

人口成長穩定性之研究—灰色系統分析之應用*

陳俊合

美國南加州大學 (University of Southern California) 訪問學者

蘭陽技術學院建築系副教授

宜蘭縣頭城鎮復興路 79 號

摘要

對以往人口變化的瞭解及對未來人口發展之推求乃是社經發展規劃決策之重要依據。灰色系統分析係基於灰色系統模型對系統之穩定性與發展態勢等進行分析，對單個因子分析，稱為一維灰色系統分析；對多個因子進行分析，則稱多維灰色系統分析。本研究以宜蘭縣近年來之人口資料為基礎，探討宜蘭縣之人口變化特性，以灰預測模式預測宜蘭縣未來之人口成長，並利用灰色系統分析瞭解宜蘭縣人口成長系統之穩定性與發展態勢。

經本研究應用灰色系統分析法探討與分析後發現，宜蘭縣人口成長機制是穩定的，而宜蘭縣在 2012 年的平均人口約為 459,461 人。此結果可提供政府部門擬議人口發展政策與配合人口成長相關公共設施建設投入措施之參考。

關鍵詞：人口成長、人口穩定性、灰色系統分析

一、前言

人口¹轉型(Demographic transition) 模式將人口發展分為四階段(圖 1)：第一階段為人口成長高穩定期；早期的人口透過不穩定，時起時降的高死亡率和高生育率之間的平衡，來維持數量上的穩定。第二階段為早期人口擴張期：人類進入現代化社會，營養和健康水準改變，死亡率下降，此時仍維持較高生育率，造成人口成長；第三階段為晚期人口擴張期：出生率與死亡率都逐漸下降，尤其死亡率降至低死亡率；第四階段為人口成長低穩定期：進入工業化社會，城市化與其他社會結構改變，使得小家庭產生，生育觀念改變，生育率下降，人口又再一次達到低水準生育率和死亡率

* 本文係「2009年第十四屆灰色系統理論與應用研討會」論文增修稿，承二位匿名審查委員惠賜寶貴意見，特此致謝。

¹ 所謂人口，係指在某一個地方所居住的人數，而“地方”可能是一個城市、一個州、一個鄰里等。(Krueckeberg & Silvers, 1991)



之平衡。第四階段後出生率與死亡率皆低，但出生率更可能低於死亡率，使得自然增加率呈現負成長，此階段有人比喻為第五階段，或稱之為衰退階段（蔡宏進、廖正宏，1987）。近幾年來台灣地區人口出現人口老化及低出生率等現象，已逐漸邁入「人口轉型」模式之第五階段。

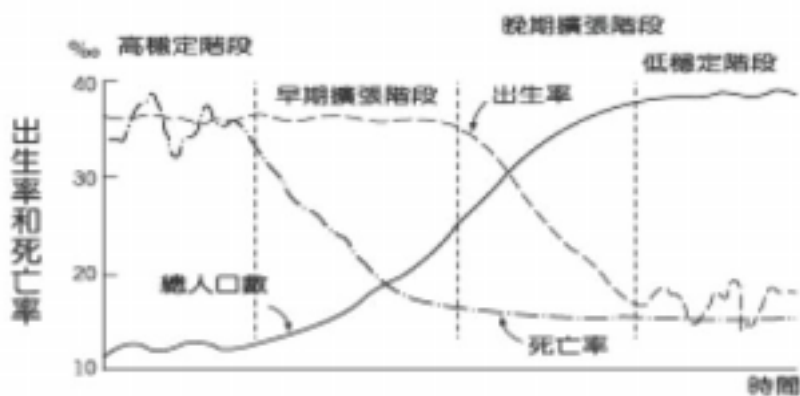


圖1 人口轉型模式圖
資料來源：蔡宏進、廖正宏，1987

宜蘭縣地處東部區域，縣境內包含宜蘭市、羅東鎮、蘇澳鎮、頭城鎮、礁溪鄉、壯圍鄉、員山鄉、冬山鄉、五結鄉、三星鄉、大同鄉與南澳鄉等十二市鎮鄉(如圖 2)。多樣性(diversity)²已經成為都市規劃的新正統，對都市規劃者而言，多樣性代表著新的指導原則(Fainstein, 2005)。對於以往人口的瞭解及對未來人口發展的推求乃是對社經發展多樣性層面規劃決策的重要基礎(陳俊合，2008)。灰色系統分析係基於灰色系統模型對系統之穩定性與發展態勢等進行分析，對單個因子分析，稱為一維灰色系統分析；對多個因子進行分析，則稱多維灰色系統分析。本研究以宜蘭縣近年來之人口資料為基礎，探討宜蘭縣之人口變化特性，以灰預測模式預測宜蘭縣未來之人口成長，並利用一維灰色系統分析瞭解宜蘭縣人口成長系統之穩定性與發展態勢，俾將結果提供政府部門擬議人口發展政策之參考。



←圖 2 宜蘭縣十二市鎮鄉區位圖

資料來源：宜蘭生活服務網(<http://life.e-land.net.tw>)

² “多樣性”用語在都市文獻上有不同的意義。對都市設計者而言，它指的是混合建築類型；對規劃者而言，可意指混合使用、類別或異種族群；對於社會及文化分析者而言則主要著重於後者(Fainstein, 2005)。



二、理論基礎、灰預測模式、灰色系統分析與文獻回顧³

本節分述人口成長理論、灰色系統理論、灰預測模式與灰色系統分析之內容與建模方式，並蒐整回顧灰預測模式與人口變化探討之相關文獻。

1.理論基礎

(1)人口成長理論

人口成長是人口自然增加和社會增加的淨和。人口學英文名稱為 Demography 是由拉丁語 demos (人民) 和 graphein (描述) 兩字複合而成。人口學之研究，乃研究人口發展及其趨勢，並結合社會、經濟與生態環境等變數的一門學科。

適度人口的觀念遠在孔子大學章句中已有提及「生財有大道：生之者眾，食之者寡；為之者疾，用之者舒，則財恆足已！」(孫得雄，1979)。古希臘哲學家柏拉圖及亞里斯多德亦從城邦國家的防禦、安全與管理的觀點談適度人口的問題(李競能，2000)。從馬爾薩斯(Malthus)於1798年提出之「人口論」後，人口理論開始蓬勃發展。以下簡述馬爾薩斯之人口論(何佩娟，2006)。

馬爾薩斯認為人口增加必然受到自然的節制；而自然對人類影響最大的一種節制方式，便是食物的缺乏。如果其他條件固定情況下，一國家人口多寡，將取決於此國家所能生產以及所能取得之糧食數量。國民之是否幸福，不在於人口多寡、貧富、年輕或年老，而在於人口與糧食之間的比率。其另提到「人口的成長率與總人口數成正比。」若令 $P(t)$ 表時間 t 的人口數，且 P_0 為 $t=t_0$ 時的人口數得到之人口成長模型為指數型模式 $P(t) = P_0 e^{\lambda(t-t_0)}$ ，如圖3所示。

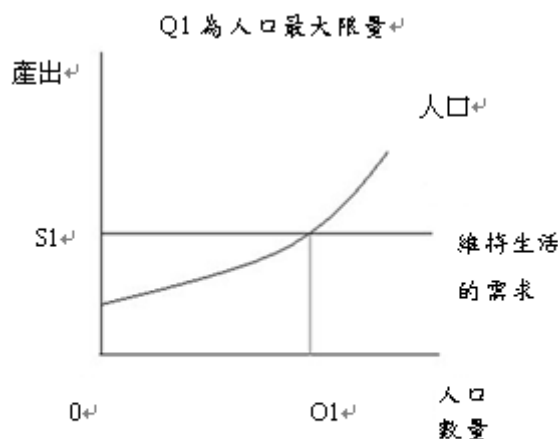


圖3 人口成長模型圖

資料來源：何佩娟，2006。

馬爾薩斯人口論之缺點在於未將知識、資本累積，生產技術進步等因素納入估算，此將使生產量上升導致其假設不成立。故從現階段事實言，如醫學進步與普及降低死亡率，同時，生產技術提

³ 本小節部分內容引自陳俊合，2008。



升，如綠色革命解決了1960年之大飢荒，將影響人口結構改變。因此馬爾薩斯人口論之假設遭到多人反對，反對學者認為其理論上的根本錯誤在於沒有從社會、科學等對人口影響的層面中認識人口問題。因為已開發國家國民會懂得節育以抑制人口上升，甚至人口成長率有下降趨勢。此外，技術進步導致糧食生產的增加也是馬爾薩斯沒料想到的，對已開發國家來說，食物只會生產過剩而非不足。

圖4為聯合國針對1750-2150年間已開發國家及少開發國家之人口趨勢變化圖。圖中可發現少開發國家中仍見馬爾薩斯之人口等比級數成長，但已開發國家則呈平穩成長，甚至自2000年最高點後有逐漸下滑趨勢。探究其因，可能受到科學技術進步及教育提升影響而有所改變，此亦為馬爾薩斯理論中為人所評論。然而馬爾薩斯之人口論從人口變化與社會經濟觀點探討仍被視為解釋人口發展趨勢之重要參考依據。(何佩娟，2006)

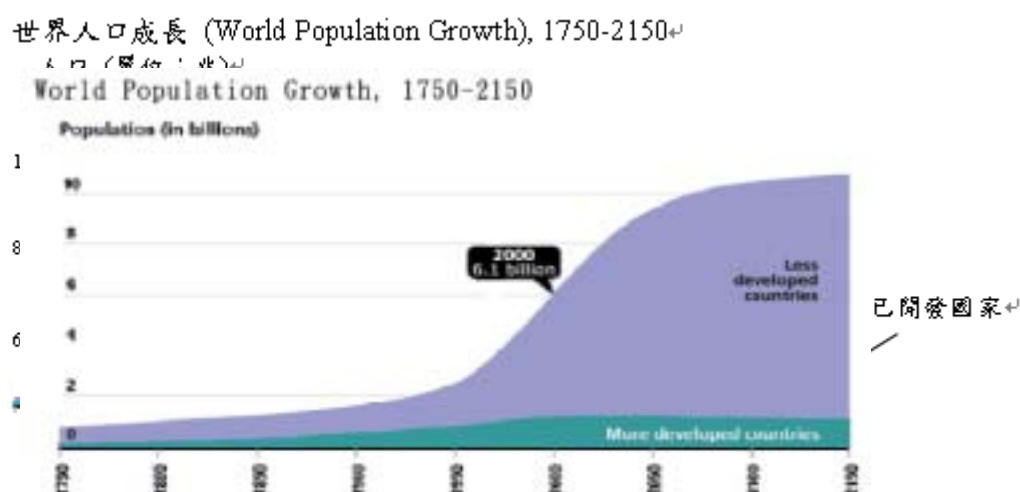


圖4 少開發國家及已開發國家人口趨勢變化圖 (1750-2150年)

資料來源: United Nations, 1999.

「推估」乃基於現況資料去推求不同未來條件或是透過不同假設設定的模型運作所得之不同預測值。「推估」為一種解釋方法，將過去的趨勢以及假設在長時間持續下，而求得未來的可能情況，不須將規劃或決策投入考慮。最普遍的人口推估，即以現況的成長率保持固定予以延伸，而顯示現存人口型態程序下對未來可能產生的衝擊(王延煌，1996)。本研究則基於宜蘭縣之現況人口資料去推估預測宜蘭縣未來可能之發展人口。

(2) 灰色系統理論

預測是根據現有之資料與數據，根據某種邏輯推理方法來建立模式，對未來將要發生(或不確定)之事件行為狀態做出主觀判斷，以達到預測之目的(鄧聚龍等，1999)。灰色系統理論主要是針對系統模型於不明確與資訊不完整之情況下，依據系統現有之行為特徵數據，來找尋各因素間之數學關係，進而推知系統之未來。



傳統預測方法如統計方法⁴、計量方法或時間序列分析等，因需較高之資訊蒐集成本，或因部分研究資料「量」取得不足而不符其理論之條件限制，使結果產生偏誤；另由於政經環境變化急速，過多歷史資料能否及時反應現況，也在資料「質」方面產生疑慮；加上傳統評估工具於面臨樣本個數不多、影響因素複雜且不確定性高等情形時，常會面臨模型複雜、模型假設不合乎現實環境與準確度不高等問題。大陸學者鄧聚龍教授於1982年提出之灰色系統理論，可有效改善上述有關資料「質」與「量」之問題(吳漢雄等，1996)。

灰色理論與模糊理論、機率統計之比較彙整如表1，此表可顯示出三者在本質內涵、數學基礎、數學運算方式、數據多寡、數據分布及完成目標上等項目之差異性：

表1 灰色理論、模糊理論及機率統計之差異性

項目	灰色理論	模糊理論	機率統計
本質內涵	小樣本且不確定	認知上不確定	大樣本且不確定
數學基礎	灰朦朧集 (hazy set)	模糊集 (fuzzy set)	康托集 (cantor set)
數學運算方式	生成方法	取邊界值	統計方法
數據多寡	少數據狀態	經驗數值狀態	多數據狀態
數據分布	任意的分布	函數的分布	典型的分布
完成的目標	現實的規律	認知的表達	歷史的統計規律

資料來源：溫坤禮等，2003，160頁；溫坤禮等，2002，A-3頁。

2. 灰預測模式

灰預測(grey prediction)係灰色系統理論內容之一，指以GM(1,1)模式為基礎，找出某數列中各個元素之動態狀況與未來發展，以對系統之未來狀態進行預測，其主要優點為所需數據不必太多(4筆)，與傳統之迴歸分析不同。其特點如下(吳漢雄等，1996)：

- (1) 灰色預測所需數據少。依據實際狀況選擇適當數量之數據即可，甚至只需四筆數據即可建模並進行預測，且可得精確之結果。
- (2) 雖然GM建立於較深之高等數學基礎上，但其計算步驟並不繁瑣。
- (3) 一般情況下，灰色預測不須太多關聯因素，故可簡化資料蒐集工作。
- (4) 灰色預測既可用於短期，亦適用於中長期預測。
- (5) 灰色預測之精準度高。於相同少量之樣本數下，比其他方法之模型預測誤差更小。

⁴ 傳統預測方法如線性迴歸模式，其需滿足30個以上之大樣本、變數間獨立、且樣本分布具有同趨勢規律之假設前提，才具有較高之預測準確率。而模式預測力之比較係目標變數預測之精確度與否，與資料數據之多寡較無關聯，如果少樣本就可得到較高之預測精確度，就模式之精簡性原則(parsimony principle)而言，該模式應屬較佳之預測模式。因此在少樣本筆數之情況下，原則是較利於灰預測模式而較不利於傳統之迴歸模式。



灰色預測模式旨在探討信息不完整之系統，能充分運用有限之數據信息來以從事分析研究，且預測能力良好。以下說明灰預測模式 GM(1,1)之建模方法(鄧聚龍，1988)。GM(1,1) 模式之一階微分方程為：

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + \alpha x^{(1)} = b \quad (2.1)$$

其中 t 為系統之自變數， α 為發展係數，b 為灰色控制變數， α, b 為模式之待定參數。假設原始數列如下所示：

$$x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)) \quad (2.2)$$

灰色系統在建模時，需先對原始數列累加生成(accumulated generating operation; AGO)，作為提供建模中間信息，與弱化原數列之隨機性。另定義 $x^{(1)}$ 為 $x^{(0)}$ 的一次 AGO 數列，即

$$\begin{aligned} x^{(1)} &= (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)) \\ &= \left(\sum_{k=1}^1 x^{(0)}(k), \sum_{k=1}^2 x^{(0)}(k), \dots, \sum_{k=1}^n x^{(0)}(k) \right) \end{aligned} \quad (2.3)$$

由(2.1)式及(2.3)式及最小平方法，求得係數 $\hat{\alpha}$ 為：

$$\hat{\alpha} = \begin{bmatrix} \alpha \\ b \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (2.4)$$

其中累加矩陣 B 為：

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)] & 1 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)] & 1 \end{bmatrix}$$

常數項向量 Y 為：

$$Y = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)]^T$$

將所求出係數 $\hat{\alpha}$ 代入微分方程，求解(2.1)式後可得近似關係為：

$$x^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{\alpha} \right] e^{-\alpha k} + \frac{b}{\alpha} \quad (2.5)$$

其中 $x^{(1)}(1) = x^{(0)}(1)$ ，將(2.5)式所得到之數列做一次累減生成(inversed-accumulated



generating operation; IAGO), 即可求得所要還原之數列, 如(2.6)式所示:

$$\overset{\Lambda}{x}(k) = \left[\overset{\Lambda}{x}(1) - \frac{b}{\alpha} \right] e^{-\alpha(k-1)} (1 - e^{-\alpha}) \quad (2.6)$$

令 $k=1,2,\dots,n$, 得還原數列為:

$$\overset{\Lambda}{x} = \left(\overset{\Lambda}{x}(1), \overset{\Lambda}{x}(2), \dots, \overset{\Lambda}{x}(n) \right)$$

經上述生成過程與模式建構後, 需再進行精確度檢驗, 以瞭解預測值與實際值間之誤差 e , 將實際值與預測值做殘差比較之殘差檢驗法, 其公式如下(鄧聚龍, 1988):

$$e(k) = \left| \frac{\overset{\Lambda}{x}(k) - \overset{\Lambda}{x}(k)}{\overset{\Lambda}{x}(k)} \right| \times 100\% \quad , k=2,3,\dots,n \quad (2.7)$$

精確度為 $1 - e(k)$, 若平均精確度大於 90%, 則此模式之預測效能良好。

3. 灰色系統分析

由前述得知GM(1,1)模型是預測模型, 藉由預測模型可預測系統某行為特徵量的發展變化, 即可以通過預測模型對系統進行分析。GM(1,1)模型一般指下述兩種形式(王治禎等, 2007):

$$(1) \quad \overset{\Lambda}{x}(x+1) = \left(\overset{\Lambda}{x}(1) - \frac{b}{a} \right) e^{-ax} + \frac{b}{a}$$

$$\overset{\Lambda}{x}(x+1) = \overset{\Lambda}{x}(k+1) - \overset{\Lambda}{x}(k) \quad (2.8)$$

$$(2) \quad \overset{\Lambda}{x}(k) = \left(\frac{1-0.5a}{1+0.5a} \right)^{k-2} \left(\frac{b - a\overset{\Lambda}{x}(1)}{1+0.5a} \right) \quad (2.9)$$

式(2.8)和(2.9)中, b 的值可以認為反映系統內行為模式的變化, 係數 a 則反映發展的態勢。若 a 為負, 則表明系統態勢是增長的, a 值越大, 表明增長越快; 反之, a 為正, 表明系統將向衰減方向發展, a 值越大, 衰減越快。對於一個系統, 若給定一個數列, 可按不同時間段取出一個子數列, 每取出一個子數列, 就可以建立一個GM(1,1)數列。若不同子數列的行為軌跡相近, 則該系統之運行機制比較平穩(王治禎等, 2007)。

4. 文獻回顧

灰預測模式應用之國內外相關文獻整理如表 2 所示, 從表 2 中可得知灰預測模式應用之相關領域及其最新之發展趨勢。



表2 灰預測模式應用相關文獻彙整表

篇名	作者	年份	內容概述
台灣地區醫師人力供需之研究—灰色預測模式之應用	韓季霖	2001	以1996~1999年醫師公會全國聯合會之會員統計做為醫師人力供給面之資料；1996~1999年國家衛生研究院所編製之門診統計做為醫師人力需求面之資料，運用灰色預測模式探討台灣地區2000~2004年之內科、外科、小兒科與婦產科各科醫師人數供需問題，其中模式之精確度最高為99.95%；最大殘差為3.05%，顯示預測模式之預測效能相當良好。
台灣地區中等教育師資人力供需之研究	蔡玉雯	2001	以1994~1999年台灣地區學年度之中等教育相關統計資料，運用灰色預測模式探討2000至2002年中等教師人力供需問題，其所建構之模式精確度最高為98.58%；最大殘差為1.69%，顯示預測模式之預測效能相當良好。
灰色理論與時間序列模型在匯率預測績效上之比較	鄭美幸、詹志明	2002	應用GM(1,1)模型進行樣本外匯率預測(ex-post)，研究結果發現當樣本過大時預測績效反而不佳，六筆資料之小樣本反有較佳績效，符合灰色預測小樣本可進行預測特性，並得到很好之預測績效。
灰色預測理論應用於汽車產業預測之研究—以台灣、大陸市場為例	趙嬭	2003	以1994~2001年台灣汽車市場的銷售量、占有率與1995~2001年大陸汽車市場之銷售量、占有率等統計資料，應用GM(1,1)模式預測2002~2006年台灣、大陸汽車之市場銷售量與各款車種之占有率，並與時間序列預測、DRI/WEFA等法進行比較，結果顯示模式平均精確度均達90%以上，顯示灰色系統亦適用於汽車產業。
匯率預測模型績效之研究--時間序列及灰色預測模型之應用	陳學毅	2004	採用適應性預期理論，應用時間序列ARIMA、GARCH及灰色預測GM(1,1)計量模型進行新台幣對美元匯率之預測，找出合適的長、短期匯率預測模型。灰色預測GM(1,1)模型相較於時間序列模型，僅需四項數據即可建立模型進行預測，且在短期匯率預測之績效上表現優良，為一具有效率且值得參考之預測模型。
台灣地區長期照護市場供需之研究—灰色預測模式之應用	李仁智	2005	以1996~2004年台灣地區老年人口及失能率等資料，應用灰色理論之GM(1,1)模式，預測2005年及2006年台灣地區長期照護資源之供給與需求。另探討台灣地區資源分布之城鄉差距、地域落差及相對匱乏比率等現象，且發現台灣地區之醫療床位數與長期照護床位數間具高度正相關性。



以灰預測GM(1,1)模式探討宜蘭縣人口預測之研究—兼論人口結構特性	陳俊合	2007	分析宜蘭縣人口之結構特性並藉由灰預測GM(1,1)模式以每兩年人口數之差值做分析，將負號取絕對值分析後再還原，以推估宜蘭縣2007年可能之人口，提供政府部門擬議人口發展政策之參考。
以灰基礎動態模型探討GDP、人口及主要能源消耗發展趨勢之研究	Guo-Dong Li, Shiro Masuda, Daisuke Yamaguchi	2008	本文提出一新的灰基礎動態模型以1995至2003年的資料去預測及分析2004 到 2010年GDP、人口及主要能源消耗發展趨勢。 提出的GM由以下過程獲得：第一，將線性迴歸統計方法整合到GM去強化其預測能力；第二，用Markov-chain符號估計去改善誤差修正之正確性；最後經由實驗驗證模型之有效性。實驗結果藉由Matlab模擬產生。
人口變化及預測之分析研究—以宜蘭縣為例	陳俊合	2008	本研究先以灰預測方法推求宜蘭縣之人口發展，並與傳統之迴歸預測方法針對預測力(forecastability)做一比較。研究發現灰預測方法在人口預測模型之預測力較傳統迴歸方法來的有效與精確。最後藉由灰預測模式推估宜蘭縣2010年之總人口及十二市鎮鄉2009年之可能人口，以提供政府部門擬議人口發展政策之參考。
應用灰預測理論預測台灣3G行動電話市場	Huei-Shr Chen, Tzung-Ming Yan and Chaang-Yung Kung	2008	本文主旨在以GM(1,1)模式預測3G行動電話之銷售量、迴歸3G發展趨勢及嘗試對3G之發展公式化適合之量測方式。結果顯示，灰預測理論能夠適合3G市場發展之預測，預測之準確性也在90%以上，回應灰預測理論適合小樣本數據之預測。

資料來源：本研究。

三、宜蘭縣人口結構特性及增減變化分析

本節針對宜蘭縣「各市鎮鄉土地面積、百分比及人口密度」、「三階段年齡百分比及其扶養比⁵」、「現住原住民人口數」、「宜蘭縣(1994-2007)戶數、人口數及戶量」、「宜蘭縣近年(2002-2007)各市鎮鄉戶數及人口數年增減」等項目其歷年及現況之探討與分析以了解宜蘭縣之人口結構特性及其增減量變化。

⁵ 所謂「扶養比」係指依賴人口對有工作能力人口的比率而言，亦即幼年人口及老年人口對青壯年人口的比率。台灣地區 2006 年平均之扶養比為 38%，意指每一百個有工作能力人口應扶養 38 個依賴人口。



表 3 宜蘭縣各市鎮鄉土地面積、百分比及人口密度比較表

區域別(District)	土地面積(平方公里) Total Area (Sq. Km.)	佔宜蘭縣總土地 面積百分比(%)	人口密度 Pop. Density (Per Sq. Km.)
宜蘭縣 Yilan County	2,143.6251	100.00	215
1.宜蘭市 Yilan City	29.4080	1.37	3,268
2.羅東鎮 Luodong Township	11.3448	0.53	6,538
3.蘇澳鎮 Su-ao Township	89.0196	4.15	482
4.頭城鎮 Toucheng Township	100.8930	4.71	313
5.礁溪鄉 Jiaosi Township	101.4278	4.73	354
6.壯圍鄉 Jhuangwei Township	38.4769	1.79	657
7.員山鄉 Yuanshan Township	111.9106	5.22	289
8.冬山鄉 Dongshan Township	79.8573	3.73	644
9.五結鄉 Wujie Township	38.8671	1.81	973
10.三星鄉 Sansing Township	144.2238	6.73	147
11.大同鄉 Datong Township	657.5442	30.67	9
12.南澳鄉 Nan-ao Township	740.6520	34.55	8

資料來源：1.內政部戶政司，2007。

2.本研究。

由表 3 可知宜蘭縣之平均人口密度為每平方公里 215 人，其中以羅東鎮之土地面積最小(僅佔宜蘭縣總土地面積之 0.53%)，然而人口密度卻最高，每平方公里 6,538 人；宜蘭市之人口密度次之，每平方公里 3,268 人；五結鄉以每平方公里 973 人位居第三。其次分別為壯圍鄉(每平方公里 657 人)、冬山鄉(每平方公里 644 人)、蘇澳鎮(每平方公里 482 人)、礁溪鄉(每平方公里 354 人)、頭城鎮(每平方公里 313 人)、員山鄉(每平方公里 289 人)、三星鄉(每平方公里 147 人)、大同鄉及南澳鄉之土地面積合計約佔宜蘭縣總土地面積 65.22%，但因屬偏遠山區，每平方公里之人口密度未達 10 人。

表 4 宜蘭縣與其他縣三階段年齡百分比及其扶養比分析表

區域別	年齡分配百分比			扶養比(%)
	0~14	15~64	65+	
台灣地區	17.6	72.2	10.2	38
宜蘭縣	17.4	70	12.6	43
苗栗縣	17.7	69.3	13.0	44
南投縣	17.0	70.0	13.0	43
雲林縣	16.9	68.7	14.4	46



嘉義縣	16.0	68.9	15.1	45
臺南縣	15.8	71.6	12.6	40
臺東縣	17.1	70.2	12.7	42
澎湖縣	15.7	69.3	15.0	44
金門縣	14.2	73.1	12.7	37

註：本表主要呈現老年人口比例高(等)於宜蘭縣之縣市，低於宜蘭縣之其他縣市則不予列入。

資料來源：1.內政部戶政司，2007。

2.本研究。

由表 4 得知宜蘭縣之人口結構中幼年人口（0~14 歲）佔 17.4%，青壯年人口(或稱工作年齡人口；15~64 歲) 佔 70%，而老年人口（65 歲以上）比率偏高佔 12.6%，已達到聯合國世界衛生組織所定義之高齡化社會⁶。但仍有其他縣之老年人口比率高於宜蘭縣，如嘉義縣(15.1%，居台灣地區之冠)、澎湖縣(15.0%)、雲林縣(14.4%)、南投縣(13.0%)、苗栗縣(13.0%)、金門縣(12.7%)...等縣。宜蘭縣之扶養比為 43%，較台灣地區之平均扶養比 38%高，此為幼年及老年人口合計所佔比率偏高之故。

表 5 宜蘭縣現住原住民人口數

單位：人

區域別	總計			平地原住民			山地原住民		
	計	男	女	計	男	女	計	男	女
宜蘭縣	14,477	7,296	7,181	1,738	799	939	12,739	6,497	6,242
(百分比)	(100%)	(50.40%)	(49.60%)	(100%)	(45.97%)	(54.03%)	(100%)	(51.00%)	(49.00%)

資料來源：1.內政部戶政司，2007。

2.本研究。

由表 5 得知宜蘭縣現住之原住民計有 14,477 人，其中平地原住民 1,738 人，山地原住民 12,739 人，且男、女生之百分比分別為 50.40%與 49.60%。

表 6 宜蘭縣(1993-2008)戶數及人口數統計表

項目 年次	戶數 (戶)	年增減 量	人口數(人)				戶量 (人/戶)
			合計	年增減量	男	女	
1993	108,942	---	462,509	---	240,260	222,249	4.25
1994	111,928	2,986	464,359	1,850	240,698	223,661	4.15
1995	116,220	4,292	465,043	684	241,017	224,026	4.00
1996	120,022	3,802	465,120	77	241,321	223,799	3.88
1997	123,962	3,940	466,603	1,483	241,958	224,645	3.76

⁶ 聯合國世界衛生組織所定義之高齡化社會其老年人口之比率為 7%。



1998	127,466	3,504	465,627	-976	241,261	224,366	3.65
1999	130,059	2,593	465,004	-623	240,727	224,277	3.58
2000	133,143	3,084	465,186	182	240,691	224,495	3.49
2001	134,568	1,425	465,799	613	240,529	225,270	3.46
2002	135,914	1,346	464,107	-1,692	239,410	224,697	3.41
2003	137,921	2,007	463,285	-822	238,839	224,446	3.36
2004	141,006	3,085	462,286	-999	238,153	224,133	3.28
2005	142,776	1,770	461,586	-700	237,326	224,260	3.23
2006	144,669	1,893	460,426	-1160	236,447	223,979	3.18
2007	146,924	2,255	460,398	-28	235,952	224,446	3.13
2008	149,839	2,915	460,902	504	235,855 (51.17%)	225,047 (48.83%)	3.08

資料來源：1.宜蘭縣政府主計處，2002-2008。

2.宜蘭縣政府民政局戶政資訊網，2008。

3.本研究。

由表 6 得知宜蘭縣之人口數除在 1994 年增加 1,850 人、1997 年增加 1,483 人、2002 年減少 1,692 人及 2006 年減少 1,160 人外，其餘皆呈現千人以下之年增減量，然戶數卻呈逐年遞增狀態，惟戶量(人/戶)從 1993 年之每戶平均 4.25 人降至 2008 年之每戶平均 3.08 人，此推測應與結婚新成立之家戶、家戶成員獨立新設戶口及出生率之普遍下降有關。2008 年男、女人口佔總人口數之比例分別為 51.17% 及 48.83%。

四、一維灰色系統分析探討宜蘭縣人口成長變動

本節將針對一維灰色系統分析探討宜蘭縣之人口成長變動情形，若人口成長數列變化緩慢，無大起大落現象，則此人口成長數列為平穩序列。

1. 灰預測模式

本節以宜蘭縣近 5 年(2004-2008)之人口(參見表 6)為基礎，所取之值彙整如表 7，利用灰預測模式 GM(1,1)評估宜蘭縣之人口成長是否為平穩序列，並推測 2012 年之可能發展人口。

表 7 宜蘭縣(2004-2008)總人口(人/年)

年	2004	2005	2006	2007	2008
人口數	462,286	461,586	460,426	460,398	460,902

資料來源：摘錄自表 6。



(1) 原始序列： $x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), x^{(0)}(4), x^{(0)}(5))$
 $= (462286, 461586, 460426, 460398, 460902)$

另外， $x^{(0)}$ 的兩個可能的子序列分別為

$$x_1^{(0)} = (x^{(0)}(1_1), x^{(0)}(2_1), x^{(0)}(3_1), x^{(0)}(4_1)) = (462286, 461586, 460426, 460398)$$

$$x_2^{(0)} = (x^{(0)}(2_2), x^{(0)}(3_2), x^{(0)}(4_2), x^{(0)}(5_2)) = (461586, 460426, 460398, 460902)$$

以下通過 $x^{(0)}$ 、 $x_1^{(0)}$ 、 $x_2^{(0)}$ 分別建立 $GM(1,1)$ 、 $GM(1,1)_1$ 、 $GM(1,1)_2$ 模型，即建立不同時期之人口成長行為模式，分析人口成長情況穩定性，並評估人口成長的發展態勢和預測行為特徵量(人口成長)之發展變化。

(2) 建立模式

對於 $x_1^{(0)}$ 首先做 AGO 生成，即

$$x_1^{(1)} = AGO x_1^{(0)} = (x^{(0)}(1_1), x^{(0)}(2_1), x^{(0)}(3_1), x^{(0)}(4_1))$$

$$= (462286, 923872, 1384298, 1844696)$$

依據 AGO 之生成規則，構成 AGO 生成序列，累加生成表明 $x_1^{(1)}$ 中每一個信息都是前幾個數據之綜合信息。

(3) 均值生成： $z^{(1)} = (693079, 1154085, 1614497)$

(4) 建構 Y 矩陣： $Y = \begin{bmatrix} 923872 \\ 1384298 \\ 1844696 \end{bmatrix}$

(5) 建構 B 矩陣： $B = \begin{bmatrix} -693097 & 1 \\ -1154085 & 1 \\ -1614497 & 1 \end{bmatrix}$

(6) 解析模型精度：利用 $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y$ 公式求出

$$a = 0.0012895809$$

$$b = 462291.3640104197$$



(7) 建構 $GM(1,1)_1$ 模式：

$$\begin{aligned} \hat{x}_1^{(1)}(k+1) &= [x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}]e^{-ak} + \frac{b}{a} \\ &= (462286 - \frac{462291.3640104197}{0.0012895809})e^{-(0.0012895809 k)} + \frac{462291.3640104197}{0.0012895809} \\ &= -358019577 e^{-0.0012895809 k} + 358481863 \end{aligned}$$

依照上述步驟建立 $x^{(0)}$ 和 $x_2^{(0)}$ 的 $GM(1,1)$ 模型。

對於 $x^{(0)}$ 作 AGO，即

$$\begin{aligned} x^{(1)} &= AGOx^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), x^{(0)}(4), x^{(0)}(5)) \\ &= (462286, 923872, 1384298, 1844696, 2305598) \end{aligned}$$

從而模型精度為：

$$a = 0.0004516876 \quad ; \quad b = 461453.2268437198$$

而 $GM(1,1)$ 模型為

$$\begin{aligned} \hat{x}^{(1)}(k+1) &= [x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}]e^{-ak} + \frac{b}{a} \\ &= (462286 - \frac{461453.2268437198}{0.0004516876})e^{-(0.0004516876 k)} + \frac{461453.2268437198}{0.0004516876} \\ &= -102115802 6e^{-0.0004516876 k} + 1021620312 \end{aligned}$$

對於 $x_2^{(0)}$ 作 AGO，即

$$\begin{aligned} x_2^{(1)} &= AGOx_2^{(0)} = (x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), x^{(0)}(4), x^{(0)}(5)) \\ &= (462286, 923872, 1384298, 1844696, 2305598) \end{aligned}$$

從而模型精度為：

$$a = -0.0005168445 \quad ; \quad b = 459979.7784333983$$

而 $GM(1,1)$ 模型為

$$\begin{aligned} \hat{x}_2^{(1)}(k+1) &= [x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}]e^{-ak} + \frac{b}{a} \\ &= (461586 - \frac{459979.7784333983}{-0.0005168445})e^{-(-0.0005168445 k)} + \frac{459979.7784333983}{-0.0005168445} \\ &= 890438704e^{0.0005168445 k} - 889977117.7 \end{aligned}$$



根據計算結果，不同時期人口成長行為模式列於表 8。

表 8 宜蘭縣不同時期人口成長行為模式

模式時區	行為模式
1-4	$x_1(k+1) = -358019577 e^{-0.0012895809 k} + 358481863$
2-5	$x_2(k+1) = 890438704 e^{0.00051684 45k} - 889977117.7$
1-5	$x(k+1) = -102115802 6e^{-0.00045168 76k} + 1021620312$

(8) 人口成長的穩定性與行為預測

為瞭解宜蘭縣人口成長運行機制的穩定性，需知道不同時區的行為軌跡。故分別對 $GM(1,1)_1$ 、 $GM(1,1)_2$ 及 $GM(1,1)$ 求預測值，可得行為軌跡，如表 9。

表 9 宜蘭縣不同模式時區的行為軌跡

序號	5	6	7	8	9
年份	2008	2009	2010	2011	2012
$GM(1,1)_1$ 的行為軌跡 x_1	$\Lambda^{(1)}$ 459024	458432	457841	457251	456662
$GM(1,1)_2$ 的行為軌跡 x_2		$\Lambda^{(1)}$ 461528	461767	462006	462245
$GM(1,1)$ 的行為軌跡 x		$\Lambda^{(1)}$ 460100	459892	459685	459477

由表 9 知，3 個行為軌跡 x_1 、 x_2 與 x 的第 6 個數據分別為，其相對誤差值的平均數為：

$$(461528-458432) / 461528=0.67\%$$

$$(461528-460100) / 461528=0.31\%$$

$1/2 (0.67\%+0.31\%)=0.49\%$ ，故平均數為 0.49%。

同理，第 7 個平均數的相對誤差值的平均數為

$$1/2 (0.85\%+0.41\%)=0.63\%$$

同理，第 8 個平均數的相對誤差值的平均數為

$$1/2 (1.03\%+0.50\%)=0.77\%$$



同理，第 9 個平均數的相對誤差值的平均數為

$$1/2 (1.21\%+0.60\%)=0.90\%$$

由於行為軌跡間之相對誤差值平均數均小，說明人口成長機制是穩定的。2012 年的宜蘭縣人口數約為 $1/3(456,662+462,245+459,477)=459,461$ 人

五、結論與建議

馬爾薩斯從人口變化與社會經濟觀點探討人口仍被視為解釋人口發展趨勢之重要參考依據，其人口論中有關人口成長的模型與趨勢係大部分區域可能發生之人口成長型態，然而宜蘭縣的人口預測結果並非依如此之型態變化，其主要原因在於宜蘭縣以往之交通可及性及產業發展聚集並非為正成長效應，導致宜蘭縣各市鎮鄉之人口並非皆為正成長，故人口預測模型及趨勢與馬爾薩斯的人口論有所出入，此可引發思考與瞭解人口成長並非僅朝單一型態變化，其間尚受交通、產業、社會、經濟等因素之交互影響。

經本研究應用灰色系統分析法探討與分析後發現，宜蘭縣人口成長機制是穩定的，而宜蘭縣在 2012 年的平均人口約為 459,461 人。此結果可提供政府部門擬議人口發展政策與配合人口成長相關公共設施建設投入措施之參考。

參考文獻

1. Krueckeberg, D. A. & A.L. Silvers 著，錢學陶編譯。都市規劃計量方法—方法與模型，桂冠圖書公司(1991)。
2. Guo-Dong Li, Shiro Masuda, Daisuke Yamaguchi. "A Study on The Development Trends of GDP, Population And Primary Energy Consumption by Grey-based Dynamic Mode", 11(2), Journal of Grey System, 73-84(2008).
3. Huei-Shr Chen, Tzung-Ming Yan and Chaang-Yung Kung. "Application of Grey Prediction Theory to Forecast 3G Mobile Phone in Taiwanese Market", 11(1), Journal of Grey System, 43-48(2008).
4. Fainstein, S. S.. "Cities and Diversity: Should We Want It? Can We Plan For It?", urban affairs, 41(1), pp.3-19(2005).
5. United Nations. World Population Prospects, The 1998 Revision and Estimates by the Population Reference Bureau(1999).
6. 王治禎、柏景方。灰色系統及模糊數學在環境保護中的應用。哈爾濱工業大學出版社(2007)。
7. 王延煌。人口對教育的影響：以臺閩地區國民教育發展為例。國立政治大學教育學系碩士論文(1996)。



8. 內政部戶政司，戶籍人口統計年報(2007)。
9. 李仁智。台灣地區長期照護市場供需之研究—灰色預測模式之應用。元培科學技術學院經營管理研究所碩士論文(2005)。
10. 李競能。人口經濟理論研究，天津市：南開大學出版社(2000)。
11. 何佩娟。我國人口變化與未來國小教育發展關係之研究以宜蘭縣為例。佛光大學未來學研究所碩士論文(2006)。
12. 宜蘭縣政府主計處。宜蘭縣統計要覽(2002-2006)。
13. 宜蘭生活服務網(<http://life.e-land.net.tw>)。
14. 宜蘭縣政府民政局戶政資訊網(http://hrs.e-land.gov.tw/default.asp?Sysno=H_09)(2007)。
15. 孫得雄。我國人口政策與人口計劃之探討。台北：行政院研考會(1979)。
16. 陳俊合。灰色系統分析探討人口成長變動之研究--以宜蘭縣為例。2009 年第十四屆灰色系統理論與應用研討會，137-146 頁，德霖技術學院(2009)。
17. 陳俊合。人口變化及預測之分析研究—以宜蘭縣為例，正修學報，第 21 期，55-76 頁(2008)。
18. 陳俊合。以灰預測 GM(1,1)模式探討宜蘭縣人口預測之研究—兼論人口結構特性，蘭陽學報，第 6 期，40-50 頁(2007)。
19. 陳學毅。匯率預測模型績效之研究--時間序列及灰色預測模型之應用。東海大學國際貿易研究所碩士論文(2004)。
20. 溫坤禮、黃宜豐、陳繁雄、李元秉、連志峰、賴家瑞編著。灰預測原理與應用，全華科技圖書股份有限公司(2002)。
21. 楊奕農。時間序列分析，雙葉書廊(2005)。
22. 趙嬭。灰色預測理論應用於汽車產業預測之研究—以台灣、大陸市場為例。朝陽科技大學企業管理研究所碩士論文(2003)。
23. 鄭美幸、詹志明。灰色理論與時間序列模型在匯率預測績效上之比較。台灣金融財務季刊，第三輯第二期，95-104 頁(2002)。
24. 蔡玉雯。台灣地區中等教育師資人力供需之研究。銘傳大學管理科學研究所碩士論文(2001)。
25. 韓季霖。台灣地區醫師人力供需之研究—灰色預測模式之應用。銘傳大學管理科學研究所碩士論文(2001)。

