單齡人口推估。

表 2 HP 法 15 年推估 10 年單齡、五齡組誤差（0~89 歲、1975~2019 年）

MAPE		單齡		五齡組	
		區塊拔靴 倒數加權	歷年平均 線性加權	區塊拔靴 倒數加權	歷年平均 線性加權
新北市	男性	5.36	5.60	58.12	57.80
	女性	5.61	5.80	73.34	73.04
臺北市	男性	6.25	5.89	38.09	35.03
	女性	6.44	5.99	50.02	46.80
彰化縣	男性	3.99	4.09	24.53	24.73
	女性	3.98	4.16	24.91	25.07
基隆市	男性	6.09	6.01	27.45	27.21
	女性	6.02	6.00	32.19	32.13
澎湖縣	男性	7.21	7.00	32.87	32.33
	女性	7.09	6.86	29.64	29.21

過去研究通常使用年輪組成法（以下簡稱 CC 法）進行人口推估，然而 CC 法使用時需要詳細的人口資料，根據人口平衡公式需要人口年齡分配、出生數、死亡數、遷入與遷出數，而 HP 法僅需歷年各年齡人數。在此討論如果資料品質及數量不是問題，可同時使用 CC 法及 HP 法，何者能夠提供較準確的人口推估，由於鄉鎮市區及以下行政區域缺乏詳細人口紀錄，因此僅能以縣市為比較對象，而且目標也限於未來十年的短期推估。為了簡化討論過程，我們挑選臺北市、苗栗縣與澎湖縣三個縣市作為研究區域，人口數依序為 260 萬、50 萬及 10 萬，以兼顧不同人口規模；估計方法也是倒數加權區塊拔靴法、歷年平均線性加權，以過去 15 年資料推估未來 10 年人口。表 3 為 HP 法及 CC 法的推估誤差比較，兩者都有非常高的準確性，人口數較多的臺北市 CC 法較佳，人口數較少的苗栗縣與澎湖縣則是 HP 法較佳，猜測推估結果與縣市人口特性有關（亦即 Data Dependent）。我們也嘗試其他縣市層級以上的短期推估，發現 HP 法和 CC 法在不同行政區域、性別、年齡的推估誤差很接近，沒有明顯的系統化差異，兩者在 0~9 歲的推估誤

差較大（尤其是零歲）。猜測相對於出生數、死亡數，臺灣縣市層級以上的淨遷移人數沒有很大的波動，因此兩種推估方法的差異不大。換言之，如果目標為全國、縣市層級的短期人口推估，HP 法可作為 CC 法的替代選擇。

表 3 HP 法及 CC 法 15 年推估 10 年單齡誤差（0~89 歲、1975~2019 年）

MAPE		臺北市		苗栗縣		澎湖縣	
		男	女	男	女	男	女
HP 法	區塊拔靴 倒數加權	6.33	6.55	4.03	4.46	7.27	7.13
	歷年平均 線性加權	5.96	6.06	4.08	4.49	6.99	6.88
CC 法	區塊拔靴 倒數加權	5.31	5.04	4.92	5.67	8.29	7.82
	歷年平均 線性加權	5.14	4.85	4.98	5.71	8.07	7.76

註：加陰影者為各種方法中誤差最小。

接著討論 HP 法的基底年數、推估年數的選擇，因為可能的參數很多，僅以歷年平均線性加權為代表。在此基底年數的考量範圍為 2~20 年，預測年數為 5 年~20 年，由於 HP 法當初設定為 20 年之內的中短期推估，加上本文實證資料僅有 1975~2019 年，因此不考慮年數 20 年以上的推估。另外，根據我們的實證模擬，女性推估誤差高於男性，而且限於篇幅，只選擇人數差異頗大的臺北市（260 萬）、澎湖縣（10 萬）兩者的女性說明結果（圖 9 及圖 10）。兩個縣市的推估誤差都不算大，人數較少的澎湖縣女性誤差大致都高於臺北市女性，較佳的基底年數落於 5 年附近，而推估誤差會隨著推估年數而增加，20 年之內的中短期推估都可獲得不錯的結果。

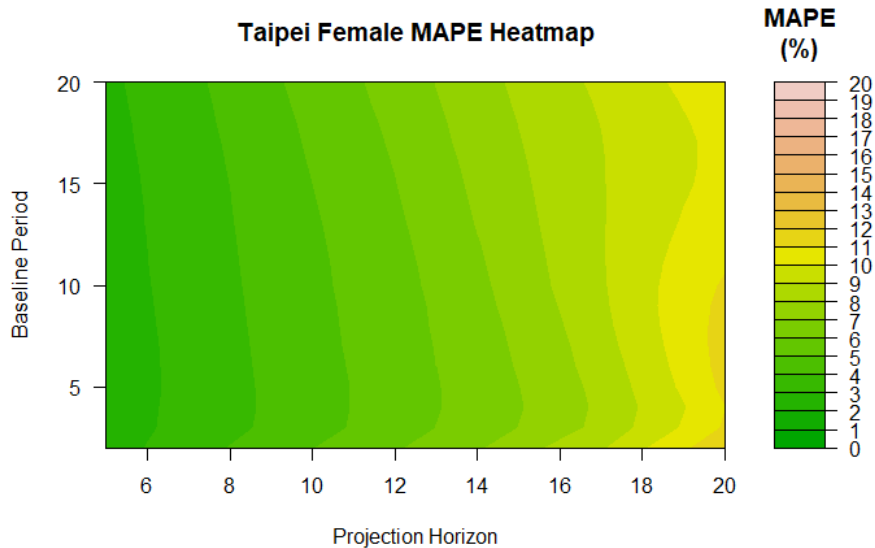


圖 9 臺北市女性的基底年數與推估年數熱力圖

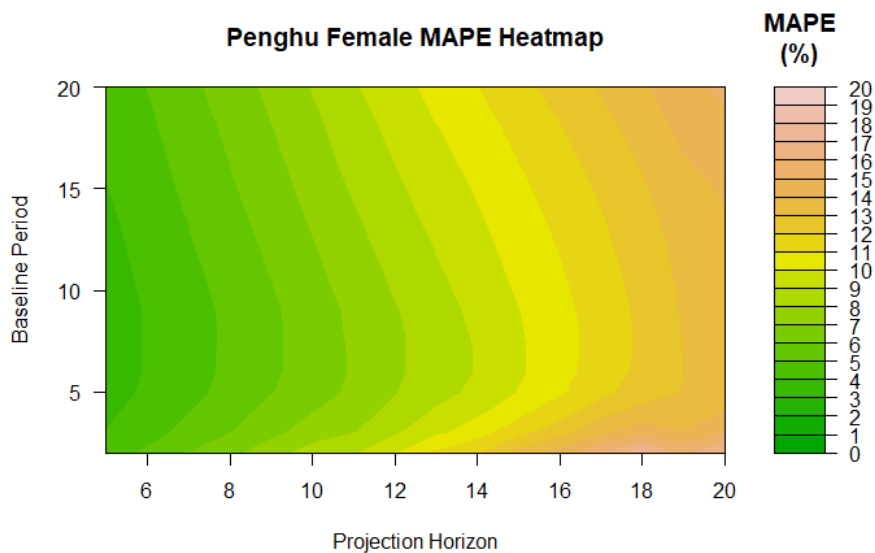


圖 10 澎湖縣女性的基底年數與推估年數熱力圖

本節最後將 HP 法的探討延伸至鄉鎮市區，評估這個方法能否用於人數較少的小區域。由於鄉鎮市區層級僅有五齡組資料，時間涵蓋 1975~2018 年共 44 年，根據表 2 單齡、五齡組的縣市推估誤差，鄉鎮市區五齡組的推估誤差若在 20~30%，大略就與縣市層級的推估誤差相當。另外，由於某些鄉鎮市區的推估誤差較大，基底年數維持和縣市層級相同的 15 年，但推估年數縮短為 5 年，推估方法同樣是倒數加權區塊拔靴法、歷年平均線性加權兩種。為了探索 HP 法用於不同行政層級是否有差異，我們選擇相同人口數的縣市、鄉鎮市區，比較兩種類型的

推估誤差，表 4 及表 5 為 40 萬人左右層級（基隆市 vs. 三個鄉鎮市區）、10 萬人左右層級（澎湖縣 vs. 三個鄉鎮市區）的結果。平均而言，縣市層級的推估誤差較小，但鄉鎮市區間差異頗大，在 10 萬人口層級的誤差可達 3 倍。由於死亡率通常變化較為和緩，生育率只影響零歲人口，猜測差異主要來源為遷移。

表 4 HP 法 15 年推估 5 年五齡組誤差（0~89 歲、1975~2019 年、40 萬人口）

MAPE		性別	區塊拔靴 倒數加權	歷年平均 線性加權
基隆市	縣市	男性	19.15	18.95
		女性	19.28	19.02
桃園市 中壢區	鄉鎮市區	男性	33.38	33.64
		女性	31.10	31.02
高雄市 鳳山區	鄉鎮市區	男性	29.81	35.56
		女性	30.82	34.01
新北市 三重區	鄉鎮市區	男性	22.63	26.36
		女性	24.05	24.02

表 5 HP 法 15 年推估 5 年五齡組誤差（0~89 歲、1975~2019 年、10 萬人口）

MAPE		性別	區塊拔靴 倒數加權	歷年平均 線性加權
澎湖縣	縣市	男性	23.11	22.06
		女性	18.37	17.91
新北市 林口區	鄉鎮市區	男性	50.46	48.78
		女性	57.26	56.94
臺中市 潭子區	鄉鎮市區	男性	41.25	40.76
		女性	43.87	42.74
臺東縣 臺東市	鄉鎮市區	男性	19.76	22.40
		女性	17.32	16.87

以人口數 40 萬左右的基隆市、（桃園市）中壢區為例（圖 11），說明鄉鎮市區推估誤差較大的原因。中壢區 CCR 在 20~39 歲及 45~64 歲震盪較大、離群值也多，而且數值明顯大於 1，顯示中壢區淨移入人數不少；相對而言，基隆市 CCR 分布比較平緩，在 20~64 歲的數值略小於 1，意謂基隆市為淨移出，淨遷移人數比較少、且兩年間遷移人數變化不大。推測 HP 法用於鄉鎮市區層級有較大推估誤差，主因在於遷移，臺灣國際遷移不算活躍，國內遷移是影響各地方人口的關鍵因子。國內遷移又可區分為縣市間、縣市內（不同鄉鎮市區）、同一鄉鎮市區內，其中我國縣市內、縣市間兩者的遷移人數較多（黃亭綺 2013），換言之，

通常鄉鎮市區的遷移活動較頻繁（縣市間+縣市內），使得套用 CCR 推估人口多半會有較大的震盪。

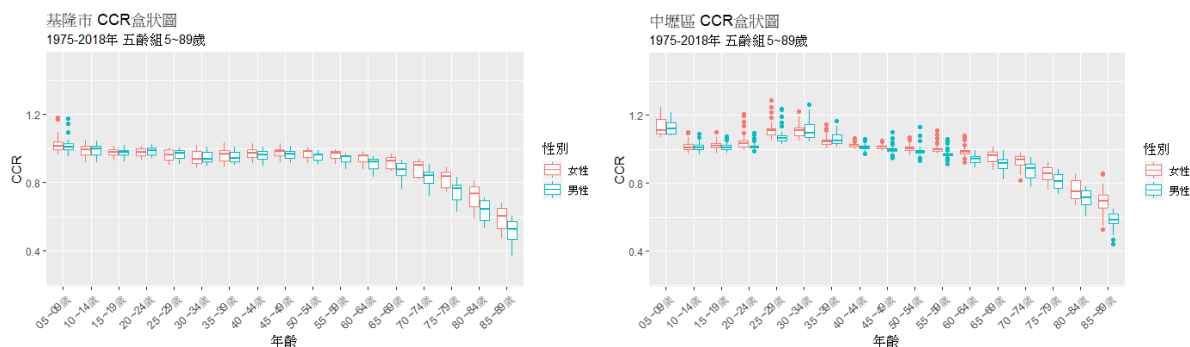


圖 11 基隆市、桃園市中壢區各年齡 CCR 圖

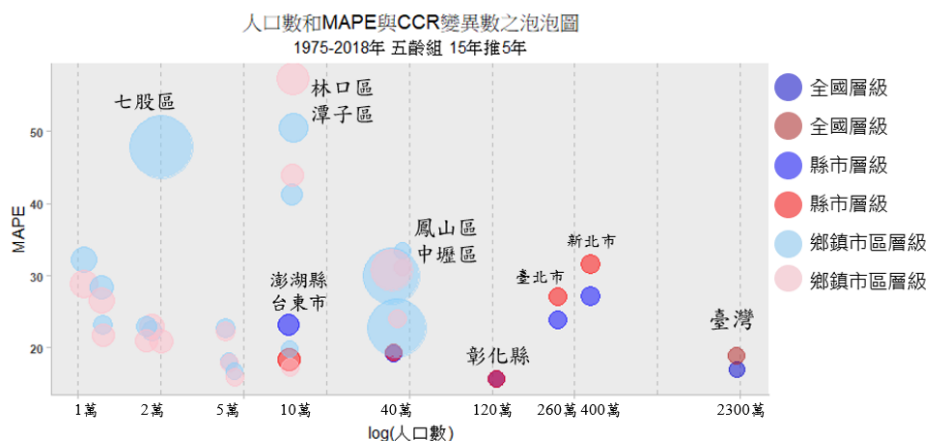


圖 12 推估誤差與人口數、五齡組 CCR 變異數泡泡圖

仿造圖 8，以泡泡圖顯示推估誤差與人口數（對數）、五齡組 CCR 變異數的關係（圖 12，歷年平均線性加權），考量這三個變數在全國、縣市、鄉鎮市區等不同行政區域的關係，本文選取之縣市及鄉鎮市區相關資訊參考附錄表 A-1 及表 A-2。首先，五齡組的推估誤差並未隨著人數少而增加，此與單齡 CCR 在縣市層級的結果略有不同，表示人口數不是影響 HP 法推估結果的決定性因素，人數較少的鄉鎮市區（例如：圖 12 的 5 萬人口之萬丹鄉、竹山鎮、新屋區），推估誤差與全國的結果很接近。相同地，雖然 CCR 變異數較大、推估誤差也有較大的傾向，但兩者間並不存在絕對正向（或反向）的關係，像是鳳山區、中壢區的 CCR 變異數相當大，但推估誤差卻比林口區、潭子區小。不過，林口區、潭子區這些 CCR 變異數不大、推估誤差較大的地區，近年人口增加速度相當快。我們認為 CCR 變異數仍是值得參考的指標，雖然與

推估有關的因素很多，但只要 CCR 變異數不大，而且歷年人口數等生命統計沒有明顯的變化（包括出生數、死亡數、年齡結構）等，HP 法仍是可考量的人口推估方法。

五、結論與討論

臺灣是一個海島型國家，從原先南島語族群、之後融合中國漂洋而來的漢族，以及近年東南亞等外籍新郎及新娘的移入，使得臺灣的人口族群更加多元，預期我國多元族群的趨勢在 21 世紀將繼續，國際遷移將因全球化而更加活躍。人口老化、多元族群的發展，使得臺灣人口結構與過去差異很大，每個時代遭遇的問題也不同，國家發展及政策規劃需與時俱進，因應 1960 年代人口爆炸提出計畫生育的家庭計劃，近幾年卻因少子化轉而鼓勵生育就是典型範例。適當的政策規劃需有充分完整的資訊配合，這也是多數國家定期發佈人口推估的主因，讓政府及個人可參考及研擬因應對策，但人口推估在國家與地方層級有很大的不同。以遷移為例，通常國際遷移對全國人數影響不大，臺灣每年的國際遷移大約在正負 2 萬人之間，小於生育和死亡的總數。然而，遷移在地方層級是不容忽視的因素，其中以縣市間、縣市內（不同鄉鎮市區）的遷移最為頻繁，但縣市、鄉鎮市區層級的資料取得不易。因此解決資料可取得性與資料品質，便是小區域人口推估的兩大難題。

年輪組成法是我國官方和許多國家使用的人口推估方法，但各國檢視歷年推估結果，發現這個方法有相當大的誤差，其中關鍵因素在於假設條件未必成立（封閉人口），以及資料變化難以透過歷史資料捕捉。如果生育率、死亡率不變，沒有遷入、遷出的人口移動（亦即封閉人口），則可藉助馬可夫鏈（Markov Chain）或 Leslie Matrix 等推得未來各年齡人數。近年不少研究透過模型決定未來的生育、死亡、遷移等生命統計，如此可繼續使用年輪組成法，但實際上推估誤差仍然不小。誤差原因至少有以下兩項：一、生育率變動幅度非常大（相對於死亡率），5~10 年的短期推估或許還可以，但 20 年以上的中長期推估就未必合適，臺灣就是一個非常典型的範例。二、各國在套用年輪組成法時，多半都加入了專家意見（即情境假設），臺灣官方推估大多給定生育率的低、中、高等三種情境，但中推估未必根據歷史資料，其中混雜了政策規劃及樂觀預期等想法。

有別於官方使用年輪組成法推估全國人口，需要人口、生育、死亡、遷移等詳細數值，本文考量僅需各年齡人口數的 HP 推估法，探討這個方法是否可用於臺灣縣市、鄉鎮市區的人口推估。本文根據 1975~2019 年臺灣各級行政地區資料，透過回測法檢

視 HP 法的成效，發現用區塊拔靴法或歷年平均推估 CCR，都可取得非常準確的人口推估，而且推估 10 年的準確度和年輪組成法很接近。其中，單齡 CCR 的結果非常穩定，使用過去 5~10 年資料可推估未來 15 年人口，推估誤差 (MAPE) 都達到高準確度 (< 10%)；五齡組 CCR 的推估誤差較大，僅達可接受的程度 (20~30%)。另外，HP 法似乎不受人口數影響，推估誤差未必與地區人數成反比，人數不到 10 萬的鄉鎮市區之推估誤差低於 260 萬人口的臺北市。我們認為 HP 法是個可行的人口推估方法，只要 CCR 變異數不大，而且推估地區的人數沒有大幅度的變動 (例如：林口區、潭子區)，即可套用 HP 法及本文推薦的相關設定。

由於 Hamilton and Perry 提議 HP 法時為 1960 年代，當時人口資料紀錄比較不完備，尤其是遷移人數及遷出、遷入地等資訊。事實上，即便是今日仍缺乏完整的人口統計，每十年一次的戶口普查是許多國家獲得最佳人口資料的主要來源，但普查結果通常只能提供現有人數，生育、死亡、遷移等詳細紀錄必須仰賴其他管道 (註：而且多半為估計結果)。因為資料限制及實際需求，HP 法過去通常用於普查年度 (每隔十年)，同時以五齡組格式呈現推估結果，本文將 HP 法推廣至每年、單齡，檢視這種作法的可行性。本文研究發現 HP 法更應以每年單齡 CCR 方式操作，其 20 年內的推估準確度媲美年輪組成法。實務應用時若資料有缺漏，像是夾雜單齡、五齡組的人口紀錄，此時是否應將資料統一調整成五齡組，或是藉由內插、修勻 (Graduation) 等方法補齊為單齡資料，這也是必須考量的問題。

HP 法的推估誤差源自於 CCR 的震盪，CCR 又能顯示死亡與遷移的特性，建議未來研究可以朝向降低 CCR 變異著手，參考小區域估計 (Small Area Estimation) 的相關作法。例如：小區域 CCR 數值可參考特色相似之大區域以獲得較穩定的 CCR。另外，HP 法的零歲推估誤差最大，因為生育率本身就難以找出變化，然而 HP 法僅僅用全部育齡婦女的生育率進行推估，沒有根據年齡層的生育率加權，像是 15~19 歲的女性生育率必定低於 20~39 歲；另外，CCR 也沒有考慮新生兒的死亡率，因此嬰兒數的推估誤差自然增大。若能將 HP 法結合過去生育率走勢，配合情境推估方式決定未來的趨勢，或許更能掌握未來趨勢。由於臺灣的生育率多半有週期性 (如龍虎年效應)，或可調整本文使用的區塊拔靴法，像是將區塊長度增加至 12~15 年以捕捉周期的變化。

無論全國及地方層級，高齡組 CCR 數值的震盪幅度都是各年齡之冠，全距的震盪幅度也比其他年齡層大，推測應與高齡人數少有關，與死亡率較大無關，因為老年族

群的遷移較不頻繁（余清祥等 2020），此與年輕族群遷移相對頻繁較為不同。因為高齡人口的 CCR 可以忽略遷移，未來可結合其他隨機死亡模型，如 Lee-Carter 死亡率（Lee and Carter 1992）模型或是推估高齡人口較常見的 Gompertz 模型，藉此修正老年人口的 CCR 數值。至於其他年齡層的震盪，可以嘗試使用修勻方法降低其變異，並檢視修勻過後的 CCR 是否能有效降低推估誤差。另外，小區域人口容易受到遷移而影響人口數及結構，也許可以加入遷移模型，如交通建設、醫療水平、經濟發展等因素，藉由捕捉人口流動趨勢降低小區域人口的推估誤差。

謝誌

本文作者感謝兩位匿名評審的寶貴建議，以及國家發展委員會的人口推估建議，更感謝科技部對本文在研究進行與撰寫時的補助（補助計畫編號：MOST 109-2410-H-004 -021 -MY2）。

參考文獻

- 王信忠、金碩、余清祥 [Wang, Hsin-Chung, Shuoh Jin, and Jack C. Yue] (2012)。小區域死亡率推估之研究。人口學刊，45: 121-154。"A Simulation Study of Small Area Mortality Projection." *Journal of Population Studies* 21:101-127. doi: <https://dx.doi.org/10.6191/jps.2012.11>
- 余清祥、簡于閔、梁穎誼 [Yue, Jack C., Yu-Min Chien, and Yin-Yee Leong] (2020)。健保資料與抽樣調查。調查研究—方法與應用，44: 97-130。"Using National Health Insurance Database for Sampling Surveys." *Survey Research — Method and Application* 44: 97-130. doi: <https://dx.doi.org/10.7014/TCYCFFYYY>
- 郭孟坤、余清祥 [Kuo, Meng-Kung, Jack C. Yue] (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。"An Empirical Study of Simulation and Stochastic Methods on Population Projections." *Journal of Population Studies* 36: 67-98. doi: <https://dx.doi.org/10.6191/jps.2008.3>
- 陳政勳、余清祥 [Chen, Cheng-Hsun, Jack C. Yue] (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。"A Study of Small Area Population Projection in Taiwan." *Journal of Population Studies* 41: 153-183. doi: <https://dx.doi.org/10.6191/jps.2010.9>
- 黃亭綺 [Huang, Ting-Chi] (2013)。小區域人口遷徙推估研究。國立政治大學統計研究所碩士論文。"A Study of Migration Projection for Small Area Population." MA thesis. Department of Statistics, National Chengchi University.
- Alho, J.M. and Spencer, B.D. (2005), *Statistical Demography and Forecasting*, Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/0-387-28392-7>
- 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. doi: <https://doi.org/10.2307/2956626>
- Denton, F.T., Feaver, C.H., Spencer, B.D. (2005), "Time Series Analysis and Stochastic Forecasting: An Econometric Study of Mortality and Life Expectancy", *Journal of Population Economics*, 18(2), 203-227. doi: <https://doi.org/10.1007/s00148-005-0229-2>
- Efron, B. (1979), "Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife", *The annals of statistics*, 7(1), 1-26. doi: <https://doi.org/10.1214/aos/1176344552>
- Hall, P. (1985), "Resampling a Coverage Pattern", *Stochastic Processes and their*

- Applications, 20(2), 231-246. doi: [https://doi.org/10.1016/0304-4149\(85\)90212-1](https://doi.org/10.1016/0304-4149(85)90212-1)
- Hamilton, C. and Perry, J. (1962), "A Short Method for Projecting Population by Age from one Decennial Census to Another", *Social Forces*, 41, 163-170. doi: <https://doi.org/10.2307/2573607>
- Lee, R.D. and Carter, L.R. (1992), "Modeling and Forecasting US Mortality", *Journal of the American Statistical Association*, 87, 659-671.
doi: <https://doi.org/10.1080/01621459.1992.10475265>
- Lewis, E.B. (1982), "Control of Body Segment Differentiation in *Drosophila* by the Bithorax Gene Complex", *Prog Clin Biol Res.* 85 Pt A: 269-88. PMID: 7111279.
- Smith, S.K. and Sincich, T. (1990), "The Relationship between the Length of the Base Period and Population Forecast Errors", *Journal of the American Statistical Association*, 85, 367-375. doi: <https://doi.org/10.1080/01621459.1990.10476209>
- Smith, S.K. and Tayman, J. (2003), "An Evaluation of Population Projections by Age", *Demography*, 40(4), 741-757. doi: <https://doi.org/10.1353/dem.2003.0041>
- Swanson, D.A. and Tayman, J. (2017), "A Long Term Test of the Accuracy of the Hamilton-Perry Method for Forecasting State Populations by Age" in *The Frontiers of Applied Demography*, edited by D.A. Swanson, Cham: Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-43329-5>
- Whelpton, P.K. (1928), "Population of the United States, 1928 to 1975", *American Journal of Sociology*, 253-270. doi: <https://doi.org/10.1086/214667>

附錄

表 A-1、全國與縣市層級人口資料格式

地區	人數	年度	年齡	資料	年齡組
臺灣	2360 萬	1975~2019	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	單齡、五齡組
新北市	402 萬	1975~2019	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	單齡、五齡組
臺北市	265 萬	1975~2019	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	單齡、五齡組
彰化縣	127 萬	1975~2019	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	單齡、五齡組
基隆市	37 萬	1975~2019	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	單齡、五齡組
澎湖縣	11 萬	1975~2019	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	單齡、五齡組

表 A-2、鄉鎮市區層級人口資料格式

地區	人口數	年度	年齡	資料	年齡
三重區（新北）	39 萬	1975-2018	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
中壢區（桃園）	42 萬	1975-2018	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
鳳山區（高雄）	40 萬	1975-2018	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
林口區（新北）	12 萬	1975-2018	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
潭子區（臺中）	11 萬	1975-2018	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
臺東市（臺東）	10 萬	1975-2018	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
萬丹鄉（屏東）	5 萬	1975-2018	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
竹山鎮（南投）	5 萬	1975-2018	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
新屋區（桃園）	5 萬	1975-2018	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
芎林鄉（竹縣）	2 萬	1975-2018	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
國姓鄉（南投）	2 萬	1975-2018	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
七股區（新北）	2 萬	1975-2018	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
雙溪區（新北）	1 萬	1975-2018	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
和平區（臺中）	1 萬	1975-2018	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
太麻里鄉（臺東）	1 萬	1975-2018	0-89 歲	人數、死亡數、生育數	五齡組