全球商業經營管理學報
第十二期　109.09　page 1-12
ISSN：2076-9474

應用 Lotka-Volterra 模型於台灣晶圓代工雙雄之競爭分析

Application of Lotka-Volterra Models in the Competitions between the Two Leading Semiconductor Foundry Firms in Taiwan

蔡璧徽 [a]　張俊鴻 [b]

摘要

半導體製造是一個需要高度技術、資本密集和知識密集的產業，為協助經理人發展投資決策，晶圓代工廠營收的預測模型是半導體經營的重要工具。本研究係以 Lotka-Volterra 模型探討台積電與聯電之每月營收是否存在著競爭或合作的關係，並且預測未來台積電以及聯電的月營收是否存在著均衡關係。此外，除了以本研究所應用的 Lotka-Volterra 模型進行預測外，會再運用 Bass 模型進行預測，並比較兩模型何者較能精確的預測台灣晶圓雙雄的營收趨勢。本研究結果顯示，台積電與聯電的營收競合模式為聯電的營收成長會對台積電的營收成長有幫助，台積電對聯電沒有影響的片利共生關係，其可能原因為聯電在先進製程技術上的發展時程上一直緊追著台積電，台積電必須全力衝刺先進製程技術的開發與持續擴大產能滿足客戶的需求，才能維持在晶圓代工市場的領導地位。因此聯電對於台積電產生了馬蠅效應的效果，刺激台積電的製程技術開發與營收持續成長。在模型預測能力上，Lotka-Volterra 模型相較於 Bass 模型，對台積電的月營收預測較準確，其原因是 Lotka-Volterra 模型除了考量個別公司的擴散成長預估分析之外，更考慮了兩家公司之間的競爭合作關係，因此準確度較高。在均衡分析結果上，台積電和聯電長期會達到穩定均衡的狀態，台積電營收維持領先地位。

關鍵字： Lotka-Volterra 模型、晶圓代工、均衡、精確度、台灣

ABSTRACT

This study applies Lotka-Volterra model to investigate the investment and development strategies for IC foundry industry in Taiwan by comparing the dynamic competitive relation between Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) and United Microelectronics Corporation (UMC). We explore whether TSMC and UMC compete or cooperate each other through analyzing TSMC's and UMC's monthly revenue. In addition, we conduct equilibrium analysis as well. This study also implements Bass model to verify the accuracy of prediction for TSMC's and UMC's revenue trend with Lotka-Volterra model. The result shows the relation between TSMC and UMC is commensalism. UMC's revenue growth benefits TSMC, while TSMC has no effect on UMC. The possible reason is that TSMC pursues the development of advanced technologies and improves capacity to fulfill customers' demand. As a competitive follower, UMC stimulates TSMC's advancement, consistent with the horse flies effect. Our results also conclude that Lotka-Volterra model has better prediction ability than Bass model in predicting TSMC revenues since the competitive and cooperative relation between TSMC and UMC is considered in Lotka-Volterra model. The results of the equilibrium analysis show the stable relation between TSMC and UMC in long-term competition. The TSMC revenues maintain at higher level than UMC revenues.

Keywords：Lotka-Volterra model, Foundry, Equilibrium, Forecast Accuracy, Revenues

1. 研究動機與背景

台灣的天然資源貧瘠，因此早期台灣經濟發展主要需仰賴製造加工出口。曾繁相 (2013) 指

[a] 國立交通大學管理科學研究所 Email: bhtsai@faculty.nctu.edu.tw
[b] 台灣積體電路股份有限公司 Email: hankchang427@gmail.com

出臺灣社會由農業社會邁向工業社會的過程中，出口擴張時期是台灣經濟發展最快速的階段。台灣經濟重心逐漸由農業轉移到工業，勞動力市場的人力資源素質要求也逐漸提高。在台灣經濟發展的過程中，一方面大幅提高了國民所得，另一方面也培養出高素質的人力資源。Chang (2014) 半導體產業不同於傳統產業，除了資本密集、技術密集也是知識密集的產業，因此人力資源的素質需要極高，人才缺口大多為質性需求缺口。台灣的高素質的人力資源剛好符合發展半導體產業的關鍵需求。

蔡璧徽與林淵源 (2014) 台灣的半導體產業經過三十多年的發展，已經成為全球第四位的半導體生產大國，僅次於美國、日本、韓國等三國，是目前我國最具競爭力的產業，在整體產業結構中也佔有很高的比重。2002年經濟部擬定「兩兆雙星產業發展計畫」，其中「兩兆」是指未來產值分別超過新台幣一兆元以上的半導體產業及影像顯示產業，而「雙星」指的是數位內容產業(包含軟體、電子遊戲、媒體、出版、音樂、動畫、網路服務等領域)及生物技術產業，將其列為國家產業推動重點。根據工業技術研究院(ITRI, Industrial Technology Research Institute)最新統計指出，2014年台灣半導體產業(含IC設計、IC製造、IC封裝、IC測試)產值達新台幣20,981億新台幣，較2013年成長11.1%，優於同時間全球半導體市場3.6%的成長率；其中IC 設計佔了26%、IC 製造53%、IC封裝與測試分別佔15% 及7%，而根據行政院主計處的統計，我國 2014 年名目GDP 為16.1 兆新台幣，也就是說整體半導體產值佔國內生產毛額約13% 之多，對台灣經濟成長的有重大的貢獻。而其中晶圓代工產業從2012年以來連續三年成長率超過10%，是目前台灣半導體產業中最具發展潛力的產業。

1981年IBM推出了全球第一台個人電腦，電子計算機系統由封閉的走向開放，並且個人電腦由垂直整合走向專業分工，個人電腦需求帶動電腦周邊產品的成長，同時消費性電子產品的需求開始成長，這些產品的所有電子零組件都需要用到半導體元件，而且電子產品生命週期普遍都很短，反應時間要很快，所以造成對半導體市場的強勁需求。全球半導體產業紛紛擴大資本資出，積極投資興建新世代的晶圓廠，以求在半導體市場中取得領先地位。但半導體產業的資本密集度極高，技術的研發成本隨著半導體製程線徑的微縮，呈跳躍式成長，無論是跨入門檻或退出障礙都很高，因此在瞬息萬變以及不確定因素極高的半導體市場，假如高階管理人員的錯誤判斷，將會危及企業的生存發展。發展預測對於產業及企業扮演著非常重要的角色。可以做為企業發展未來產能開發的參考，避免因為產能過剩或短缺造成營運上的損失。

對於科技預測，大部分著重於以產品開發的市場需求預測為主要研究方向，運用成長模型方式預測半導體產業營收的相關文獻研究比較少見。Tsai (2013)應用多代Bass 擴散模型，對LCD TV面板市場進行預測，都得到很好的預測結果，說明成長模型也適合用於半導體產業成長模式預測。但是對於半導體市場的晶圓代工廠商之間的相互競合關係，目前則鮮少有研究著墨。Gabszewicz and Thisse (2014) 指出在非聯合定價的條件下，替代品的增加會導致市場走向純粹競爭(Pure competition)。亦即相同產品市場在沒有聯合壟斷的情況下，公司之間會存在著純粹競爭關係。有許多的例子顯示，在相同產業的企業間並不只有存在著對抗關係，競爭也是刺激進步的動力，例如Utterback (1994)在既有產品抵禦新產品侵蝕市場的過程中，通常會出現所謂的帆船效應(Sailing Ship Effect)；帆船發展的歷史上，曾經為了對抗來自於蒸汽動力船的威脅，促使帆船產業調整戰略，研發出了新的快速帆船，反而促進了自身的發展。由此可知相同產業的企業之間有可能存在著不同的競合關係。

根據馬蠅效應，企業在面對競爭者的威脅刺激之下，會激勵企業本身不停持續地向前衝刺，這樣才能使企業在競爭激烈的市場環境中，維持競爭優勢。張桂輝 (2013) 應用馬蠅效應在市場競爭上，闡述企業在面對市場上競爭者的威脅，會激勵企業本身不停持續地向前衝刺，要不斷地引進新技術、新工藝、新設備、新管理觀念，這樣才能使企業在競爭激烈的市場環境中，增強生存能力和適應能力，它符合市場良性競爭的運行機制。Lynn (2017)報導台積電在全球晶圓代工市場上一直維持著獨大的領先地位，其可能原因為聯電在製程技術開發一直緊追在後，使得台積電必須全力衝刺新開發製程，以保持全球晶圓代工龍頭地位。但過去文獻多以歷史沿革說明台灣晶圓雙雄互相刺激進步的運作模式，鮮少運用數量加以佐證，量化台灣晶圓雙雄的競合關係將是本研究要探討的重點。本研究以Lotka-Volterra模型理論為出發點，希望藉由Lotka-Volterra的預測模式與觀點對台灣晶圓代工產業的競合關係進行研究與探討，進而預測晶圓代工產業的發展狀況，提供國內半導體業界對於未來策略發展的參考。

Lotka-Volterra模型，不僅僅運用在生物學，並且在各個不同的領域的學術研究上都被廣泛應用，

用來檢測在同一生態環境下，不同族群間的動態競合關係，例如分析科技競爭(Pistorius and Utterback, 1997)、GDP與國外投資間的競合關係(Wu and Liu, 2013)、社會媒體 (Patel, 2012)、上海低碳化產業結構 (高廣闊與孫一鳴，2013)、能源載體群之間的競爭關係研究(例如Kamimura et al., 2006；Reddy, 1996) 、台灣與中國的產業移轉(Tsai, 2017)、二氧化碳的排放關係(Tsai and Chen, 2020)等等，可預期Lotka-Volterra模型符合本研究之需求，且有高度的公信力。台灣為全球晶圓代工產業龍頭，2014年台灣晶圓代工產值佔全球晶圓代工市場近七成的比重，台積電與聯電為全球晶圓代工企業排名前兩大業者，直到2019年，聯電雖退居全球第四，但仍是台灣第二。本研究應用Lotka-Volterra模型，分析台灣晶圓代工雙雄台積電和聯電間的動態競合關係，具指標性意義。2017年之全球前十大晶圓代工業者，台灣共佔據全球晶圓代工市場95.1%份額。台積電更以52.1%市佔率穩坐晶圓代工世界第一的寶座，本研究採用Lotka-Volterra模型，探討台灣晶圓代工雙雄台積電和聯電的營收發展，在半導體產業的策略佈局與產業預測，深具意義。故本研究選用台積電與聯電的月營收為研究主軸，探討兩家企業之間的競合關係及最終之均衡狀況。再利用Bass模型預測兩家企業的營收趨勢，比較Lotka-Volterra模型與Bass模型預測的精確度。

2. 研究樣本

本研究資料來源是來自台灣經濟新報資料庫(Taiwan Economic Journal Database)。台灣經濟新報資料庫提供證券金融市場及財經資訊，與亞洲各地區的財務報表資料及企業情報，每日更新包含：總經資料庫、金融資料庫、產業資料庫、企業資料庫、與投資授信相關的數據資料，範圍涵蓋國際經濟、景氣指標、貨幣金融、國民所得、物價水準等資料。主要是從營運狀況、市場表現到市場參與者看法等角度提供金融市場基本分析所需的資訊。台灣經濟新報從1990年4月創辦，已成為現今大中華地區財經資訊的主要提供者。

本研究由台灣經濟新報資料庫(TEJ)取得台灣晶圓代工雙雄-台積電與聯電，自2011年九月至2015年一月，每月營收資料為分析樣本，本篇論文聚焦於國內晶圓雙雄台積電受聯電追趕刺激進步之研究。台積電和聯電於2015年前於全球半導體產業佔有全球一席之地，遲至2015年起，國外Samsung和Global Foundries營收才逐漸上升超越聯電，為排除2015年以後國外大廠崛起對台積電和聯電關係之影響，本研究控制於晶圓雙雄台積電和聯電稱霸的時期，使用2011年至2015年之營收樣本資料做分析。此外，本研究將所有樣本分成兩個區間，2011年九月至2014年八月，三十六期的月營收資料為估計期間，利用估計期間的數據資料建構Lotka-Volterra競爭模型進行模型建立、模型參數估計以及配適能力分析。以2014年九月至2014年十一月等三期的月營收資料和2014年九月至2015年一月等五期的月營收資料為測試區間，以Lotka-Volterra競爭模型所預測的數據與實際數據相互比較，並且分析模型的預測能力。

3. 研究方法

3.1. Lotka-Volterra模型

Lotka-Volterra模型是數學生態學中一個重要的生態模型，也被廣泛的應用在其他領域，常被應用於研究兩個物種族群間的動態競合關係。本研究應用Lotka-Volterra模型，用來分析台灣晶圓代工雙雄台積電和聯電間的動態競合關係。原始的Lotka-Volterra方程式表式如下：

$$\frac{dX}{dt} = a_1X - c_1XY \tag{1}$$

$$\frac{dY}{dt} = a_2Y - c_2YX \tag{2}$$

其中，X 和 Y 分別代表兩家公司營業收入，有學者將前者模型加以修正改進，例如Carroll (1981) 考慮各物種群族間的自我成長交互作用影響，再加入自我成長交互項後，修正Lotka-Volterra方程式模型如下：

$$\begin{aligned}\frac{dX}{dt} &= (a_1 - b_1X - c_1Y)X \\ &= a_1X - b_1X^2 - c_1XY\end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}\frac{dY}{dt} &= (a_2 - b_2Y - c_2X)Y \\ &= a_2Y - b_2Y^2 - c_2YX\end{aligned} \tag{4}$$

X和Y代表在時間點t兩家公司的營業收入，當中的三個參數a_i、b_i與c_i解釋為在環境中存在兩個競爭企業的營收成長狀況。其中企業生存係數a_i代表各家公司本身的營收成長能力。同公司內交互係數或稱自我成長係數b_i代表各公司在產業環境中自然成長空間的大小，若b_i為負，表示公司在產業環境中仍有自然成長的空間，反之則無。不同公司間交互影響係數c_i代表公司間彼此的競爭狀況，晶圓雙雄營業收入模擬估計參數後多重競合模式關係如表1所示，若交互影響係數c_i均顯著為正，表示純粹競爭，若交互影響係數c_i均顯著為負，表示互利共生，若台積電交互影響係數c_i顯著為負，但聯電交互影響係數c_i無顯著，表示片利

共生，隱含聯電追趕台積電的刺激效果，會引發明顯的馬蠅效應。倘若交互影響係數c_i均無任何關係，則表示兩家公司營收不相關。

表1 Lotka-Volterra 模型之營業收入競合關係

C_1	C_2	關係	解釋
0	0	完全不相關	兩家公司營收互不影響對方
+	0	偏害共生	對其中一家公司營收有害，另一家公司營收不受影響
-	0	片利共生	對其中一家公司營收有利，另一家公司營收不受影響
-	-	互利共生	兩家公司的營收成長會互相增進另一家公司的營收成長
+	-	獵食者-獵物	其中一家公司的營收成長會阻礙另一家公司的營收成長
+	+	純粹競爭	兩家公司的營收成長會互相阻礙另一家公司的營收成長

3.2. Lotka-Volterra模型參數估計方法

由於本研究採用的是離散之時間序列數據資料，需將連續的Lotka-Volterra模型轉換為離散時間序列之模式。Leslie (1957) 證明了可以將第 (3) -(4) 式轉換成以下離散方程式 (5) 、 (6) ，也是本研究的完整模型：

$$X(t+1)=\frac{\alpha_1 X(t)}{1+\beta_1 X(t)+\gamma_1 Y(t)} \tag{5}$$

$$Y(t+1)=\frac{\alpha_2 Y(t)}{1+\beta_2 Y(t)+\gamma_2 X(t)} \tag{6}$$

在方程式 (5) - (6) 中，α_i、β_i是對於個別公司i的參數，γ_i則是表現一家公司的營收成長率對另一家公司的影響程度。方程式 (3)- (4) 與方程式 (5)- (6) 之間的參數有如下的關係：

$$a_i=\ln\alpha_i \tag{7}$$

$$b_i=\frac{\beta_i a_i}{\alpha_i-1}=\frac{\beta_i\ln\alpha_i}{\alpha_i-1} \tag{8}$$

$$c_i=\gamma_i\frac{b_i}{\beta_i}=\frac{\gamma_i}{\beta_i}\frac{\beta_i\ln\alpha_i}{\alpha_i-1}=\frac{\gamma_i\ln\alpha_i}{\alpha_i-1} \tag{9}$$

其中當假設 $\alpha_i>0$ 且 $\alpha_i\neq 1$，則 $\frac{\ln\alpha_i}{\alpha_i-1}>0$，故 β_i 與 b_i 的正負號相等、 γ_i 與 c_i 的正負號相等。也就是說， β_i 的符號決定企業在產業環境中是否擁有自然成長空間，而兩家公司的競合關係則可由 γ_i 的符號來決定。本研究係運用修正的生物生態學Lotka-Volterra競合模型，探討台積電和聯電之間的競合關係，針對台灣晶圓代工廠的每月營收估計模型參數，進行分析與比較。

3.3. Lotka-Volterra模型均衡分析

均衡點代表兩家公司之間的競合變化，最後每月營收規模達到長期穩定的狀態，此時，每月營收將保持不變。以方程式表示，請參考 (10) ：

$$\frac{dX}{dt}=0 \text{ and } \frac{dY}{dt}=0 \tag{10}$$

將方程式 (10) 代入考慮個別公司自我交互項後的修正Lotka-Volterra方程式模型 (如前所列方程式 (3) 、(4))，得到兩則簡單的代數方程式：

$$\frac{dX}{dt}=(a_1-b_1X-c_1Y)X=0$$

$$\frac{dY}{dt}=(a_2-b_2Y-c_2X)Y=0 \tag{11}$$

假設 $X\neq 0$ 與 $Y\neq 0$ ，在本研究中分別代表台積電和聯電的每月營收。故可將 (11) 式重新整理，求出Lotka-Volterra模型之均衡解方程式為：

$$X=\frac{a_1-c_1Y}{b_1} \ \ and \ \ Y=\frac{a_2-c_2X}{b_2} \tag{12}$$

3.4. 模型配適與精確度分析

本研究判定整體非線性回歸模型精確度的標準是以平均絕對偏差百分比來進行評估，模型的預測能力分析是以「事後預測」的方式進行，所謂的事後預測是指保留一段期間的資料當作觀察值，本研究將台灣晶圓代工雙雄，台積電與聯電每月營收資料分為兩段：估計期三十六期(2011年九月到2014年八月)與測試五期(2014年九月到2015年一月)，以估計期的資料做為資料估計模型參數的計算基準，再將所得到的參數代入模型中，來預測測試期的每月營收並採用平均絕對誤差與測試期的實際值進行比較，驗證Lotka-Volterra模型與傳統Bass模型，兩種模型何種預測能力較佳。先以三十六期實際值的資料，估計得到相關參數之後，再將三十六期之外，保留期間的資料代入模型中，將估計值以及實際值以平均絕對百分比誤差來進行比較，用來檢定模型之預測能力。

在評估模型的預測能力時，本研究是使用平均絕對百分比誤差(The Mean Absolute Percentage Error，MAPE)來做為衡量模型預測準確性的指標。平均絕對百分比誤差也被稱為平均絕對百分比偏

差(The Mean Absolute Percentage Deviation，MAPD)，是用統計的方法來量測建構時間序列數值配適的準確度，特別是用在趨勢的估計，它表示精度為百分比。MAPE經常被用來作為預測模型好壞之評估指標，主要原因是MAPE為相對數值，不受測量值與預估值單位與大小之影響，因此能夠客觀得獲得估計值與評估值間之差異程度，MAPE值愈小，表示其模型預測準確性愈高。MAPE計算公式如下：

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\frac{|x^{(0)}(k)-\hat{x}^{(0)}(k)|}{x^{(0)}(k)} \times 100\% \quad (13)$$

$x^{(0)}(k)$ 為營收的實際值

$\hat{x}^{(0)}(k)$ 為營收的預測值

n 為期數或樣本數

$x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)$ 為誤差

模型的預測能力代表模型在預測期間的實際值與預測值的差異大小，如果實際值跟預測值差異愈小，則代表此預測模型的能力愈好；同樣的，如果實際值跟預測值差異愈大，則代表此預測模型的能力愈差。Martin and Witt (1989) 用MAPE值將模型的評估預測能力分為四個級距，$MAPE < 10\%$ 代表預測能力極佳，$10\% \le MAPE < 20\%$ 代表預測能力不錯，$20\% \le MAPE < 50\%$ 代表預測能力合理，$50\% < MAPE$ 代表預測能力不正確。

本研究同時使用非線性迴歸模型的調整後的複判定係數(Adjusted R^2)來作為模型的整體配適能力評估標準，若調整後的複判定係數愈接近1，表示該模型的預測愈準確，也可稱該模型的整體解釋能力愈佳，即模型的配適能力與效果愈好。而以MAPE值衡量模型預測能力的方法也被用在模型間的配適能力比較上，由估計期間的「平均絕對誤差百分比」(Mean Absolutely Percentage Error，MAPE)來評估模型的配適能力，將方程式(13) 中的預測值更換成為估計值，求出估計期間的MAPE值。估計期間的MAPE值愈小，代表該模型的配適能力愈好；同樣的，如果MAPE值愈大，則代表該模型的配適能力愈差。

為了驗證Lotka-Volterra模型的預測能力，本研究另外運用Bass (1969) 的邏輯斯(monopolistic logistic) 模型與Lotka-Volterra模型進行比較，Bass擴散模型的數學模式，假設半導體業者在時間*t*之前的晶圓製造，並未委外由晶圓代工公司生產的情形下，在時間t時，半導體業者委外由晶圓代工公司生產的機率是之前累積使用晶圓代工的半導體業客戶的線性函數，其數學表示式如方程式(14) ：

$$n(t) = p[m - N(t)] + \frac{q}{m}N(t)[m - N(t)] \quad (14)$$

其中，

n(t)：第t期新採購晶圓代工營收額

N(t)：累積至第t期採用晶圓代工營收額

m：晶圓代工最終的潛在需求量

p：採購晶圓代工半導體產品的創新客戶係數

q：根據口碑採購晶圓代工半導體產品的模仿客戶係數

此方程式的意義為，在時間t時半導體業者委外由晶圓代工生產的條件機率，隨著累積使用的半導體業客戶的增加而上升，其中創新客戶係數p代表晶圓代工業務之擴散速度，其數值介於0與1之間，該值愈大代表半導體業的創新客戶不顧慮任何口碑，就直接接受晶圓製造委外由晶圓代工公司生產；然而，模仿客戶轉換係數q，其數值也介於0與1之間，該值愈大代表模仿客戶跟進，晶圓製造委外由晶圓代工公司生產之擴散速度越快，因此創新客戶係數與模仿客戶轉換係數之大小將影響擴散過程。若m為晶圓代工市場最終的潛在需求量。

$$n(t) = \delta_0 + \delta_1 N(t) + \delta_2 N(t)^2 \quad (15)$$

則方程式 (14) 、(15) 之間的參數有如下的關係：

$$\delta_0 = pm \quad (16)$$

$$\delta_1 = q - p \quad (17)$$

$$\delta_2 = -\frac{q}{m} \quad (18)$$

4. 實證結果與分析

4.1. 參數估計結果

表2為台積電與聯電月營收以Lotka-Volterra模型估計結果。兩家公司的競爭模式可藉由Lotka-Volterra模型參數加以區分判別，先觀察表的4月營收參數估計結果，而聯電對台積電的影響係數 γ_1 負且顯著，有足夠的證據顯示聯電的營收成長會對台積電的營收成長有幫助。而台積電對聯電的影響係數 γ_2 負且而不顯著，無足夠的證據顯示台積電的營收成長會對聯電的營收造成影響，台積電與聯電之間的關係，台積電不會幫助聯電的營收成長，而聯電會幫助台積電的營收成長，台積電與聯電的營收競合模式為片利共生(Commensalism)的關係。探討聯電的營收成長會

對台積電的營收成長有幫助、台積電對聯電沒有影響的片利共生關係，其可能原因為聯電在先進製程技術上的發展時程上一直緊追著台積電，與台積電維持在1至2個世代的製程技術差距，台積電必須全力衝刺先進製程技術的開發與持續擴大產能滿足客戶的需求，才能維持在晶圓代工市場的領導地位。因此聯電對於台積電的產生了馬蠅效應的效果，刺激台積電的製程技術開發與營收持續成長。

表2 台積電與聯電月營收以Lotka-Volterra模型估計結果

台積電月營收			聯電月營收		
參數	估計值	*t* 檢定值	參數	估計值	*t* 檢定值
α_1	0.887854	7.7499***	α_2	1.170884	9.5203***
β_1	0.000006	1.8677*	β_2	0.000032	1.3421
γ_1	-0.000042	-2.0049**	γ_2	-0.000003	-1.1051
Adjusted R^2	0.783714		*Adjusted* R^2	0.805735	
		a	*b*	*c*	均衡解
台積電月營收		-0.1189480	0.0000062	-0.0000444	74,182.95
聯電月營收		0.1577590	0.0000299	-0.0000032	13,104.62

*p <0.1 ,　**p <0.05 ,　***p<0.01

台積電在晶圓代工市場上一直維持著一家獨大的局面，如果缺少了聯電的競爭，製程技術與產能規模發展可能就無法如現在的表現，維持著如此快速的成長。就如同孟子[告子篇]所說「入則無法家拂士，出則無敵國外患者，國恒亡。然後知生於憂患而死於安樂也」都是相同的道理。2019年全球晶圓代工市台積電一家公司就獨占了52.7%，仍然一枝獨秀。聯電在先進製程技術發展上的緊追不捨，一直威脅著台積電，挑戰其晶圓代工市場的霸主地位。使得台積電必須不停的全力開發新製程技術，以維持在半導體代工市場的領先位置。也因為台積電的營收成長貢獻主要來自於先進製程產能的開發，對於成熟製程產能並未持續擴充，所以對於營收貢獻主要來自於成熟製程的聯電無明顯影響。另外，觀察表2中台積電每月營收之自身交互項係數 β_1，正而顯著，自我成長係數 b_1 亦為正，表示公司內部的各世代製程產能會交互阻礙，使月營收成長空間受限。受惠於行動裝置市場持續成長，物聯網崛起，帶動終端產品對IC需求增廣、增多，中低階與高階產品應用IC各有所需，晶圓代工的先進製程與成熟製程同樣受惠，台積電八吋與十二吋產能利用率均告滿載。顯示台積電公司內部的各世代製程，在產能利用率接近滿載的情況下，某世代製程產能的增加會犧牲其他世代製程的產能，因此在既有的製程技術及產能規模不變的條件下，月營收的成長的空間有限。

4.2. 模型準確度分析

本研究使用相同期間以及相同的資料樣本並且加入對照模型Bass模型的參數中，估計的結果請參考表3。表3的Bass模型參數估計顯示主導營收成長的主要因素為同產業模仿以前客戶向台積電下訂單的程度，顯示客戶的正面口碑會傳播給其他客戶，擴充客戶來源與營收金額。此外，比較表2與表3中可得知Lotka-Volterra模型每月營收中調整後的複判定係數(*Adjusted* R^2)大於Bass模型，由此可得知在本研究的每月營收入的樣本區間中，Lotka-Volterra模型的解釋力優於Bass模型。不管是Lotka-Volterra模型或Bass模型，聯電的可解釋變異均優於台積電，顯示Lotka-Volterra模型的預測能力在每月營收方面，聯電有較佳的配適準確度，代表Lotka-Volterra 模型對聯電的每月營收的整體解釋能力優於台積電。造成此結果的可能原因為，台積電的營收的主要來源，來自於先進製程製造產能，先進製程的毛利率較高且主要來自高階產品應用IC的市場需求，而大多數高階產品為消費性電子商品，受節慶及景氣影響較大，使得台積電的月營收波動大，所以對於台積電的每月營收方面的可解釋變異會呈現較低的狀態。

表4為Lotka-Volterra與Bass模型在估計期間、預測期間三期和預測期間五期的預測MAPE值比較表，根據Martin and Witt (1989) 區分預測能力的標準，估計期間兩組皆達到了“極佳”以上的水準，測試期間兩組皆達到了“不錯”以上的水準，估計期間可看出Lotka-Volterra模型的預測結果皆優於Bass模型。其背後原因是由於Bass模型僅就個別公司做擴散成長預估分析，而Lotka-Volterra模型除了考量個別公司的擴散成長預估分析之外，更考慮了不同公司之間的競爭合作關

係，因此準確度較高。而測試期間，台積電Lotka-Volterra模型的預測結果皆優於Bass模型，凸顯Lotka-Volterra模型納入聯電對台積電的追趕效應能更準確地預測台積電的營收，儘管聯電的Lotka-Volterra模型的預測能力並未優於Bass模型，但兩模型的預測能力均達極佳水準，差異不大。

表3 Bass模型參數估計結果

	δ_0	δ_1	δ_2	*Adjusted* R^2
台積電	34,426.9373	0.0154	6.66x10-10	0.7496
聯電	7,835.2603	0.0125	-3.64x10-09	0.7628

表4 Lotka-Volterra與Bass模型預測平均絕對誤差百分比比較表

		Lotka-Volterra 模型	Bass 模型
估計期間	台積電 聯電	7.79% (極佳) 4.62% (極佳)	8.69% (極佳) 5.16% (極佳)
測試期間 2014 年九月到 2014 年十一月	台積電 聯電	10.61% (不錯) 9.51% (極佳)	15.62% (不錯) 6.68% (極佳)
測試期間 2014 年九月到 2015 年一月	台積電 聯電	11.00% (不錯) 6.90% (極佳)	14.61% (不錯) 5.08% (極佳)

圖1為測試期台積電每月營收Lotka-Volterra模型估計值和Bass模型估計值與實際值比較圖，可以看見測試期間台積電的每月營收實際值上下波動較大，與本研究所使用的Lotka-Volterra模型的預測值相似程度頗高，整個測試期間預測皆有不錯的水準。而相較起來雖然Bass模型估計期間的預測也達到了不錯的水準，但比較無法預測突然跳升的數值，對於測試期間台積電月營收的波動，Bass模型無法準確預測，較為平滑，原因其為Lotka-Volterra除了考慮到自身的成長性之外，還有考慮到公司之間的競合關係以及是否本身會限制住自相的成長能力。而Bass模型只考慮到自身的預測能力，較無法對於跳升的數值有準確的預測。

圖2測試期聯電每月營收Lotka-Volterra模型估計值和Bass模型估計值與實際值比較圖，可以看見測試期間聯電的每月營收實際值上下波動較大，與本研究所使用的Lotka-Volterra模型的預測值相似程度頗高，整個測試期間預測達到極佳的水準。而Bass模型測試期間的預測也達到了極佳的水準並且預測準確度優於Lotka-Volterra模型，原因是台積電與聯電的競爭模式藉由Lotka-Volterra模型參數加以區分判別為片利共生的關係，在台積電對聯電的影響係數 γ_2 負而不顯著的情況下，Lotka-Volterra模型預測優於Bass模型的條件不存在，造成在聯電的月營收預測上，Bass模型的預測準確度優於Lotka-Volterra模型的結果。

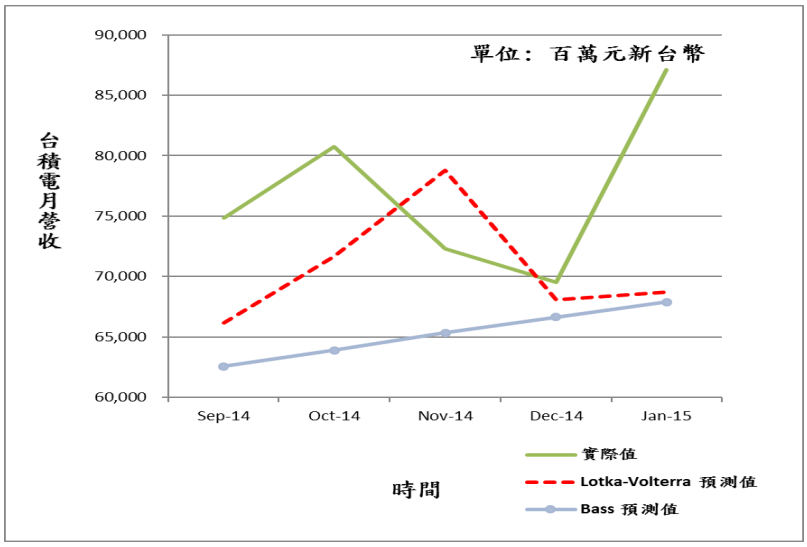

圖1 測試期台積電每月營收Lotka-Volterra模型估計值和Bass模型估計值與實際值比較圖

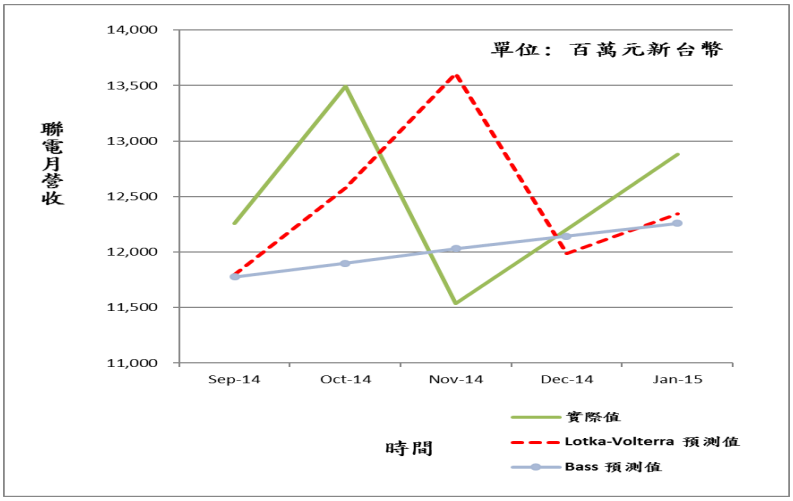

圖2 測試期聯電每月營收Lotka-Volterra模型估計值和Bass模型估計值與實際值比較圖

4.3. Lotka-Volterra模型之均衡分析

假設Lotka-Volterra模型的均衡點代表台積電和聯電間經過長時間的競合消長後，會使得每月營收達到長期的穩定均衡，本研究的其中一項研究目的是為預測台積電和聯電的未來關係傾向，是否存在著均衡關係。圖3為台積電與聯電每月營收的Lotka-Volterra模型均衡解圖。經過方程式(12) 的運算，台積電和聯電的每月營收均衡點為(74,185 , 13,105) 百萬元新台幣，在此圖中我們可以觀察到未來台積電以及聯電的每月營收會循環震盪，並且逐漸朝向均衡點的方向逼近。此結果也說明台積電和聯電在長期競合下，將會達到穩定均衡的狀態。

圖4是以時間為橫軸，台積電與聯電每月營收為縱軸，以Lotka-Volterra模型參數估計結果推算出的未來每月營收長期趨勢預測圖。此均衡解的結果可透過前述的競合關係結果加以解釋，台積電掌握先進製程技術領先以及生產良率較高的兩大優勢之下，可以看到台積電每月營收有持續的成長，並且在2014年二月開始成長速度非常快速，主要貢獻來自於承接蘋果公司行動裝置處理器訂單，台積電在未來長期的競合關係之下，會逐漸收斂到74,185百萬元新台幣。受惠於物聯網崛起，帶動終端產品對IC需求增廣、增多，中低階與高

階產品應用IC各有所需，晶圓代工的先進製程與成熟製程同樣受惠，整個晶圓代工市場需求持續擴大，使得聯電的月營收都呈穩定向上的趨勢。聯電在本研究之下，每月營收之自身成長項係數正而非常顯著，而自我殘殺能力沒有顯著的結果，顯示在既有的製程技術及產能規模不變的條件下，聯電的月營收在產能未滿載的情況下仍有成長的空間。意旨聯電在未來長期的競合關係之下，會逐漸成長並收斂到13,105百萬元新台幣。

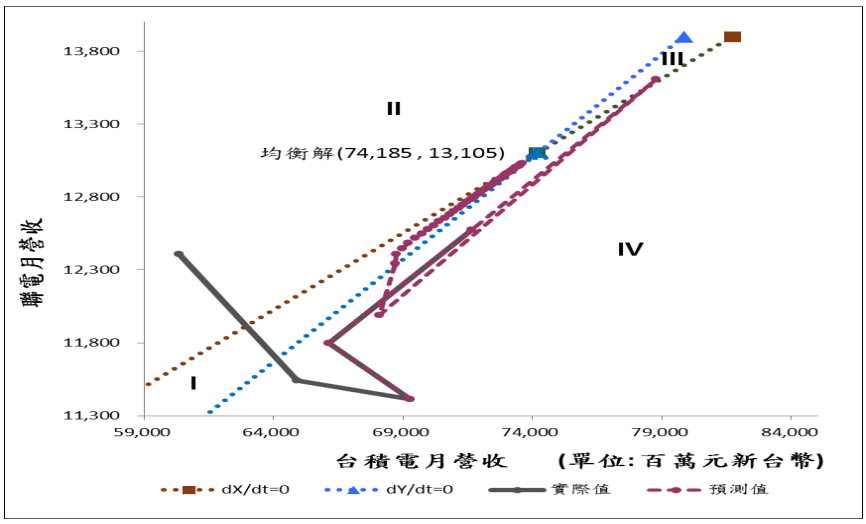

圖3 台積電與聯電每月營收的Lotka-Volterra模型均衡解圖

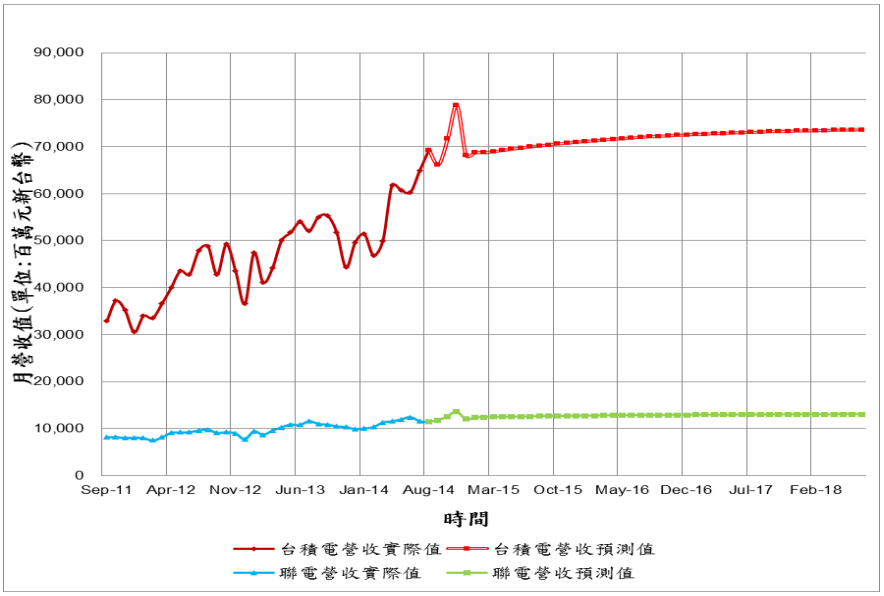

圖4台積電與聯電每月營收長期均衡分析圖

在半導體界有所謂的摩爾定律 (Moore, 1975)，也就是積體電路上可容納的電晶體數目，大約每隔18個月便會增加一倍，大致上來說，如果在相同面積的晶圓下生產同樣規格的IC，隨著製程技術的進步，每隔一年半，IC產出量就可增加一倍，換算為成本，即每隔一年半成本可降低五成，平均每年成本可降低三成多。就摩爾定律延伸，IC技術每隔一年半推進一個世代。台積電相對於聯電的主要競爭優勢來自於製程技術維持一到兩個世代的領先。前台積電董事長張忠謀公開表示「摩爾定律將死」宣告摩爾定律的時代即將結束，因為研發和半導體設備的投資成本十分

高昂，而有能力投資在研發新的製程技術和購買新的半導體設備的企業非常少。而且製程技術也越來越接近半導體的物理極限，將會難以再微縮下去。也就是說台積電來自於先進製程技術的競爭優勢即將消失，台積電與聯電的差距不會再持續擴大，在長期競合下，將會達到穩定均衡的狀態。

尤其，在圖4當中我們可以觀察到台積電以及聯電的每月營收，在估計期間的初期，台積電約為聯電的4倍，但是越到後期，台積電以及聯電的差距逐漸越拉越大，最後擴大到6倍，在Lotka-Volterra模型中，我們所得到的結果是聯電會幫助台積電成長，但台積電不會幫助聯電成長，符合Lotka-Volterra模型的分析結果。其主要原因除了在2000年間，聯電決定直接跳過0.15微米的半世代製程，與IBM合作直接開發0.13微米銅製程，但因為開發不順利結果導致延誤了0.13微米銅製程量產的時程。而台積電則順利地自行研發開發出銅製程技術，這十多年來，從0.13微米到16奈米技術，連續幾個世代技術，聯電逐漸落後台積電。聯電雖然曾是全球晶圓代工第二的業者，但晶圓代工產業似乎越來越傾向贏者全拿的市場。成熟製程市場競爭激烈價格不好，毛利較低，高階終端產品走向輕薄化，由於先進製程的需求提升，使得無法提供先進製程的廠商等於競爭力衰退。台積電拉大與競爭對手的技術差距就是競爭力與獲利的保證，在台積電的營收貢獻中，高毛利率的先進製程產能佔了絕大部分。因此對於台積電與聯電而言，同樣的資本支出對於公司的營收貢獻卻有很大的差距，也因此造成聯電的營收與股價與台積電的差距日益拉大。另一個原因為，2009年台積電董事長張忠謀在回任後擬定了三大策略。(一) 大幅擴增資本支出: 金融海嘯發生後，台積電開始節約成本，張忠謀回任之後反而踩下油門，大幅擴增資本支出，不讓對手有任何機會拿下訂單；(二)增加產品線: 除了邏輯晶片外強化了七個領域；(三)活化資產: 除了最先進製程持續領先，更讓六吋、八吋廠產能集中在車用電子零件等附加價值高的產品。張忠謀的策略也成功地帶領台積電，在往後幾年創下營收與獲利的歷史新高。

5. 結論與建議

5.1. 研究限制與未來建議

本研究結果從參數估計方面來講，台積電與聯電的營收競合模式為聯電的營收成長會對台積電的營收成長有幫助、台積電對聯電沒有影響的片利共生關係，其可能原因為聯電在先進製程技術上的發展時程上一直緊追著台積電，與台積電維持在1至2個世代的製程技術差距，台積電必須全力衝刺先進製程技術的開發與持續擴大產能滿足客戶的需求，才能維持在晶圓代工市場的領導地位。因此聯電對於台積電的產生了馬蠅效應的效果，刺激台積電的製程技術開發與營收持續成長。台積電在晶圓代工市場上一直維持著一家獨大的局面，如果缺少了聯電的競爭，製程技術與產能規模發展可能就無法如現在的表現，維持著如此快速的成長。也因為台積電的營收成長主要來自於先進製程產能的開發，對於成熟製程產能並未持續擴充，所以對於營收主要來自於成熟製程的聯電無明顯影響。此外，台積電每月營收之自身交互項係數正而顯著，表示公司內部的各世代製程產能會交互阻礙，使月營收成長空間受限。受惠於行動裝置市場持續成長，物聯網崛起，帶動終端產品對IC需求增廣、增多，中低階與高階產品應用IC各有所需，晶圓代工的先進製程與成熟製程同樣受惠。台積電製程技術能力的先進性及全面性無庸置疑，因此物聯網的成長需求填滿了台積電的各世代製程產能，八吋與十二吋產能利用率均告滿載。顯示台積電公司內部的各世代製程，在產能利用率接近滿載的情況下，某世代製程產能的增加會犧牲其他世代製程的產能，因此在既有的製程技術及產能規模不變的條件下，月營收的成長的空間有限。

在精確度分析方面，在估計期間，無論是台積電、聯電還是總體來看，Lotka-Volterra模型的MAPE值均小於Bass模型的MAPE值，顯示Lotka-Volterra模型的預測準確度優於Bass模型。其原因是由於Bass模型僅就個別公司做擴散成長預估分析，而Lotka-Volterra模型除了考量個別公司的擴散成長預估分析之外，更考慮了兩家公司之間的競爭合作關係，因此準確度較高。Lotka-Volterra模型相較於Bass模型，對台積電與聯電的每月營收的樣本資料有較佳的配適準確度與整體解釋能力。在預測期間，聯電月營收預測， Bass模型的MAPE值小於Lotka-Volterra模型，顯示預測期間對於聯電月營收預測，Bass模型的預測準確度優於Lotka-Volterra模型，與總體預測結果不同，其可能原因為，以Lotka-Volterra模型估計，台積電對聯電的影響係數不顯著，因此聯電的月營收預測，在影響係數不顯著的情況下，Lotka-Volterra模型預測優於Bass模型的條件不存在，造成在聯電的月營收預測上，Bass模型的預測準確度優於Lotka-Volterra模型的結果。但以總體來看，Lotka-Volterra模型的預測準確度仍優於Bass模型。

在均衡分析方面，台積電和聯電的每月營收

均衡點為 (74,185 , 13,105) 百萬元，此結果也說明台積電和聯電在長期競合下，將會達到穩定均衡的狀態。在半導體界有所謂的摩爾定律，也就是積體電路製程技術每隔一年半推進一個世代。台積電相對於聯電的主要競爭優勢來自於製程技術維持一到兩個世代的領先。2014年台積電董事長張忠謀公開表示「摩爾定律將死」宣告摩爾定律的時代即將結束，因為製程技術越來越接近半導體的物理極限，將會難以再微縮下去。也就是說台積電來自於先進製程技術的競爭優勢即將消失，台積電與聯電的差距不會再持續擴大，在長期競合下，將會達到穩定均衡的狀態。台積電掌握先進製程技術領先以及生產良率較高的兩大優勢之下，每月營收有持續的成長，但自身交互項係數正而顯著，顯示在產能利用率接近滿載的情況下，各世代製程產能會交互阻礙，因此月營收的成長的空間有限。意旨台積電在未來長期的競合關係之下，會逐漸收斂到74,185百萬元。聯電則受惠於物聯網崛起，晶圓代工的先進製程與成熟製程同樣受惠，整個晶圓代工市場需求持續擴大，使得聯電的月營收都呈穩定向上的趨勢。聯電在本研究之下，每月營收之自身成長項係數正而非常顯著，而自我殘殺能力沒有顯著的結果，顯示聯電的月營收在產能未滿載的情況下仍有成長的空間。意旨聯電在未來長期的競合關係之下，會逐漸成長並收斂到13,105百萬元。

台積電以及聯電的每月營收，在估計期間的初期，台積電約為聯電的4倍，但是越到後期，台積電以及聯電的差距逐漸越拉越大，最後擴大到6倍，在Lotka-Volterra模型中，我們所得到的結果是聯電會幫助台積電成長，但台積電不會幫助聯電成長，符合Lotka-Volterra模型的分析結果。其主要原因可能是台積電專注於晶圓代工本業，著重專業晶圓製造能力的提升、開發新的製程技術與滿足客戶需求來創造競爭優勢，而聯電則採取與IC產品設計公司共同投資晶圓廠之策略，可惜聯電在2000年間，聯電在0.13微米銅製程開發上的挫敗，導致十多年來，從0.13微米到16奈米連續幾個世代技術，聯電逐漸落後台積電。由於成熟製程市場競爭激烈價格不好，毛利較低，使得無法提供先進製程的廠商競爭力衰退，也因此造成聯電的營收與股價與台積電的差距日益拉大，尤其，2009年台積電董事長張忠謀在回任後大幅擴增資本支出，不讓對手有任何機會拿下訂單，阻卻競爭者，台積電並成功開發出銅製程技術，從此營收與股價也與台積電差距日益拉大。

5.2. 研究限制與未來建議

台積電和聯電於2015年前即佔有全球一席之地，本篇論文探討國內晶圓雙雄之競爭，因2015年以前國外各大晶圓廠尚未崛起，為避免國外各大晶圓廠干擾本議題，本研究使用2011年至2015年之營收樣本資料做分析，控制於晶圓雙雄稱霸的時期做研究，凸顯聯電追趕領導廠商台積電，刺激領導廠商不斷進步，維持領導地位的馬蠅效應。本研究僅以雙元Lotka-Volterra模型探討到2015年，無考慮其他廠商崛起對領導廠商的影響，此為本研究的研究限制，建議後續研究可以繼續擴充探討在國外廠商Samsung和Global Foundries營業收入逐漸上升的情況下，台灣二大晶圓龍頭營收關係和競爭效應是否有所變遷。

誌謝

作者感謝科技部計畫(計畫編號：NSC 109-2410-H-009-039)與教育部教學實踐研究計畫(計畫編號: PBM1090821)經費補助，協助此研究順利完成。

參考文獻

1. 高廣闊與孫一鳴(2013)。基於Lotka-Volterra模型的上海低碳化產業結構調整系統仿真研究。上海理工大學學報，35(5)，457-462。
2. 張桂輝(2013)。林肯重用 “馬蠅” 的聯想。海峽通訊，(11)，66-66。
3. 曾繁相(2013)。出口擴張時期臺灣經濟發展與職教改革互動述評。教育與職業，(26)，173-175。
4. 蔡璧徽與林淵源(2014)。擴散模型於半導體區位與銷售分佈之應用分析。商略學報，6(3)，167-180。
5. Lynn (2017), 晶圓代工爭霸戰：台積電vs聯電, 寫點科普, 網路資料https://kopu.chat.
6. Bass, F. M. (1970). A New Product Growth Model for Consumer Durables. Management Science, 15(5), 215-227.
7. Carroll, R. G. (1981), Dynamics of Organizational Expansion in National Systems of Education, American Sociological Review, 46(3), 585-599.
8. Chang, L.C. (2014). A Professional Talent Checklist and Curriculum Development for the Semiconductor Industry. Master Dissertation, National Taiwan University of Science and Technology.
9. Gabszewicz, J. J., and Thisse, J. F. (2014). Entry

(and Exit) in a Differentiated Industry. Noncooperative Approaches to the Theory of Perfect Competition, 213

10. Kamimura, A., Guerra, S. M. G. and Sauer, I. L. (2006). On the Substitution of Energy Sources：Prospective of the Natural Gas Market Share in the Brazilian Urban Transportation and Dwelling Sectors.　Energy Policy, 34(8), 3583-3590.

11. Leslie, P. H. (1957). An Analysis of the Data for Some Experiments Carried out by Gause with Populations of the Protozoa, Paramecium Aurelia and Paramecium Caudatum. Biometrika, 44(3), 314–327.

12. Martin, C. A. and Witt, S. F. (1989). Accuracy of Econometric Forecasts of Tourism. Annals of Tourism Research, 16(3), 407-428.

13. Patel, A. (2012). A Lotka-Volterra, Competition Model of Social Media Sites. DCSM Workshop, Courant Institute of Mathematical Sciences.

14. Pistorius, C. W. I. and Utterback, J. M. (1997), Multi-Mode Interaction Among Technologies, Research Policy, 26, 67-84.

15. Reddy, B. S. (1996). Modelling of Competing Technologies in the Residential Sector. Energy Conversion and Management, 37(1), 117-125.

16. Tsai, B. H. (2013). Modeling Diffusion of Multi-Generational LCD TVs while Considering Generation-Specific Price Effects and Consumer Behaviors. Technovation, 33(10), 345-354.

17. Tsai, B.-H. (2017), Predicting the Competitive Relationships of Industrial Production between Taiwan and China Using Lotka-Volterra Model. Applied Economics, 49 (25), 2428-2442.

18. Tsai, B.-H. and Chen, C.-C. (2020). Forecasting Interactive Relationships and Long-term Equilibrium of CO2 Emissions in Industrial Interdependent Regions. Carbon Management 11(1), 57-67.

19. Utterback, J. M. (1994). Mastering the Dynamics of Innovation. Cambridge, MA: Harvard Business School Press.

20. Wu, L. and Liu, A. (2012). Using Grey Lotka-Volterra Model to Analyze the Relationship between the Gross Domestic Products and the Foreign Direct Investment of Ningbo City, Grey Systems and Intelligent Services. Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Communications, 17(4), 265-268.