利用 Lotka-Volterra 關係探討旅遊人次與 GDP 共同演化的系統動力學模型

林家茜

南亞技術學院休閒事業管理系

摘要

本文以生態學的「生物族群關係」(LVR，Lotka-Volterra Relation)為理論架構以系統動力學的模擬方法，全面仿真『臺灣入境遊客人次』與『臺灣 GDP』之間的『生物族群共生關係』。本文分兩部分，基本模型和滾動修正，後者根據預測環境的外部變化和適時資料修正基本模型。研究結果顯示臺灣政黨輪替後兩岸關係惡化，臺灣入境遊客由基本模型的指數式增長轉變為 V 或 W 型成長。

關鍵字：Lotka-Volterra 關係、遊客人數預測、GDP、系統動力學

Email: lincc@nanya.edu.tw　Tel:03-4361070#4132

A TOURISTS SYSTEM DYNAMICS MODEL BASED ON LOTKA-VOLTERRA RELATION

Chia-Chien Lin

Department of Leisure Management,
Nanya Institute of Technology, Taoyuan,Taiwan

Abstract

Lotka-Volterra relationship in ecology theory is also known as “predator-prey” relationship, and it researches the competitive and cooperation issue among the biological population. The paper introduces into the research of tourism studies, and builds the second-order model of system dynamics on the competitive and cooperation relationship between “Taiwan inbound tourists person-time” and “Taiwan GDP”. The model has two “stocks” of “Taiwan inbound tourists person-time” and “Taiwan GDP”, LVR differential equation is used to show the corresponding “flow” of two stocks. The simulation length of the model is from 1981 to 2020, it does not only include the review from 1981 to this year, but also include the prediction from present to 2020. The result can show that the mutual relationship between “Taiwan inbound tourists person-time” and “Taiwan GDP” is just like “symbiotic relationship” among ethnic groups in biology. The simulation can reveal two phenomenon which can be experienced while not easy to be proved, firstly, the Taiwan’s GDP increase is the underlying cause of the rising number of Taiwan inbound tourists, secondly, the increase of Taiwan inbound tourists promotes the improvement of Taiwan GDP. Usually, the existence of the above two phenomena needs to be verified with statistical regression, and the conclusion is just yes or no.

Key words: Lotka-Volterra relationship, tourism forecasting, GDP, System Dynamics

Email: lincc@nanya.edu.tw　Tel:03-4361070#4132

壹、研究背景

觀光客的需求預測主要可分為時間序列和計量經濟兩大類，應用最廣泛的是計量經濟模型(林長瑞，2014)，但也有學者指出時間數列模式有比較精確的預測效果(Athiyaman & Robertson, 1992)。吳柏林(1995)在比較各種預測方法的作業成本與預測精度後，指出計量經濟與類神經網路比較適合長期預測，精度也略勝一籌，但這些模型的理論支援體系很複雜而且模型的作業成本也較高。

本文的研究方法與上述兩類模型完全不同，藉由生物學的觀點把「入境觀光」和「在地經濟」視為兩類互動的生物族群，並以 Lotka-Volterra 理論為基礎探討兩者的相互依賴關係。這是觀光數量研究的第三種途徑，儘管過去已有旅遊的 LVR 模型(Alessandro Romano, 2016)，但系統動力學模擬的旅遊類 LVR 模型僅見於「日月潭和阿里山旅遊目的地競爭」(陶在樸，2016)。

貳、文獻討論

美國物理生物學家 Lotka 於 1925 年出版「物理生物學原理」一書，同時期大西洋彼岸的義大利數學家 Volterra (1926)為了解釋當時亞德里亞海域中魚類數量的起伏現象，出版了「物種波動的數學思考」，兩位大師級學者不約而同的構建了「掠食者」與「獵物」(Predator-Prey)的生態學關係，自此，西方文獻常用他們的姓氏稱呼此類模型，英文為 Lotka-Volterra Relation，縮寫為 LVR。

LVR 模型本來用於討論相同環境中兩類物種族群之間的交互關係，一類稱為「掠食者與獵物」關係，如山兔與野貓；另一類稱為「互利共生」關係，如寄居蟹與海葵、牛背鷺和水牛。1980 年代 LVR 模型開始移植到社會經濟領域，例如，Dendrinos and Mullally (1985)把城市人口比喻為掠食者，把人均收入比喻為獵物，得到城市人口和人均所得的關係。Cappello and Faggian (2002)把人口比喻為獵物，將土地價格比喻為掠食者，得出人口與地價的發展關係。陳彥光和週一星(2007)用 LVR 刻劃中國城市化過程的非線性動力學過程。謝舜傑、陳怡睿、黃哲仁、李俊榮(2009)藉 LVR 模式構建臺灣都市與鄉村的互動發展模式，利用 1921-2005 年臺灣人口統計資料，利用 SPSS 逐步回歸分析方法求解 LVR 模式的各種係數。

影響更大的是聯合國以 LVR 為基礎的全球城市化模型(UN, 2007)。此後 Puliafito (2008)把 LVR 引入更大的應用範圍，包括世界人口、GDP、基本能源消費和二氧化碳排放，他所得出的長期關係(1850-2150)和聯合國政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)的研究結論是一致的。

近年來旅遊觀光研究開始引入 LVR 模型，洪麗珠(2009)研究旅行社的競合策略，如高價位與中價位旅行社的競爭產品的相互滲透，探討兩種市場互利共生的基礎與相互依存關係；結果發現中價位旅行社的存在將有助於原市場的發展。黃敬芸(2013)研究臺灣離島觀光產業之中，離島間的競合關係，黃髮展出動態旅客人數預測模式，並以 LVR 模式為基礎，將臺灣馬祖、金門等六個觀光離島的觀光旅客人數資料，代入構建的動態旅客量競爭模式，以 EViews7 軟體進行模擬，結果顯示 LVR 模式可成功預測離島觀光人數及其競合關係。

另一方面系統動力學模型近年來也在旅遊觀光研究中得到更快速的發展，如徐紅罡、鄭海燕、保繼剛(2005)建構了一般城市旅遊發展的系統動態模型。王賢吉(2007)用模糊德爾菲法篩選系統因數，利用系統動力學電腦軟體 STELLA 為工具，建構出劍湖山世界主題樂園永續經營系統動態學模型。Jin (2009)以系統動態學方法分析郊區旅遊趨勢發展，實證了郊區旅遊趨勢主要受新的假日政策影響。Suryani, Chou and Chen (2010)以系統動態學模擬航空客運需求，並評估有關跑道的通過能力和論證客運航站容量擴充的條件。Manataki and Zografos (2010)根據不同的需求和資源調配情境，對雅典國際機場航站的績效進行評估。Li, Dong and Li (2012)以系統動態學分析環境及生態農業的經濟影響並評估 2009-2050 年的長期發展。校正興(2013)探討臺灣國際觀光旅館產業型態及發展結構與趨勢，發現產業投資策略對於旅館產業的未來發展影響最大。吳怡彥(2008) 以陽明山國家公園為例，透過系統動態學方法建構生態旅遊地與所在都市間的互動關係。結果顯示隨著生態旅遊的推展，都市旅遊人口亦將顯著上升，雖可帶動都市產值，卻大幅增加都市二氧化碳排放。林千琪(2013)以系統動力學建構生態旅遊之價值評估模型，並評估安平水鳥濕地公園的生態旅遊價值與長時間發展之動態變化。系統動力學有助於理解和模擬旅遊系統中的各種行為模式因而適用的範圍廣泛，Marek Zanker (2020)最近完成 2010-2020 十年來系統動力學 46 個旅遊模型的文獻評估，這些模型涉及:海濱旅遊、可持續旅遊、低碳經濟、目的地管理、決策、規劃等等。

經典的 LVR 模型利用簡單的微分方程研究變量之間的消長關係而系統動力學為模擬各種微分方程提供模擬手段，此即本研究之目的。

參、研究方法

一、基礎與原理

首先討論如何由 LVR 模型測試兩個生物群體的平衡關係，如果我們將兔子比喻為獵物(prey)，以狐狸比喻為掠食者(predator)。假定兔子在它的生態區位內有足夠的食物，兔子因自然繁殖而族群不斷增大。與此同時，如果狐狸沒有其他獵物取代兔子作食物，狐狸最終會因兔子不足而滅絕。

若將兔子的數目記為 X，狐狸的數目記為 Y，則 LVR 的一般微分方程如下：

$$dX = aX - bXY - mX^2 \tag{1}$$

$$dY = -cY + dXY - nY^2 \tag{2}$$

式中 a、b、c、d、m 和 n 均為係數。

公式(1)表示獵物兔子 X 在單位時間內(周、月、年)的增加量 dX，獵物在單位時間內可增加也可能減少，即 dX 可能是正值，也可能是負值。由公式(1)可知，dX 由三部分組成，第一部分是「自然成長」，即環境中沒有天敵(掠食者)時兔子的繁殖量，第二部分是兔子不幸遇到天敵時的犧牲量，第三部分是兔子生態環境承載量對兔子增加量額限制量。

公式(1)右側第一項 aX 表示上述第一部分「自然成長」的增加量，其中 a 稱為獵物 X 的內在成長率，即 y=0 和 m=0 時 dX 的解。公式(1)右側第二項 bXY 是負的非線性項，係數 b 表示獵物的犧牲率，即一個獵物遇到一個捕食者時可能犧牲的數量。式(1)中的第三項 mX^2 是另一個負的非線性項，係數 m 表示一個獵物和其他獵物同時出現時因「擁擠」而形成的獵物成長量損失。

與公式(1)的結構相仿，公式(2)dY 中的第一項是負的線性項，c 表示捕食者的自然死亡率，即 X=0 和 n=0 沒有獵物條件下，掠食者的死亡率。第二項是正的非線性項，係數 d 表示每個捕食者遇到一個獵物的條件下，掠食者族群因此而增加的數值；第三項是負的非線性項，係數 n 表示資源有限條件下，捕食者種群因擁擠而損失的掠食者數量。

如果 X 和 Y 並非上述獵物和掠食者的關係，相反是寄生物與宿主的關係，那麼係數 a、b、c、d 均為正號，此時稱物種 X 和物種 Y「共生演化」，儘管如此，共生物的增長仍因資源有限而存在對增長的遏制現象，因此 m 和 n 均為負號表示「擁擠」造成的損失，於是共生種群的 LVR 公式如下。

$$\mathrm{d}X = aX + bXY - mX^2 \tag{3}$$

$$dY = cY + dXY - nY^2 \tag{4}$$

二、LVR 關係的系統動力學回饋環

系統動力學中的因果回饋環(Causal Feedback Loops)是用來表達變數與變數之間的因果與互動關係，有兩種可能的回饋環，一種是不斷自我增強的正回饋環路，另一種相反，是你強我弱的負反饋環路。圖 1 是根據 LVR 關係而設計的回饋環。

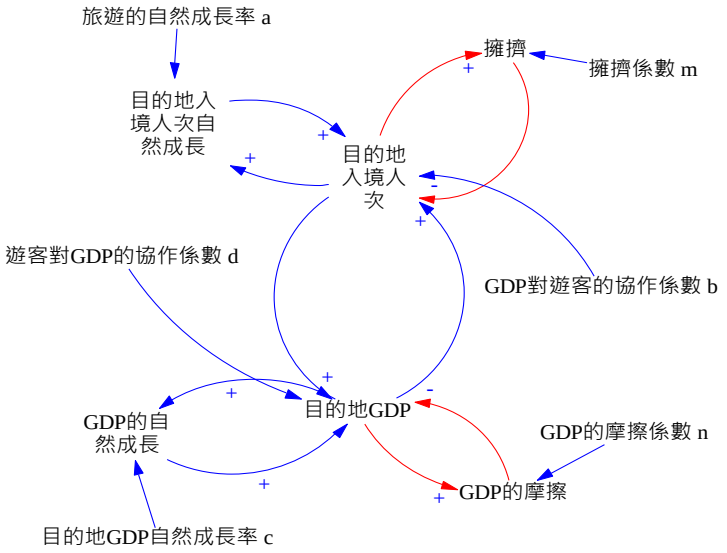

圖 1　LVR 模型的基本因果關係環

所謂回饋環路是指箭頭符號首尾相連的路線，本模型共有五個主環：

（一）影響目的地入境人次有三個主要環路，兩正一負(圖 2)

目的地入境人次自然成長與目的地人次之間是正的回饋環，如同人口模型中每年新增的人口數越多則自然成長的新增人口也越多。下一時刻的入境人次與上一時刻的人次有正的關聯。

GDP 與入境人次之間是第二個正回饋環，旅遊目的地入境遊客越多，則 GDP 越多；GDP 越多，目的地的整體引力更大。因此 GDP 越大入境人次越多

入境人次越多，擁擠度越大，入境的願望減小，因此擁擠與入境人次之間是一個負反饋環。

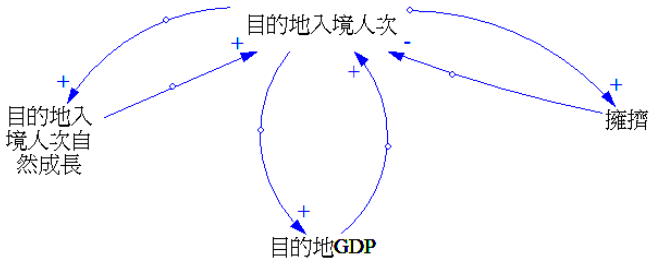

圖 2　目的地入境人次子系統因果關係圖

（二）影響目的地 GDP 的也有三個主要環路，也是兩正一負(圖 3)

入境人次與在地 GDP 之間是第一個正回饋。此刻 GDP 與下一刻 GDP 之間的數量關係，就像人口自然成長的關係也是正回饋的，這是第二個正回饋。可是另一方面 GDP 越多 GDP 增長的摩擦越大這是一個 GDP 增長的自限制的負反饋環。

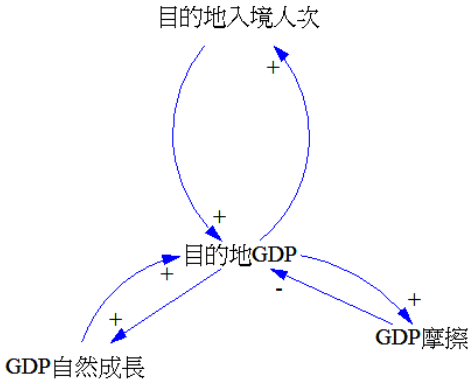

圖 3　目的地 GDP 子系統因果關係圖

本模型的兩個狀態變數為「目的地入境旅遊人次」和「目的地 GDP」，它們的變化取決於上述多重回饋環路的複雜關係。當負反饋環占上峰，狀態變數的數值將變小，相反當正回饋環占上峰，狀態變數的數值將增大，如果正負反饋環旗鼓相當，狀態變數則無變化。

三、基本資料

近年來臺灣政府為推動觀光發展進行許多改革，諸如 2008 年開放陸客來台觀光、放寬簽證規定、簡化入出境程式、拓展國際航線等各項措施。根據聯合國世界旅遊組織(UNWTO)近年發佈的「世界旅遊晴雨表」(UNWTO World Tourism Barometer)資料：

（一）近 10 年臺灣國際觀光收入呈現兩位數的成長，平均成長率高達 23.2%，優於香港(22.4%)、新加坡(16.2%)、南韓(8.3%)，是亞太主要國家(地區)中表現最佳者。

（二）2009-2012 年臺灣國際旅客入境人數平均成長率為 17.6%，遠高於全球(2.8%)及亞太地區(6.2%)水準。2012 年各國受歐債危機衝擊，全球旅遊市場相對低迷，國際旅客平均成長率僅達 3.8%，低於 2011 年(4.7%)與 2010 年(6.5%)水準；惟臺灣國際旅客依舊大幅成長 20.1%，遠高於全球與亞太地區(6.8%)成長水準。2015 年來台旅客數更創歷史新高，達 10,439,785 人次，年成長率 5.3%，該年全球成長率為 4.4%。臺灣歷年(1981-2015)的入境遊客人次和同期 GDP 基本資料如表 1 ，成長趨勢如圖 5。

表 1 臺灣歷年入境遊客人數和 GDP 統計(1981-2015 年)

年	入境遊客人次	遊客成長率	GDP 06 年價百萬元	GDP 成長率
1981	1,409,465	1.16%	2,714,355	
1990	1,934,084	-3.49%	5,735,769	7.88%
2000	2,624,037	8.82%	9,570,584	-1.65%
2001	2,831,035	7.89%	10,074,337	5.26%
2002	2,977,692	5.18%	10,443,993	3.67%
2003	2,248,117	-24.50%	11,090,474	6.19%
2004	2,950,342	31.24%	11,612,093	4.70%
2005	3,378,118	14.50%	12,243,471	5.44%
2006	3,519,827	4.19%	12,975,985	5.98%
2007	3,716,063	5.58%	13,070,681	0.73%
2008	3,845,187	3.47%	12,834,049	-1.81%
2009	4,395,004	14.30%	14,215,069	10.76%
2010	5,567,277	26.67%	14,792,928	4.07%
2011	6,087,484	9.34%	14,978,940	1.26%
2012	7,311,470	20.11%	15,029,859	1.48%
2013	8,016,280	9.64%	15,343,607	2.09%
2014	9,910,204	12.36%	16,847,123	5.69%
2015	10,439,785	10.53%	17,465,412	3.67%

資料來源：遊客資料取自觀光局網站，GDP資料取自主計處網站資料。

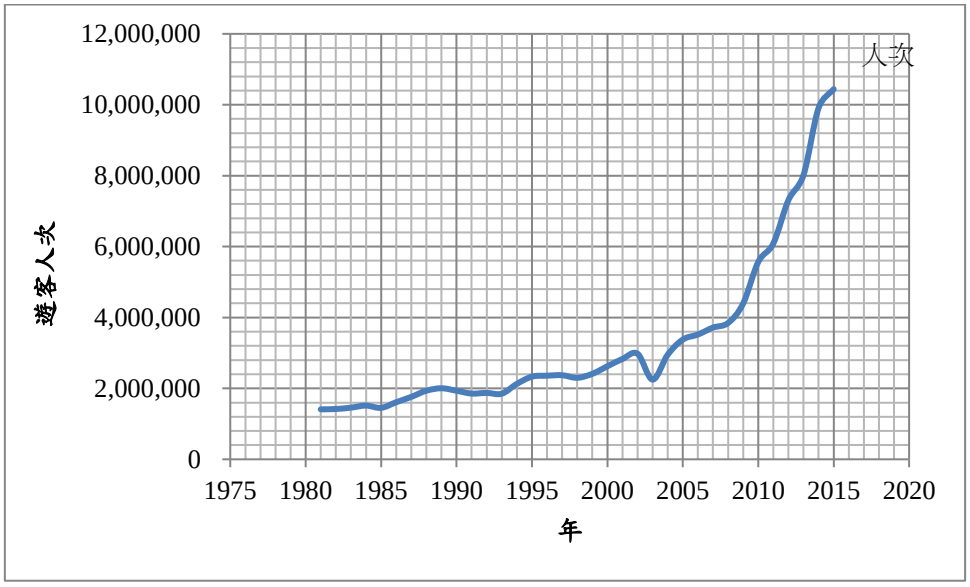

圖 4 臺灣入境遊客人次歷年統計圖

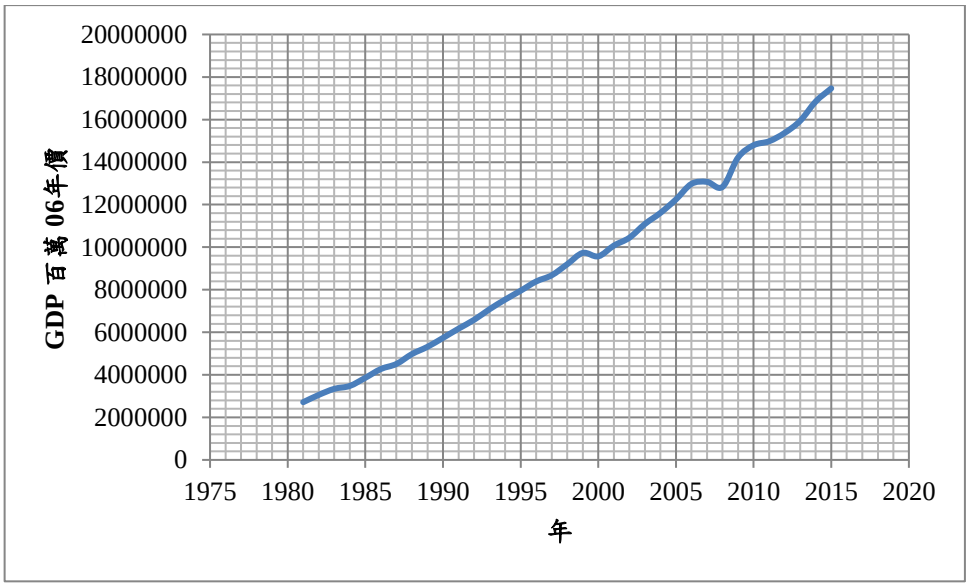

圖 5 臺灣 GDP 歷年統計圖

如圖 4 所示，1981 年入境臺灣的遊客總數為 1,409,465 人次，2015 年成長到 10,439,785 人次，34 年間平均成長率為 6.07%。如圖 5 所示 1981 年臺灣名目 GDP 為 2,714,355(百萬元台幣，2006 年價)，2015 年成長到 17,465,412 (百萬元，2006 年價)，34 年間平均成長率 5.63%。

肆、LVR 的系統動力學模擬

一、LVR 系統動力學基本模型流程圖

整個模型設計採用隨時間滾動的模擬方式，「基本模型+調整系統」，本節介紹基本模型部分,模擬輸出資料適用於 2016 年之前。基本模型的流程如圖 6 包括：模型的各種變數以及變數間的回饋關係。

基本模型是一個簡單的二階模型，共有兩個狀態變數：入境遊客數和當地的 GDP。每個狀態變數各有自己對應的流量(年增量)，一個是遊客年增量，另一個是 GDP 增量。以入境遊客 X 的流量為例，它由三部份組成，分別是:第一增量，即狀態變數 X 的內在成長部份，即公式(3)右側的第一項(aX)；第二增量，即公式(3)右側的第二項(+bXY)，它表示兩個狀態變數間的互動關係；第三增量，即公式(3)右側的第三項(-mX2)，它表示狀態變數 X 自我設限的部份。

相同的，當地 GDP 的流量也是三部分組成，分別是：第一增量，即狀態變數 Y 的自然成長部份，也就是公式(4)右側的第一項(cY)；第二增量，即公式(4)右側的第二項(+dXY)，它表示兩個狀態變數間的促進關係；第三增量，即公式(4)右側的第三項(-nY2)，它表示狀態變數 Y 自我設限的部份。

經典的 LVR 方程組合如上所述，因此其他與旅遊相關的變量如旅遊消費或停留時間皆不於納入。就模擬而言凡與前述公式（1）、（2）、（3）和（4）無關的參數均不會納入流程圖 6。

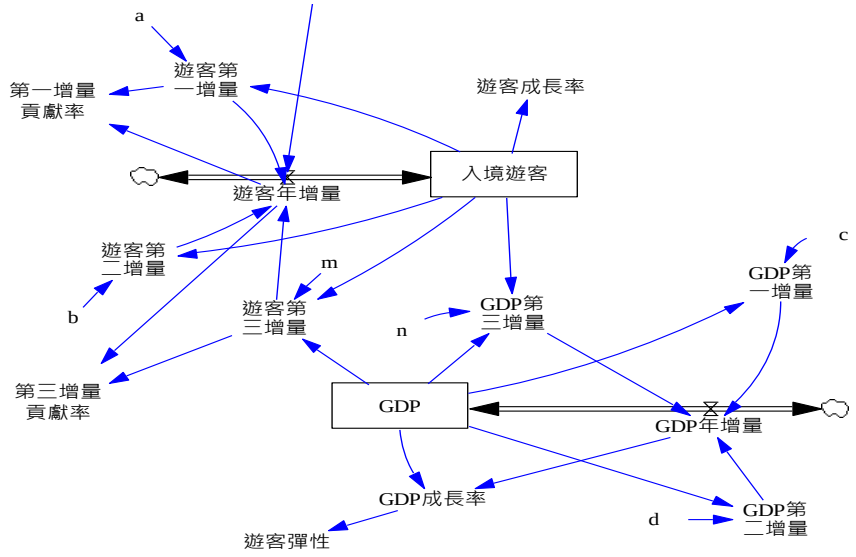

圖 6　GDP 與入境遊客關係的 LVR 系統動力學基本模型

二、模型參數

關於第 3 頁方程(3)和(4)的各項係數，理論上說可以用多元逐步回歸的方法，實際上由於資料噪音和多重共線性等現象，統計回歸求得的係數往往不「可置信」，而且正負號錯亂。系統動力學經常放棄這些常規的統計做法，而採用系統動力學特有的「係數試探法」，即用試錯的方法探索各種參數逼近「參考模型」(reference model)的程度。統計方法對參數的取捨根據「最小二乘法」原則，系統動力學系根據參數和「系統行為」的「吻合度」來確認。系統動力學的係數試探法沒有固定的規則，也不是一種優化法，不過可以根據均衡條件下狀態變數(存量)純增量為零的方程式方便地推導出相關的參數值。經驗說明係數試探是一種低成本高適應的方法。

本研究採用「係數試探法」，經過不斷試錯後得到表 2 所列的各種系數值。

表 2 模型的各項系數值

公式 3			
	a	b	**m**
係數	IF THEN ELSE (Time<=2008, 0.058 , 0.24)	1.95*10^-8	**4*10^-9**
單位	1/年	1/百萬元×人次×年	**1/人次×人次×年**
公式 4			
	c	d	**n**
係數	IF THEN ELSE (Time<=2005,0.063, 0.04)	IF THEN ELSE (Time<=2005, 1*10^-12 ,10*10^-12)	**2*10^-12**
單位	**1/年**	**1/百萬元×人次×年**	**1/百萬元×百萬元×年**

注：係數a、c和d均採用VENSIM軟體的IF函數，即2008年前係數a為0.058,2008年之後為0.24。2005前係數c為0.063，之後為0.04。2005年前係數d為1*10^-12，2005年後為10*10^-12。

三、基本模型的模擬結果

（一）模擬資料與歷史資料比較

使用 Visem 軟體進行模擬，時間自 1981 年起至於 2020 年，模擬資料為帶有符號 1 的線段表示，歷史資料為帶有符號 2 的線段表示；資料對比摘為表 3。

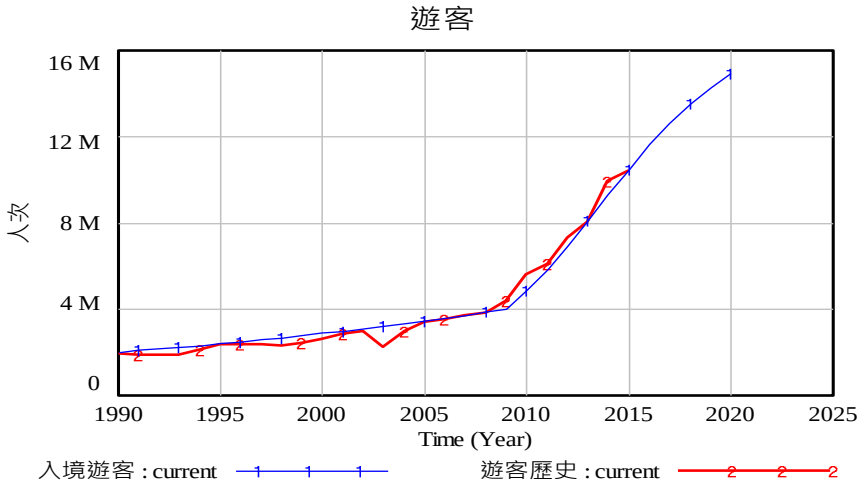

圖7 分段式指數成長（模擬結果與實際資料對比）

基本模型的模擬結果顯示，以臺灣為旅遊目的地的外來遊客是分段的指數式成長，在 2008 年以前成長緩慢，此後成長迅速。按照基本模型如果預測環境沒有大變化，2015 年以後將持續按照指數方式成長而且是高成長。

表 3 臺灣入境人次模擬與歷史資料對照表 1981-2015 年

Time	入境遊客模擬值	入境遊客實際資料	誤差值
1981	1.409 M	1.409 M	0.0%
1985	1.649 M	1.452 M	-13.57%
1990	1.990 M	1.934 M	-2.90%
1995	2.385 M	2.332 M	-2.27%
2000	2.854 M	2.624 M	-8.77%
2005	3.430 M	3.378 M	-1.54%
2010	5.412 M	5.567 M	2.78%
2011	6.322 M	6.087 M	-3.86%
2012	7.296 M	7.311 M	0.20%
2015	10.5M	10.44M	0.58%

2016	（11.6M）	n.a
2017	（12.63）	n.a
2018	（13.52）	n.a
2019	（14.28）	n.a

資料來源:本研究

模型驗證的基本模型輸出的預測資料與實際資料基本吻合，尤其是臨近 2016 年的 2012 和 2015 年其誤差均小於 1%，表示基本模型的流程設計是正確的。

（二）貢獻比

如果把遊客年增加量作為分母，遊客第一增量作為分子，這個比值可用來估計第一增量對遊客年增加量的貢獻，同理，如果把遊客第二增量作為分子，則該比值可作為第二增量的貢獻率。

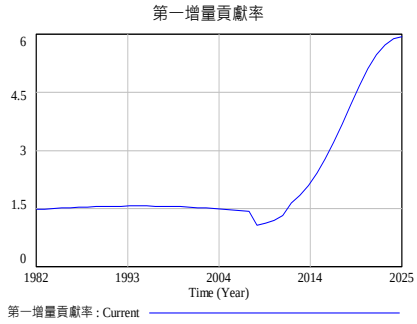

圖 8 左第一增量的貢獻率

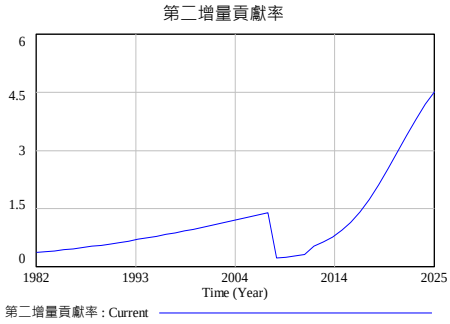

圖 8 右第二增量的貢獻率

由圖 8 左可見在 2008 年之前，第一增量的貢獻率平平，即入境旅遊人口的自然成長率沒有發揮大作用，在 2008 年之後，「入境旅遊人數 X」的內在成長率對入境人數的成長幫助良多。

如果把第二增量貢獻率與第一增量貢獻率的比值稱為共生演化貢獻比，圖 9 說明共生演化貢獻比無論在那個時期也都是上升的。充分說明 GDP 對入境旅遊人口的促進作用。我們可以把旅遊人次比喻為生物族群『鮮花』，把當地的 GDP 比喻為採花的『蜜蜂』，模擬證明它們之間的共生演化現象。

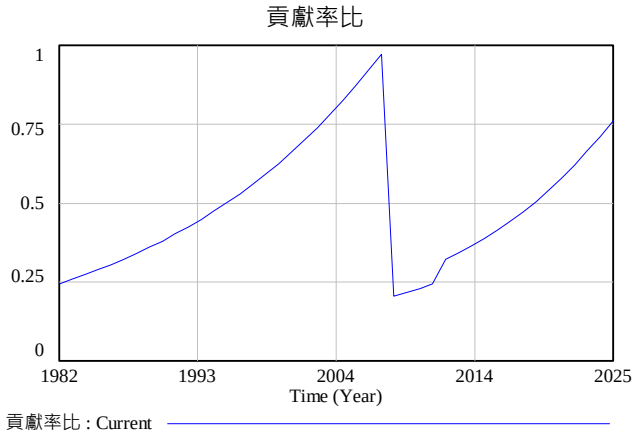

圖 9 貢獻比動態

（三）遊客彈性

最後模型還可以提供 GDP 成長的遊客彈性，即 GDP 成長率與遊客成長率的比值。模擬結果如圖 10。

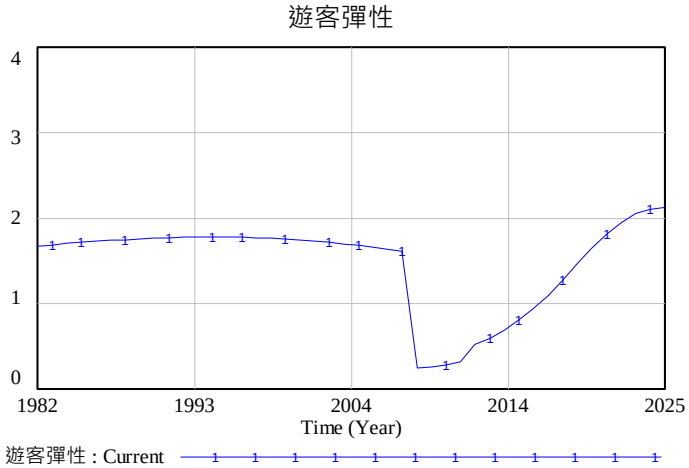

圖 10 入境遊客成長的 GDP 彈性

按照基本模型，無論在旅遊發展的第一階段(1980-2007 年)或第二階段(2008 年以後)，臺灣 GDP 的成長與入境遊客的增加是共生的，遊客彈性經過一段時間的沉淪以後將再度往上提升。

四、滾動模型

至今，模型預測的脆弱仍在於「情景預測」(Scenario)無法自動轉換為「即時預測」(Real time forecasting)，只有依靠非自動的「滾動」模型，即預測者要不斷補

充參考模型的資料並調整結構。滾動模型有兩個步驟，第一步是告知「現在」(Present),第二步才是「再預測」(Re-forecasting)。

本研究始於 2015 年 5 月(圖 7)，是 s 當時「不斷增長」的預測情景,並預測 2016 年將在 2015 年的基礎上成長 10%。然而臺灣選舉使預測的外部環境大改變，2016 年 1 月國民黨選敗，執政的民進黨在兩岸政策上與上一屆政府完全不同，兩岸政治關係的變化嚴重影響到大陸遊客來台的數量(圖 11)。

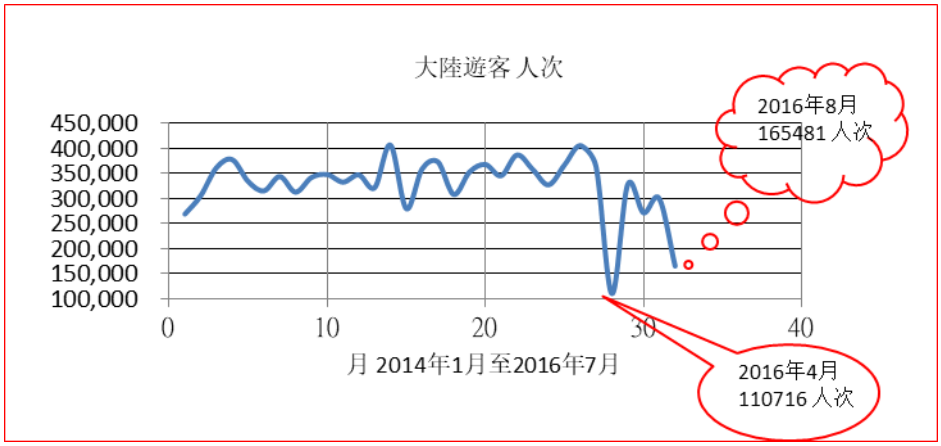

圖11 2014年1月至2016年8月大陸遊客來台人次月度資料

由圖 11 中的資料動態得知 2016 年 4 月以前大陸遊客來台的數量並沒有顯著變化，但從 2016 年 4 月，即民進黨執政前一個月資料明顯下降；與 2015 年 4 月比較，2016 年 4 月大陸遊客數量減少 69.15%，2016 年 8 月與 2015 年 8 月比較數量減少 55%。看來這種下降趨勢在民進黨政府改善兩岸關係前不會改變，因此修正基本模型的輸出結果。

修正基本模型流程圖 6 的「遊客年增量」，即增加輔助變數“policy change”，修正的部分如圖 12。

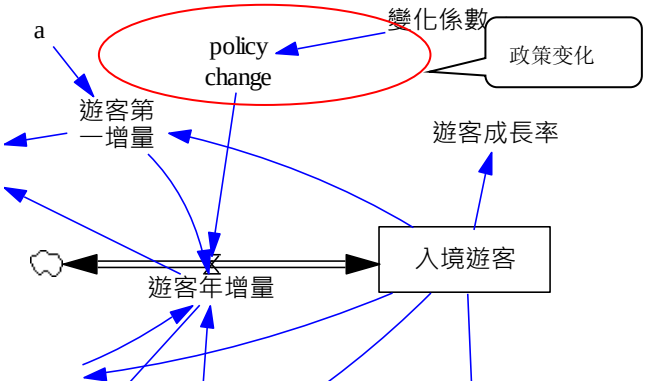

圖12 入境遊客年增量的修正設計

輔助變數 policy change 稱為政策變數，它是一個 PULSE(脈衝)函數,起于 2016 止於 2018，取值 q= -0.5，如圖 13。

PULSE(2016,2)× q

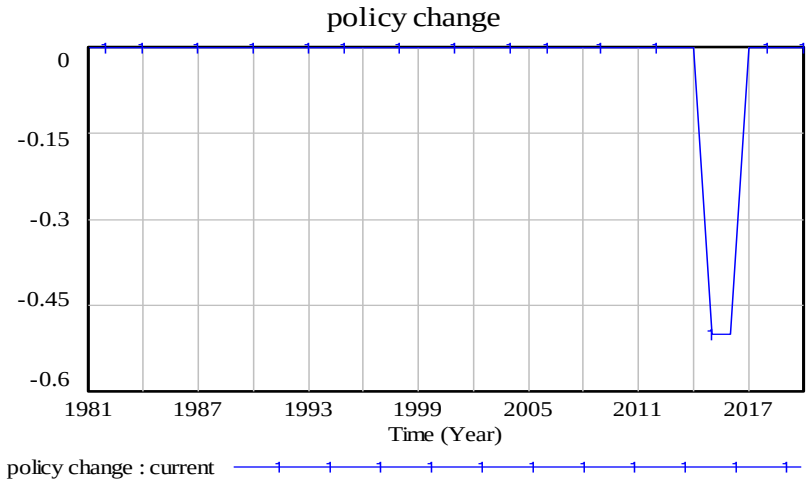

圖13 政策變數設計

滾動模型修正後的輸出結果如圖 14 和表 4。

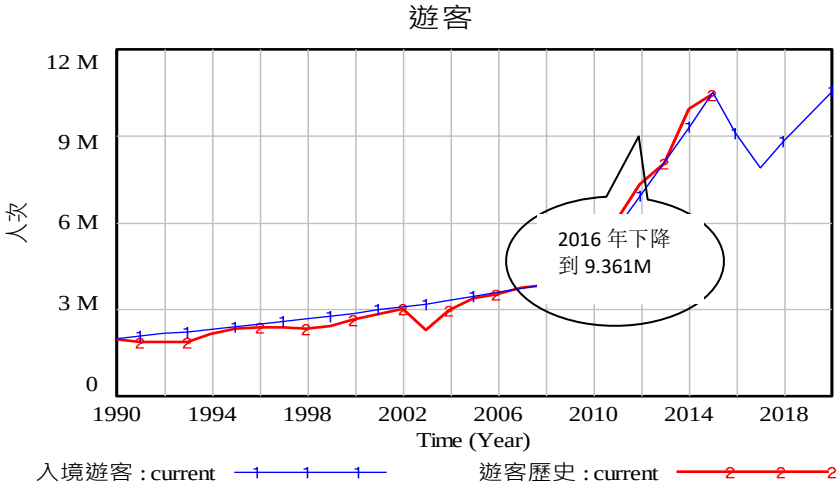

圖 14 臺灣遊客滾動模型的 V 型輸出

表 4 滾動模型的輸出摘要

時間	臺灣入境遊客　(百萬人次)	
	基本模型	滾動模型
2015	10.50	10.50
2016	（11.61）	***9.36***
2017	（12.63）	8.37
2018	（13.52）	9.45
2019	（14.28）	10.51

伍、結論與建議

1. 臺灣旅遊產業經歷兩大階段發展，以 2003 年爆發的 SARS 事件為界限，第一段發展期 1980-2003 年，其間入境旅遊人數的成長是個位數(平均 3.45%)。第二段發展期 2003-2012 年，政府執行積極開放的政策，卓有成效，其間入境旅遊人數的成長是兩位數(平均 11.7%)，2015 年入境遊客總數第一次超過千萬人次。然而 2016 年政黨輪替後，基本模型的指數式成長模式很可能轉變為 V 字或 W 型成長。
2. 遊客人次的增加可分為兩大來源，一是「內在成長」部分，這部分成長和政府的政策緊密相關，第二個是與 GDP 的「共振作用」。共振作用對遊客增長的貢獻是不斷上升的。
3. LVR 方法的成本低廉，GDP 與入境遊客資料可以由政府網站取得。模型簡單明瞭，計算省時省事。
4. 滾動模型可以修正基本模型的錯誤輸出，當預測環境變化時尤其需要使模型適時滾動。本研究說明臺灣入境遊客的人次數目正在由基本模型顯示的連續的指數式成長轉化為滾動模型顯示的更為複雜的 V 或 W 型成長。

參考文獻

王賢吉，2008，《主題遊樂園永續經營系統動態模擬與分析－以劍湖山世界為例》。朝陽科技大學建築及都市設計研究所碩士學位論文。

吳怡彥，2008，《都市生態旅遊系統之研究》。朝陽科技大學建築及都市設計研究所博士學位論文。

吳柏林，1995，《時間數列分析導論》。臺北：華泰書局。

林千琪，2013，《安平水鳥濕地公園生態旅遊價值之評估》。國立成功大學洋科技與事務研究所博士學位論文。

林長瑞，2014，《陸客來台觀光需求預測模式之建構：多元適應性雲形回歸、類神經網路及支援向量回歸之應用》。輔仁大學商學研究所博士學位論文。

洪麗珠，2009，〈Lotka-Volterra 模型及競合策略在旅行業之應用建模〉，《管理科學與統計決策》，(6)：78-90。

徐紅罡，鄭海燕，保繼剛，2005，〈城市旅遊地生命週期的系統動態模型〉，《人文地理》，2005 (20)：66-69。

校正興，2013，《臺灣國際觀光旅館產業發展趨勢模擬－系統動態學方法論之應用》。東海大學經濟系碩士學位論文。

翁秉仁，2001，生態學之 Lokta-Volterra 模型，http://episte.math.ntu.edu.tw/applications/ap_lokta/，取用日期：2020 年 10 月 30 日。

康家豪，2008，《觀光導向之社區經濟營造模式研究－以桃米與澀水社區為例》。暨南國際大學資訊管理系碩士學位論文。

陳彥光、週一星，2007，〈中國城市化過程的非線性動力學模型探討〉，《北京大學學報(自然科學版)》，第 43 卷第 4 期：頁 542-54。

陶在樸，2016，《系統動力學入門》。臺北：五南出版公司。

黃敬芸，2013，《臺灣離島觀光人數動態預測及競合分析》。中華大學運輸科技與物流管理學系碩士學位論文。

謝舜傑、陳怡睿、黃哲仁、李俊榮，2010，〈應用生態學方法探討都市人口與鄉村人口互動〉。論文發表於「2010 年全國災害危機處理學術研討會」，台南：長榮大學土地管理與開發學系，4 月 30 日。

Athiyaman, A., & Robertson, R.W. (1992). Time Series Forecasting Techniques: Short-term Planning in Tourism, *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 4 (4), 8-11.

Capello, R., & Faggian, A. (2002). An economic-ecological model of urban growth and urban externalities: empirical evidence from Italy. *Ecological Economics*, 40(2), 181-198.

Dendrinos, D.S.,&Mullally, H. (1985). *Urban evolution: Studies in the mathematicals ecology of cities*. Oxford: Oxford University Press.

Ioanna E. Manataki, Konstantinos G. & Zografos. (2010). Assessing airport terminal performance using a system dynamics model, *Journal of Air Transport Management*, 16(2): 86–93.

Jin, X., (2009). An Analysis of Suburb Tourism Trend Based on System Dynamics Method, *Proceedings of International Conference on Computer Engineering and Technology*, Volume II, 210-213, Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society.

Karmeshu. (1988), Demographic models of urbanization, E*nvironment and Planning B: Planning and Design*, 15(1): 47-54.

Lazanski T. J., Kijajic M.,&Skraba A.(2002). A Concept of a Multi-criteria Decision-Making System in Tourism, Using Models of System Dynamics. *Tourism and Hospitality Management*, 8(1): 117-125.

Li, F. J., Dong, S. C., Li,&F. (2012). A system dynamics model for analyzing the eco-agriculture system with policy recommendations. *Ecological Modelling*, 227: 34-45.

Manataki, I. E., Zografos, &K. G. (2010). Assessing airport terminal performance using a system dynamics model. *Journal of Air Transport Management*, 16(2): 86-93.

Puliafito, S. E., Puliafito, J. L., Grand, & M. C. (2008). Modeling population dynamics and economic growth as competing species: An application to CO_2 global emissions. *Ecological Economics*, 65(3): 602-615.

Romano, Alessandro. (2016) A Study of Tourism Dynamics in Three Italian Regions Using a Nonautonomous Integrable Lotka–Volterra Model, PLOS ONE | DOI:10.1371/journal.pone.0162559 September 23, 2016

Suryani, E., Chou, S. Y., Hartono, R., Chen, C. H. (2010). Demand scenario analysis and planned capacity expansion: A system dynamics framework. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18(6): 732-751.

Chen, Y.G., Xu, F. (2010). Modeling complex spatial dynamics of two-population interaction in urbanization process. *Journal of Geography and Geology*, 2(1): 1-17.

Tegegne, W. A., Moyle, B. D., & Becken, S. (2016). A qualitative system dynamics approach to understanding destination image. Journal of Destination Marketing & Management. doi:10.1016/j.jdmm. 2016.09.001

Wang, J., Huang, X., Gong, Z. & Cao, K. (2020). Dynamic assessment of tourism carrying capacity and its impacts on tourism economic growth in urban tourism destinations in China. Journal of Destination Marketing & Management, Volume 15,100383.

Zanker Marek, (2020) A Decade of System Dynamics Modelling for Tourism: Systematic Review, doi: 10.36689/uhk/hed/2020-01-099