

## 年輪變動比用於小區域人口推估的探討

余清祥\* 王信忠\*\* 陳譽騰\*\*\*

---

\* 國立政治大學統計學系教授

E-mail: csyue@nccu.edu.tw

\*\* 真理大學統計資訊與精算學系教授，通訊作者

E-mail: au4369@mail.au.edu.tw

\*\*\* 國立政治大學統計學系碩士

E-mail: 107354028@nccu.edu.tw

## 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-Perry法（簡稱HP法）的年輪變動比（cohort change ratio, 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平均絕對百分比誤差（mean absolute percentage error）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

## 壹、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（subnational）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，因此小區域人口推估很少套用全國人口推估模型。鑑於人口資料的限制，Hamilton-Perry法（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：第貳章介紹人口推估方法、參數估計方法等相關文獻及本文的研究方法；第參章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。第肆章呈現臺灣、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。最後一章整理本文的主要研究結果，並提供小區域人口推估的建議。

## 貳、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（Malthus）《人口論》（*An Essay on the Principle of Population*）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（Malthus 2018），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：

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

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、遷入數及遷出數。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 $[t, t + 1)$ ，遷入數及遷出數也是指 $[t, t + 1)$ 的遷移人數。年齡和年分一樣，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15-50歲之前，表示為 $15 \leq x < 50 < w$ ， $w$ 代表婦女生育年齡的上限。

在封閉人口（closed population）的假設下，或是遷入、遷出兩者

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：

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

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。另外，式（2）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，或是遷入、遷出人數兩者不平衡，也就是社會增加（social increase）人數不為0，則在式（2）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，套用式（2）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，我們將於第參章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3個因素

全部融入式(2)，透過相鄰2個年度同一組人數的變化，描述3個因素的合成效果。例如： $x$ 歲人口經過1年後變成 $x+1$ 歲，因此比值：

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

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0歲（嬰兒）人數與育齡女性人數（15-49歲人數）的比值，或是：

$$R_0(t) = \frac{P_0(t)}{\sum_{x=15}^{49} P_x(t)} \dots\dots\dots (4)$$

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) 使用佛羅里達州各地區的年齡層資料，以1990年和2000年為年分測試點進行人口推估，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4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10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較少測試點的問題，結果也是HP法可用於小區域人口推估，但需留意推估年數超過10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10年（或5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」3個面向探討HP法是否可行。

HP法透過CCR的 $R_x(t)$ 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15年（記為第 $t_0 - 14, t_0 - 13, \dots, t_0$ 年）、推估年數為10年（記為第 $t_0 + 1, t_0 + 2, \dots, t_0 + 10$ 年），計算得出過去15年各年齡CCR平均數（記為 $\bar{R}_x$ ），並假設未來10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（uniform）與線性加權（linear weight），前者表示過去各區塊發生的機率均等，後者認為距離現在愈近的區塊發生機率愈大，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：

$$\begin{aligned} \Delta \log Y &= (\log Y_2 - \log Y_1, \log Y_3 - \log Y_2, \dots, \log Y_n - \log Y_{n-1})^T \\ &= \left( \log \frac{Y_2}{Y_1}, \log \frac{Y_3}{Y_2}, \dots, \log \frac{Y_n}{Y_{n-1}} \right)^T \end{aligned} \quad \dots\dots (5)$$

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：先將資料分成訓練集（training data）、測試集（testing data），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（5年）、1990-1999（10年），因為共有1975-2019年（45年）資料，因此可以得到26個5年及21個10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（mean absolute percentage error, MAPE），比較推估值、實際值之間的差異，以數學式表示如下：

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

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：

$$SMR = \frac{\text{觀察死亡人數}}{\text{期望死亡人數}} \dots\dots\dots (7)$$

$$= \frac{\text{總死亡人數}}{\sum (\text{各組年中人口數} \times \text{各組標準人口死亡率})}$$

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。

我們將於下一章分析臺灣歷年全國、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。第四章則探討在不同的「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法推估臺灣5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。

## 參、CCR的特性

本文使用內政部1975-2019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，而年齡可分為五齡組及單齡組兩種，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0-89歲：五齡組格式為0-4歲、5-9歲、10-14歲、……、75-79歲、80-84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，尤其是否能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3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2,400

萬，而上述5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，參閱附錄一與附錄二。

CCR為HP法的精髓，其中0歲CCR反映0歲人口的資訊，包括總生育率、0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，本章僅以人數較多的全國及5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章以推估準確率驗證。

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0歲CCR的關係。我們可仿造上述死亡標準比定義生育標準比，可大略得知各地區生育率的大小及變化，其中生育標準比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0歲人口的死亡、遷移比例較低，0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5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

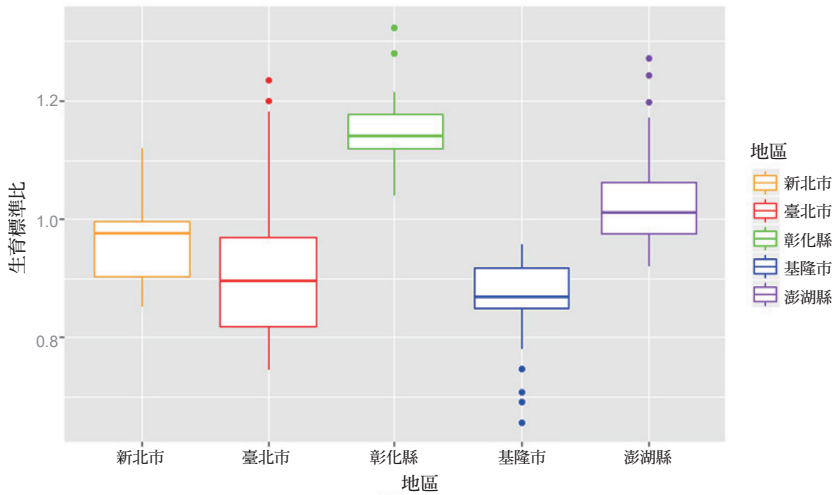


圖1 臺灣、五個縣市歷年生育標準比分布 (1975-2019年)

註：本圖彩色版本請見線上版 (<https://goo.gl/9CgARX>)。

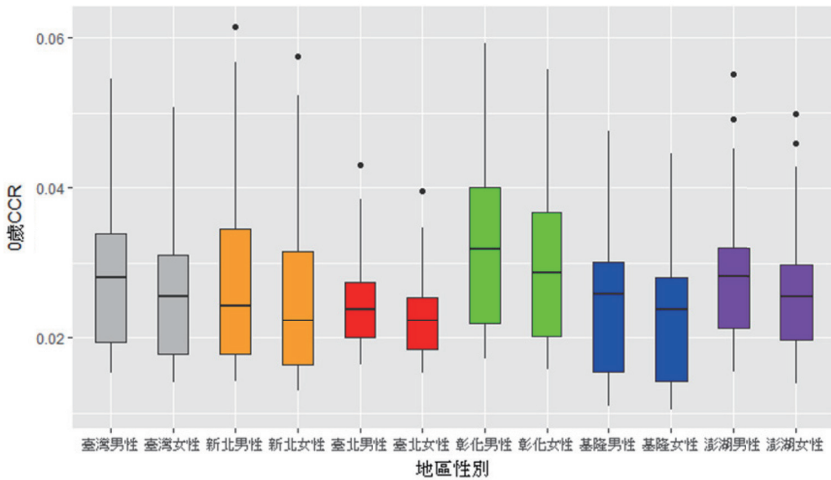


圖2 臺灣、五個縣市歷年0歲年輪變動比 (cohort change ratio, CCR) 分布 (1975-2019年)

註：本圖彩色版本請見線上版 (<https://goo.gl/9CgARX>)。

與圖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0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0歲人口的CCR推估誤差將是各年齡最大者，我們將在第四章說明推估結果。

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箱形圖，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（ $< 0.01$ ），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0，亦即CCR數值大約與

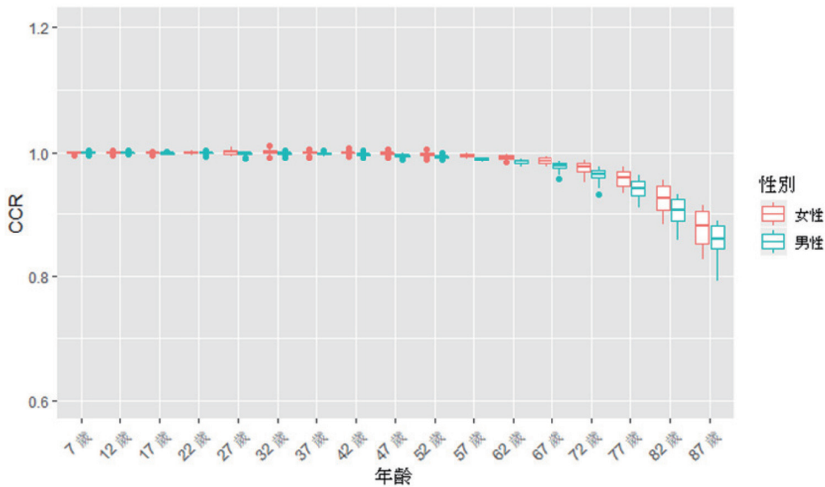


圖3 臺灣歷年5-89歲年輪變動比（cohort change ratio, CCR）分布（1975-2019年）

註：本圖彩色版本請見線上版（<https://goo.gl/9CgARX>）。

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5個縣市的CCR經驗資料。

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0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

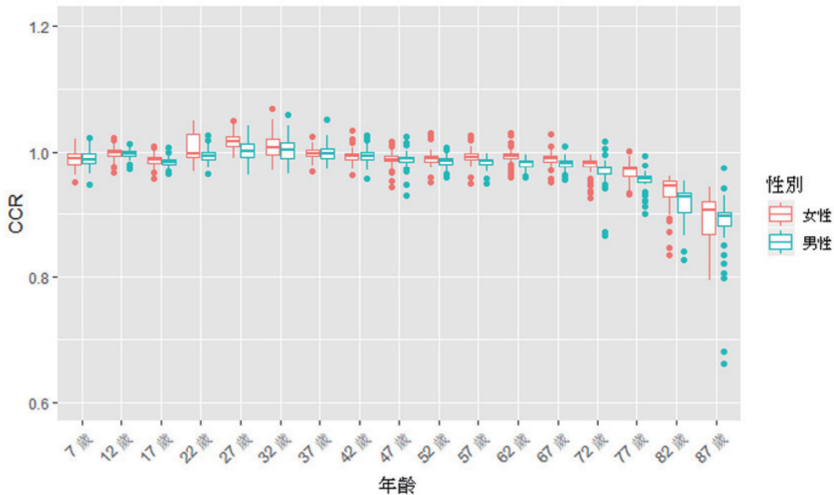


圖4 臺北市歷年5-89歲年輪變動比（cohort change ratio, CCR）分布（1975-2019年）

註：本圖彩色版本請見線上版（<https://goo.gl/9CgARX>）。

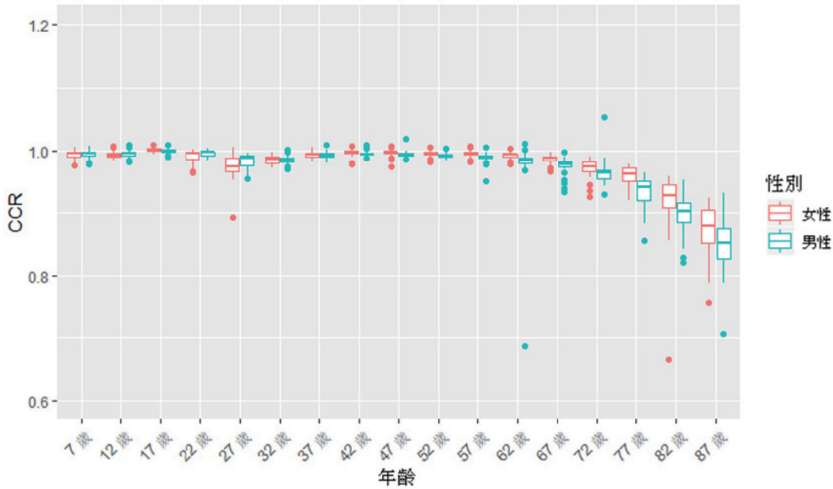


圖5 彰化縣歷年5-89歲年輪變動比（cohort change ratio, CCR）分布（1975-2019年）

註：本圖彩色版本請見線上版（<https://goo.gl/9CgARX>）。

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）。

從上述圖1與圖2，生育標準比與0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），我們也可定義遷移標準比，以1-89歲CCR與遷移標準比評估各地區的遷移活動。圖7為臺灣、5個縣市的遷移標準比，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。

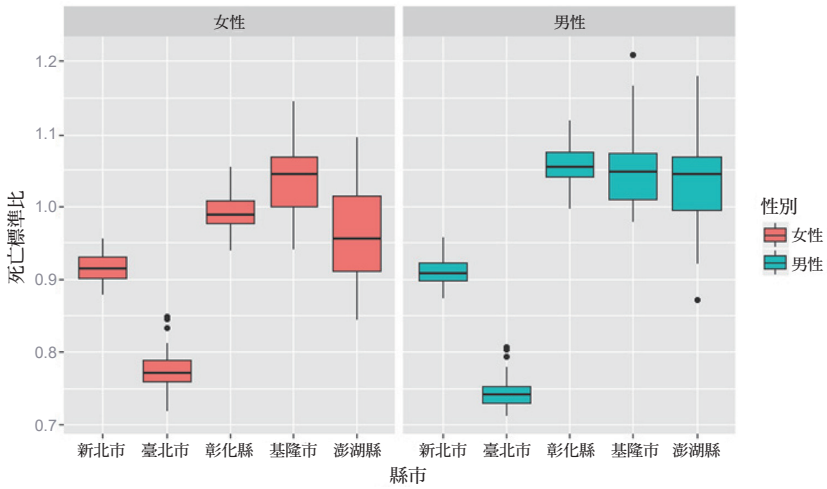


圖6 臺灣、5個縣市歷年死亡標準比分布（1975-2019年）

註：本圖彩色版本請見線上版 (<https://goo.gl/9CgARX>)。

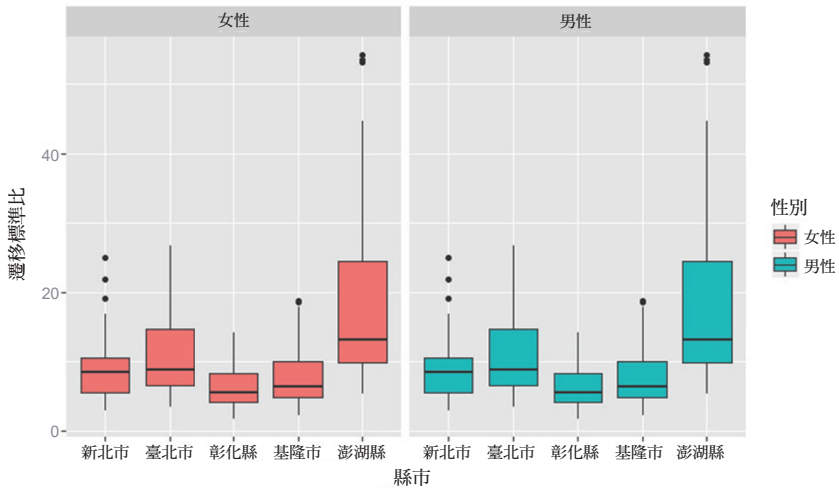


圖7 臺灣、5個縣市歷年遷移標準比分布（1975-2019年）

註：本圖彩色版本請見線上版 (<https://goo.gl/9CgARX>)。



## 肆、HP法的縣市、鄉鎮市區推估評估

本章以全臺灣、縣市、鄉鎮市區層級地區為研究對象，透過類似交叉驗證的方式，將資料分成訓練集、測試集，分別當作基底年數和推估年數，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，為了避免推估受不同起始年度（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。

首先討論全國及縣市層級的HP法推估結果。表1為1975-2019年的

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

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

註：粗體為各種方法中誤差最小。

單齡人口推估誤差，區塊拔靴法考量線性（均勻）及倒數加權（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，與前一章提到的歷年生育、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（王信忠等 2012; Smith and Sincich 1990）。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，屬於散布圖（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3個變數的資訊，像是世

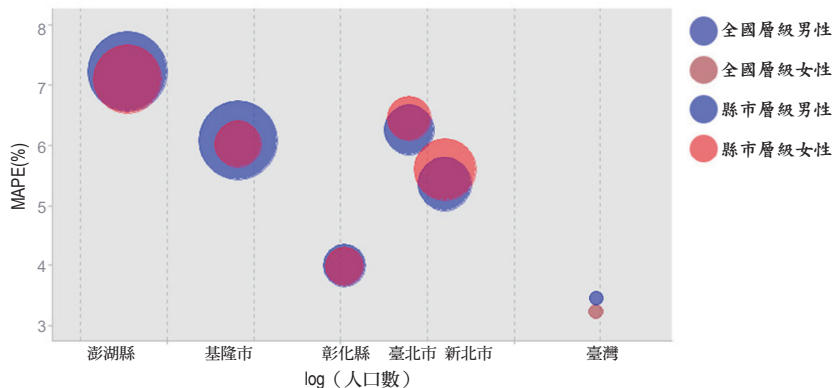


圖8 推估誤差與人口數、單齡組年輪變動比  
(cohort change ratio, CCR) 變異數的關係圖 (1975-2019年)

註：1. MAPE：平均絕對百分比誤差（mean absolute percentage error）。

2. 本圖彩色版本請見線上版 (<https://goo.gl/9CgARX>)。

界各國的平均餘命、國內生產毛額（gross domestic production）、人口數。<sup>1</sup>

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，因此知名統計學家圖基（Tukey 1977）提議先對資料進行探索性分析（exploratory data analysis），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）。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5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5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0.10-0.25。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MAPE誤差大量增加。人數較多的新北市、臺北市，單齡組和五齡組的誤差差異反而更大（又以女性誤差最大），前一章分析得知生育、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5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組人口推估。

1 詳細說明請參考<https://www.data-to-viz.com/story/ThreeNum.html>。

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

地區	性別	單齡組		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	5.36	5.60	58.12	57.80
	女	5.61	5.80	73.34	73.04
臺北市	男	6.25	5.89	38.09	35.03
	女	6.44	5.99	50.02	46.80
彰化縣	男	3.99	4.09	24.53	24.73
	女	3.98	4.16	24.91	25.07
基隆市	男	6.09	6.01	27.45	27.21
	女	6.02	6.00	32.19	32.13
澎湖縣	男	7.21	7.00	32.87	32.33
	女	7.09	6.86	29.64	29.21

過去研究通常使用年輪組成法進行人口推估，然而年輪組成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，可同時使用年輪組成法及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10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3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法及年輪組成法的推估誤差比較，兩者都有非常高的準確性，人口數較多的臺北市是年輪組成法較佳，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（亦即資料相依）。我們也嘗試其他縣市層級以上的短期推估，發現HP法和年輪組成法在不同行政區域、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

表3 Hamilton-Perry法及年輪組成法15年推估10年單齡組誤差  
(0-89歲、1975-2019年)

推估方法	臺北市		苗栗縣		澎湖縣	
	男	女	男	女	男	女
Hamilton-Perry法						
區塊拔靴倒數加權	6.33	6.55	<b>4.03</b>	<b>4.46</b>	7.27	7.13
歷年平均線性加權	5.96	6.06	4.08	4.49	<b>6.99</b>	<b>6.88</b>
年輪組成法						
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	<b>5.14</b>	<b>4.85</b>	4.98	5.71	8.07	7.76

註：粗體為各種方法中誤差最小。

0-9歲的推估誤差較大（尤其是0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法可作為年輪組成法的替代選擇。

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5-20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與圖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。

本章最後將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單齡組、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

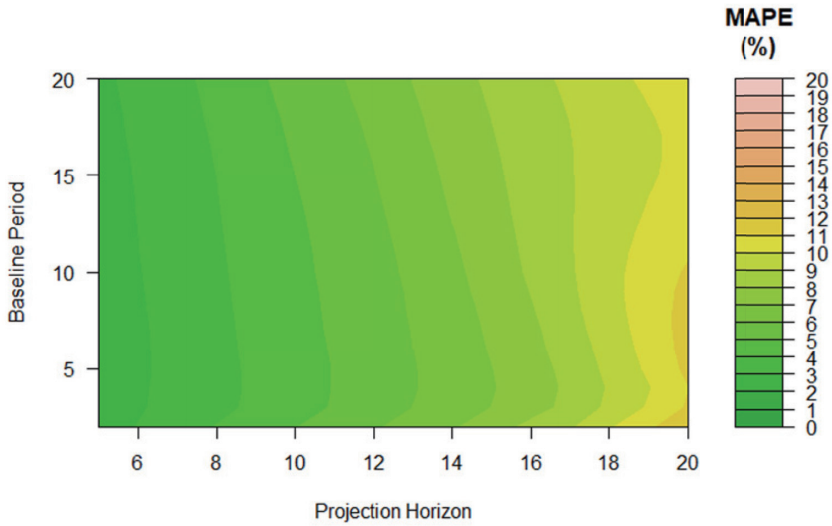


圖9 臺北市女性的基底年數與推估年數熱力圖

- 註：1. MAPE：平均絕對百分比誤差（mean absolute percentage error）。  
2. 本圖彩色版本請見線上版（<https://goo.gl/9CgARX>）。

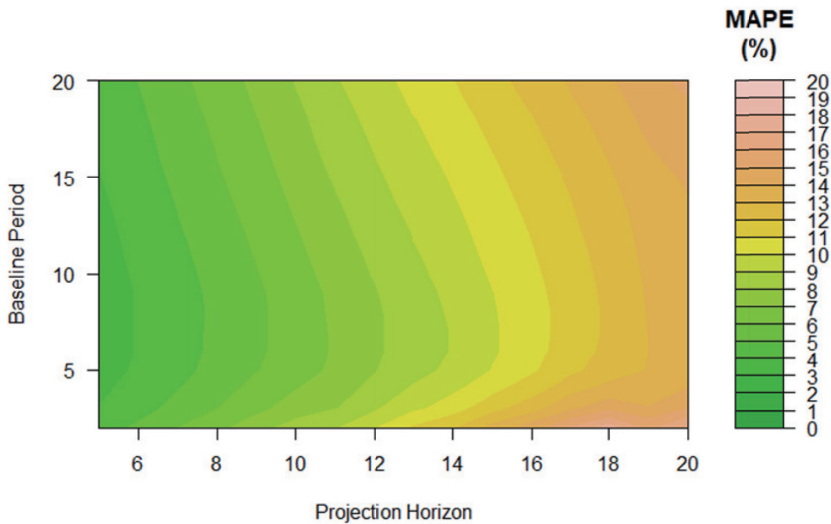


圖10 澎湖縣女性的基底年數與推估年數熱力圖

- 註：1. MAPE：平均絕對百分比誤差（mean absolute percentage error）。  
2. 本圖彩色版本請見線上版（<https://goo.gl/9CgARX>）。

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，推估方法同樣是區塊拔靴倒數加權法、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與表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

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

地區	層級	性別	區塊拔靴 倒數加權	歷年平均 線性加權
基隆市	縣市	男	19.15	18.95
		女	19.28	19.02
桃園市中壢區	鄉鎮市區	男	33.38	33.64
		女	31.10	31.02
高雄市鳳山區	鄉鎮市區	男	29.81	35.56
		女	30.82	34.01
新北市三重區	鄉鎮市區	男	22.63	26.36
		女	24.05	24.02

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

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

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0歲人口，猜測差異主要來源為遷移。

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  $> 1$ ，顯示中壢區淨遷入人數不少；相對而言，基隆市CCR分布比較平緩，在20-64歲的數值略  $< 1$ ，

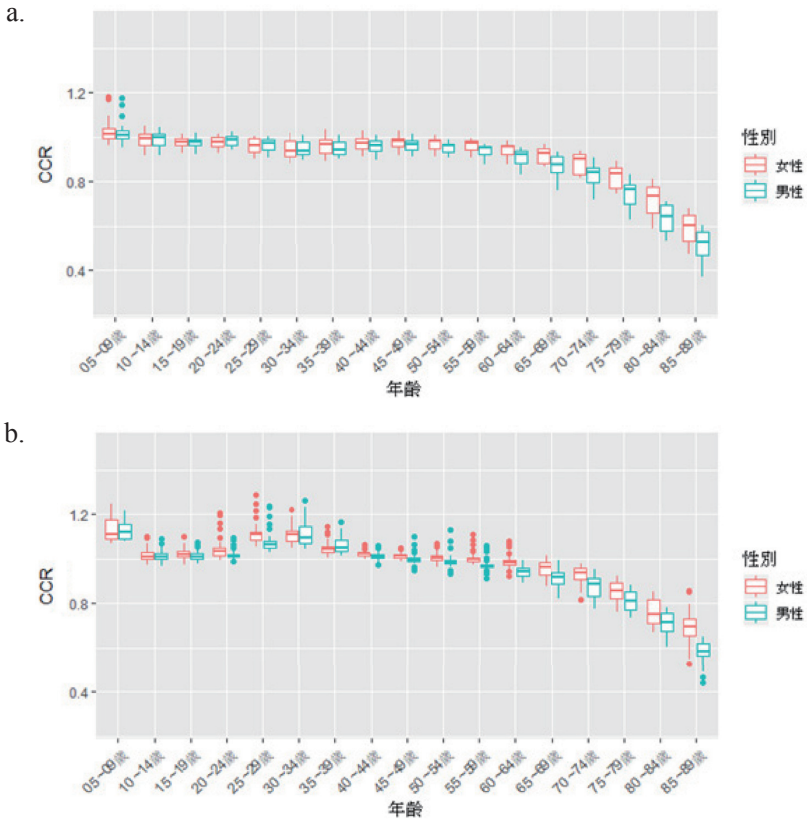


圖11 (a) 基隆市、(b) 桃園市中壢區  
各年齡年輪變動比 (cohort change ratio, CCR) 分布圖

註：本圖彩色版本請見線上版 (<https://goo.gl/9CgARX>)。



意謂基隆市為淨遷出，淨遷入人數比較少、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。

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3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一與附錄二。首先，五齡組的推估誤差並未隨著人數少而增加，此與單齡組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

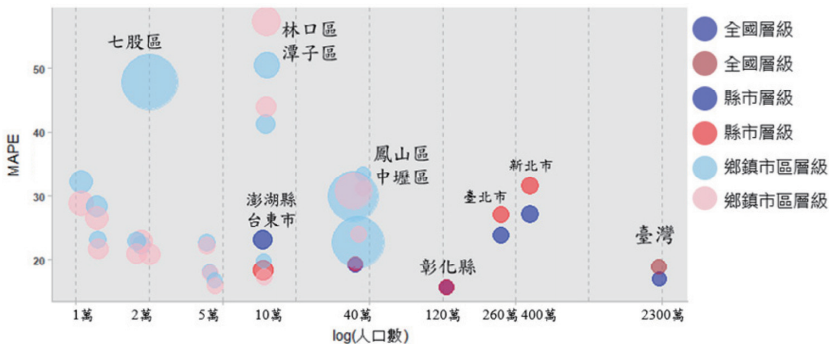


圖12 推估誤差與人口數、五齡組年輪變動比  
(cohort change ratio, CCR) 變異數的關係圖

註：1. MAPE：平均絕對百分比誤差（mean absolute percentage error）。

2. 本圖彩色版本請見線上版（<https://goo.gl/9CgARX>）。

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。

## 伍、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世紀將繼續發展，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畫，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布人口推估的主因，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），則可藉助馬可夫鏈或Leslie矩陣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，如此可繼續使用年齡組成法，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3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，單齡組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（1962）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10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（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10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、單齡組，檢視這種作法的可行性。本文研究發現HP法更應以每年單齡組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，像是夾雜單齡組、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0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: 77-110。  
“A Simulation Study of Small Area Mortality Projection.” *Journal of Population Studies* 45: 77-110. doi: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.
- 郭孟坤、余清祥 [Kuo, Meng-Kung and 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:10.6191/jps.2008.3
- 陳政勳、余清祥 [Chen, Cheng-Hsun and 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:10.6191/jps.2010.9
- 黃亭綺 [Huang, Ting-Chi] (2013) 小區域人口遷徙推估研究。國立政治大學統計學系碩士論文。“A Study of Migration Projection for Small Area Population.” MA thesis. Department of Statistics, National Chengchi University.
- Alho, J. M. and B. D. Spencer. 2005. *Statistical Demography and Forecasting*. New York, NY: Springer. doi:10.1007/0-387-28392-7
- Cannan, E. 1895. “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:10.2307/2956626
- Denton, F. T., C. H. Feaver, and B. G. Spencer. 2005. “Time Series Analysis and Stochastic Forecasting: An Econometric Study of Mortality and Life Expectancy.” *Journal of Population Economics* 18(2): 203-227. doi: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:10.1214/aos/1176344552
- Hall, P. 1985. “Resampling a Coverage Pattern.” *Stochastic Processes and Their Applications* 20(2): 231-246. doi:10.1016/0304-4149(85)90212-1
- Hamilton, C. H. and J. Perry. 1962. “A Short Method for Projecting Population by Age from One Decennial Census to Another.” *Social Forces* 41(2): 163-170. doi:10.2307/2573607
- Lee, R. D. and L. R. Carter. 1992. “Modeling and Forecasting U.S. Mortality.” *Journal of the American Statistical Association* 87(419): 659-671. doi:10.1080/01621459.1992.10475265
- Lewis, E. B. 1982. “Control of Body Segment Differentiation in *Drosophila* by the Bithorax Gene Complex.” Pp. 269-288 in *Embryonic Development, Part A: Genetic Aspects*, edited by M. M. Burger and R. Weber. New York, NY: Liss.
- Malthus, T. R. 2018. *An Essay on the Principle of Population: The 1803 Edition*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Smith, S. K. and T. Sincich. 1990. “The Relationship between the Length of the Base Period and Population Forecast Errors.” *Journal of the American Statistical Association* 85(410): 367-375. doi:10.1080/01621459.1990.10476209
- Smith, S. K. and J. Tayman. 2003. “An Evaluation of Population Projections by Age.” *Demography* 40(4): 741-757. doi:10.1353/dem.2003.0041

- Swanson, D. A. and J. Tayman. 2017. "A Long Term Test of the Accuracy of the Hamilton-Perry Method for Forecasting State Populations by Age." Pp. 491-513 in *The Frontiers of Applied Demography*, edited by D. A. Swanson. Cham, Switzerland: Springer. doi:10.1007/978-3-319-43329-5\_23
- Tukey, J. W. 1977. *Exploratory Data Analysis*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Whelpton, P. K. 1928. "Population of the United States, 1925 to 1975." *American Journal of Sociology* 34(2): 253-270. doi:10.1086/214667



## 附錄一：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	2,360萬	1975-2019	0-89歲	人數、死亡數、生育數	單齡組、五齡組
新北市	402萬	1975-2019	0-89歲	人數、死亡數、生育數	單齡組、五齡組
臺北市	265萬	1975-2019	0-89歲	人數、死亡數、生育數	單齡組、五齡組
彰化縣	127萬	1975-2019	0-89歲	人數、死亡數、生育數	單齡組、五齡組
基隆市	37萬	1975-2019	0-89歲	人數、死亡數、生育數	單齡組、五齡組
澎湖縣	11萬	1975-2019	0-89歲	人數、死亡數、生育數	單齡組、五齡組

## 附錄二：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
桃園市中壢區	42萬	1975-2018	0-89歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
高雄市鳳山區	40萬	1975-2018	0-89歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
新北市三重區	39萬	1975-2018	0-89歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
新北市林口區	12萬	1975-2018	0-89歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
臺中市潭子區	11萬	1975-2018	0-89歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
臺東縣臺東市	10萬	1975-2018	0-89歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
屏東縣萬丹鄉	5萬	1975-2018	0-89歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
南投縣竹山鎮	5萬	1975-2018	0-89歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
桃園市新屋區	5萬	1975-2018	0-89歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
新竹縣芎林鄉	2萬	1975-2018	0-89歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
南投縣國姓鄉	2萬	1975-2018	0-89歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
新北市七股區	2萬	1975-2018	0-89歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
新北市雙溪區	1萬	1975-2018	0-89歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
臺中市和平區	1萬	1975-2018	0-89歲	人數、死亡數、生育數	五齡組
臺東縣太麻里鄉	1萬	1975-2018	0-89歲	人數、死亡數、生育數	五齡組

# A Study of Applying Cohort Component Ratio to Small Population Projection

Jack C. Yue\* Hsin-Chung Wang\*\* Yu-Teng Chen\*\*\*

## 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 levels and we need to seek an alternative method for the subnational population projection. In this study, we evaluate whether the cohort change ratio (CCR), proposed by Hamilton-Perry method, is suitable for the subnational population projection via backcasting the historical data in Taiwan (1975-2019). In specific, we are interested in comparing the projecting accuracy of CCR and cohort component methods, and we found that the CCR method can be used for short-term projections (e.g., 15 years or less) for county and township levels. Also, our projection errors are smaller by using the single-age data (comparing to 5-age group data), and

---

\* Professor, Department of Statistics, National Chengchi University.  
E-mail: csyue@nccu.edu.tw

\*\* Professor, Department of Statistical Information and Actuarial Science, Aletheia University.  
Corresponding author.  
E-mail: au4369@mail.au.edu.tw

\*\*\* Master, Department of Statistics, National Chengchi University.  
E-mail: 107354028@nccu.edu.tw

there are little differences in using block bootstrap or weighted average to predict the future CCR.

***Keywords: small area population projection, cohort change ratio, simulation, backcast, migration***