

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

※ 研究發展、技術引進與經濟成長 ※

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 89-2415-H-004-042

執行期間：89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

計畫主持人：莊奕琦 教授

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：政治大學經濟學系

中華民國九十年月日

研究發展、技術引進與經濟發展

莊奕琦、張綱紜

國立政治大學經濟學系

摘要

本文嘗試在傳統的 R&D 模型中，引入技術引進的概念，並從技術發展型態的角度來探討其與經濟成長之關係。理論的結果告訴我們各個國家會採取何種技術發展的型態決定於其本身的技術水準。技術水準愈低的國家，基於成本的誘因，會採取較具優勢的技術引進的發展策略；相反地，技術水準較高的國家，則會利用本身較佳的技術優勢而自行研發。採取不同技術發展型態的國家，其經濟成長的型態也跟著不同。各個國家由於初始條件的差異及其成長的速度和世界成長的速度的不同，致使成長的路徑也會不同，而且每個國家收斂的恆定狀態也不相同。技術落後的國家不見得會永遠處於落後的地位，只要其成長的速度足夠支持其發生技術發展型態的結構性改變，就有可能追趕上先進國家，甚至超越。而原先處於領先地位的先進國家，也有可能因本身研發的效率退步，致使成長速度落後於世界的平均水準，結果反倒是由領先的地位退到落後國家之林。

關鍵詞：技術引進；技術發展型態；經濟發展

研究發展、技術引進與經濟發展

一、緒論

近代的新成長理論(new growth theory)嘗試內生解釋長期經濟成長，其立論的基礎主要來自於人類知識的累積(accumulation of knowledge)。知識經由有組織地整合並直接應用於生產上就是所謂的技術(technology)。新的知識會帶來新的技術，而新技術可以製造新的產品，使產出增加並帶來利潤，所以新知識的產生，透過技術創新的形式，帶來經濟的成長。這樣的論點就是內生成長其中的一支主流，R&D 模型的觀點。另外一種知識累積的方式就是透過教育及訓練人力，將知識累積在人身上，而人用於生產時，隨著知識的累積，間接提高了人的生產力，進而使得經濟成長，這也就是另一主流，人力資本(human capital)模型的立論依據。然而不論是透過何種形式，由於知識本身具有無限的潛能(unlimited potential)，知識的創造並不會有如實物資本(physical capital)邊際報酬遞減的特性，因此才能使得經濟不斷地成長。

不過遺憾的是，新成長理論解釋了長期經濟成長，卻往往無法解釋所得差異性的現象。深究其原委，如果我們從邏輯上倒推回去看，就會發現新成長理論為了專注於解釋長期成長，所以就積極找尋一個不會停止的成長來源，而這個來源就是知識。但是單一同質的成長來源又如何能有差異性的產生呢？

舉例來說，在 R&D 模型中，技術的創新唯一的管道就是廠商透過投入資源去從事研究發展(research and development，R&D)，經由研發取得能使得經濟不斷成長的來源--技術。由於研發的報酬不會遞減，自然有源源不絕的新技術產生足以維持經濟持續成長。但是我們知道新技術的取得並非只有研發一途，也並非每個國家都有能力去從事研發，許多國家是透過技術引進(technology adoption)或者是模仿(imitation)等等技術擴散(technology diffusion)的途徑取得新技術。在

此為方便說明，我們將這類非透過自行研發取得技術的管道統一以技術引進稱之。這一類的途徑所帶來的成長型態是不同的，因為技術引進取決於其本身的技術水準和其他國家之間的差距而定，假使除了本國以外，世界上其他國家都可以作為技術取得的來源的話，那麼本身技術水準愈低的國家可以向別人取得的技術就愈多，反之，水準愈高則機會愈少。這所隱含的意義就是技術引進取得新技術的報酬並非如研發一般是不會遞減的，反而會隨著技術差距(technology gap)的縮小，而報酬遞減，換言之，技術進步所能帶來的經濟成長也會遞減。

另外，Jovanovic(1995)指出即使是最先進的國家花在技術引進的資源也比研發還要多。他並以美國為例，每年花費在 R&D 的成本佔美國 GNP 不到 3%，但是用於技術引進的成本卻高達 10% 至 15%。¹此項發現對傳統上一般模型簡單地以先進國家只作 R&D，而落後國家只作技術引進的假設提出了質疑。²

結合 Jovanovic(1995)的看法和我們之前的推論就啟發了我們以下的想法：如果我們將 R&D 模型中，加入了技術引進的概念，換言之，我們結合了兩個具有不同特性的成長來源，那麼就有可能使得成長出現差異性的現象，同時又能維持長期的成長，因為技術引進的成長是會隨著技術差距縮小而減緩，但是研發卻不會。是故，本文將嘗試結合 R&D 和技術引進兩種不同的技術發展型態，³來探討經濟成長的相關議題。第二節為理論模型。第三節為分析技術發展型態與經濟成長之關係。第四節為藉由動態路徑(dynamic trajectory)的模擬來進行政策分析。最後，第五節為結論。

二、理論模型

¹ Jovanovic(1995)用於估算技術引進成本的定義相當廣泛，包括國民教育的成本，在職訓練(on-the-job training)的成本都算在內，細節請詳參其文章。

² 一般如 Krugman(1979)之類的所謂南北模型(north-south model)都是如此假設的。

³ 必須說明的是我們所指的技術發展和國科會之定義不同。依照國科會的定義是：是一項從“新發現”或“新發明”所得到的知識中，有系統的加以應用。

R&D 成長模型主要以 Romer (1990) , Grossman & Helpman (1991a)(1991b)(1991c)及 Aghion & Howitt (1992)的模型為濫觴。然人類文明之發達，科技之進步，無不緣由於後人紹承前人之智慧，不斷累積，進而求新、求變，方能向未知的領域邁進。因此，站在知識巨人的肩上，立基於 Grossman & Helpman(1991a)的模型，本文試圖探討並發掘技術發展型態與經濟成長之關係。

2.1 消費者決策行為

假設一代表性的家計單位有無限期的生命，追求其跨期效用(intertemporal utility)之極大化。以下式來表示其跨期偏好之形式：

$$U_t = \int_t^\infty e^{-\rho(\tau-t)} \log D(\tau) d\tau \quad (2.1)$$

U_t 代表消費者在第 t 期之效用，是未來各期效用之折現總和； ρ 代表的是消費者的時間偏好率(time preference rate)亦是主觀的折現因子(discount factor)； D 是消費者所消費各種財貨的一種消費指數(consumption index)，亦可視其為一複合財貨(composite good)。將其取對數之後用以表達消費者的瞬間效用(instantaneous utility)，也就是說我們若將時間予以無限分割，在某一時點上，消費者因為消費而獲得的滿足程度之意。

接下來我們更進一步來探討 D 的形式，令其如下式：

$$D = \left[\int_0^n x(j)^\alpha dj \right]^{\frac{1}{\alpha}}, \quad 0 < \alpha < 1, \quad j \in [0, \infty) \quad (2.2)$$

(2.2)式說明 D 是由許多不同的財貨所組合而成； $x(j)$ 表示組成複合財貨所需的第 j 種財貨投入； n 表示總共所需投入的財貨種類數。在此我們亦假設市場上可能出現的財貨種類有無限多種，⁴但是在某一時點上，市場上只存在 n 種，這 n 種代表的是在這個時點以前已經被發明出來並存在於市場上的財貨種類，當然，只有在財貨被發明之後才有可能被使用，這樣的假定是很自然的。(2.2)式的

⁴ 為方便分析，我們假設 j 是連續的(continuous)，忽略財貨的種類必須是整數的限制。

形式最早是由 Dixit-Stiglitz(1977)所提出來的。

預算限制是消費者在作決策時必要考慮的客觀條件，假設消費者在期初擁有財富為， w ，另外每一期經由投入固定勞力到勞動市場以獲取固定的工資收入為， w ⁵，除此之外不再有其他的收入或所得。於是消費者的跨期預算限制式就如下式所示：

$$\int_t^\infty e^{-[R(\tau)-R(t)]} P_D(\tau) D(\tau) d\tau \leq \int_t^\infty e^{-[R(\tau)-R(t)]} w(\tau) d\tau + W(t) \quad (2.3)$$

其中 $R(t) = \int_0^t r(\tau) d\tau$ ， r 是瞬間的市場利率，所以 $R(t)$ 就是第 0 期到第 t 期的折現因子。為方便說明，我們想像 D 為單一財貨，而 P_D 為其價格，則(2.3)式的意義是說消費者各期消費支出的折現總和不得大於其各期工資收入的折現總和加上其期初財富。

有了主觀的效用函數及客觀的預算限制式之後，接下來自然就可以探討消費者如何作決策。不過在此之前，我們利用(2.2)式的第一個特性，就是其具有弱可分割性(weak separability)，來幫助我們分析。因為我們已知每一期的支出如下：

$$E(t) = P_D(t) D(t) \quad (2.4)$$

將(2.4)式代入(2.1)式可得間接效用函數(indirect utility function)：

$$U_t = \int_t^\infty e^{-\rho(\tau-t)} [\log E(\tau) - \log P_D(\tau)] d\tau \quad (2.5)$$

(2.5)式中我們可以明顯地看出此間接效用函數是弱性可分割的，而根據 *Fisher's Separation Theorem*，具有這種間接效用函數的消費者可以進行兩階段預算(two-stage budgeting)⁶，也就是說消費者可以先決定每一期各種財貨的消費量，再決定每一期的支出流量的配置。準此，給定消費者單期的支出函數如下：

$$E = \int_0^n p(j) x(j) dj \quad (2.6)$$

⁵ 我們假設勞動市場達到競爭均衡，所以工資為固定的。

⁶ *Fisher's Separation Theorem* 的前題假設必須有借貸市場存在，在我們的模型中，我們亦假設如此。

其中 $p(j)$ 是 $x(j)$ 的價格。然後求(2.2)式之極大值，就可以得到每一種財貨的需求函數：

$$x(j) = \frac{Ep(j)^{-\varepsilon}}{\int_0^n p(j)^{1-\varepsilon} dj}, \quad \varepsilon = \frac{1}{1-\alpha} \quad (2.7)$$

ε 在此即為 x 的價格彈性，同時亦為任兩種 x 之間固定的替代彈性，這也是(2.2)式的第二個特性。另外，我們還可以求出此需求函數的支出(所得)彈性為一。

在決定了每一期的每種財貨的消費量之後，接下來所要面對的問題就是如何配置每一期消費支出的流量了。相對於第一階段的問題，消費者現在所考量的不過是把時間由單一時點拉長到無限而已，同樣是在預算限制之下，追求效用極大，只是現在必須考慮的是跨期效用及預算。

所以在給定(2.3)式的跨期預算限制下，追求(2.5)式的跨期效用極大化，可得到每一期的支出流量配置如下式：

$$\frac{\dot{E}}{E} = r - \rho \quad (2.8)$$

(2.8)式告訴我們，每一期的支出流量取決於客觀的市場利率及消費者主觀的時間偏好率。當市場利率高於時間偏好率時，利率的誘因使得消費者會壓抑現在的消費，以換取將來的利息報酬，因此支出流量將呈現成長的趨勢。反之，支出流量則會縮減。

然而，在達到均衡狀態時，也就是當支出不再變動的時候，必須滿足：

$$r(t) = \rho \quad (2.9)$$

也就是每一期的市場利率必須等於消費者的時間偏好率。

在下面的分析中，我們都將假設(2.9)式滿足並透過適當的單位選擇，令每一期的支出為一。Dixit-Stiglitz 效用函數所求出來各種財貨的需求之間具有固定的替代彈性， ε ，且不等於一，換言之，任兩種財貨之間無法完全替代，因此隨著市場上不斷出現新的產品時，這個特性就隱含了兩個層面的意義：(1)市場上的

產品種類會不斷累積，消費者選擇的多樣性會一直增加。(2)既然財貨之間無法完全替代，新發明的財貨就無法完全地取代舊的，亦就是說市場上不會有新產品淘汰舊產品的現象發生。⁷

另外，為利於將消費面和生產面能順利結合，我們將(2.2)式看成是一生產函數， D 為產出， $x(j)$ 為要素投入。以下在生產者的行為中假定(2.2)式亦為生產者的生產函數。⁸

2.2、生產者決策行為

在模型中，生產者所扮演的角色，除了製造產品外，更重要的是從事技術的創新。內生成長理論標榜長期經濟成長的原動力來自於技術的進步。而技術之所以會進步乃是人類不斷從事研究發明的結果。但問題是何謂“技術”？我們又如何在模型中描繪出人類的創新行為呢？本模型中，技術的創新是追求利潤的生產者所欲從事的有計劃的，以追求利潤為目的的行為，既然如此，如果技術創新不能給予生產者某種程度的報酬的話，是不可能誘使生產者去做的。因此，我們所指稱的技術創新是廠商企圖獲取某種利潤而投入資源以從事新技術取得的行為。⁹至於新技術本身，我們試圖以一種新的財貨代表一種新技術。如此，中間財的種類愈多也就代表技術水準愈高。我們可以用(2.2)式的生產函數來證明這種說法。

假設在一個對稱均衡(symmetric equilibrium)的狀況下，市場競爭會使得生產要素價格趨於一致，也就是說，廠商生產複合財貨所使用的每一種財貨數量會相同， $x(j)=x$ ，如此，則(2.2)式就可以化成：

$$D = n^{\frac{1}{\alpha}} x \quad (2.10)$$

⁷也許完全沒有淘汰的現象不合實際的狀況，但一項新產品要完全取代舊的產品往往需要一段時間的，比如說 Microsoft 公司所推出的最新版本的作業系統是 Windows 98，但是我們知道之前的 Windows 95，甚至是 Windows 3.1 的版本至今依然有許多人在使用就是一明顯的例子。

⁸此處理方式請詳參 Ethier(1982)的文章。

⁹我們假設新技術受到政府給予無限期的專利保護(infinite patent protection)，因此，發明新技術

我們知道生產一單位的 D ，所須投入的財貨共有 n 種，而每一種的數量為 x ，故總的要素投入我們可以用 $X = nx$ 來表示。因此，每一單位 X 的投入所獲得的產出，我們稱之為總要素生產力(total factor productivity)，以下式表示：

$$D/X = n^{(1-\alpha)/\alpha}, \quad 0 < \alpha < 1 \quad (2.11)$$

(2.11)式中清楚發現，隨著財貨種類的增加，總要素生產力也會跟著提升，而傳統上總要素生產力的提升，非歸因於要素投入的結果者，我們將之歸因於技術的進步，因此，財貨種類的增加也就代表技術的進步。

現實世界中，一項新的財貨的發明未必代表一種全新的技術，而很可能只是將既有的技術加以改良，求其更加完善而已。不過，如果我們比較兩種不同的財貨，很明顯地，兩種財貨所包含的技術(technology embodied)絕對不可能完全一樣，易言之，當複合財貨所使用的財貨的種類愈多，自然所涉及的技術也就愈多。從專業分工的角度說，也就是這項財貨的生產愈趨向於分工專業化(specialization)。所以所使用的財貨愈多表示所包含的技術愈多是無庸置疑的。只不過在理論上，我們為了方便說明，直接以一種財貨指射一項技術而已，這樣的簡化是不會影響我們推論的合理性的。¹⁰

總結一下我們對技術創新的定義：所謂技術創新泛指廠商為獲得某種獨佔利潤，投入資源以從事新技術的取得。而所謂的新技術我們以新的財貨來代表。換言之，創新是一種生產行為，新的財貨(新技術)則是產出。

接下來為廠商的生產決策。假設每一家廠商生產一種財貨，¹¹而生產財貨所須要的唯一要素投入就是勞動。同時假設產出投入比為 1:1，也就是說一單位財貨的產出，須要一單位的勞動投入。

的廠商將獲得市場上的獨佔利潤。

¹⁰ 同時，這樣的簡化也利於我們將技術變成可以加總的(additive)，而這個特性對於之後的分析是很有幫助的。

¹¹ 實際上，在專利保護下，也只能生產一種。

在完全競爭的勞動市場中，廠商面對的是一個固定的，由市場決定的工資率， w 。廠商的利潤函數於是如下式所示：

$$\pi(j) = p(j)x(j) - wx(j) \quad (2.12)$$

由於受到專利保護，廠商因而具有獨佔力，致使它所要考慮的問題是該如何訂價，而非生產多少，才能獲得最大的利潤。為解決這個問題，我們將(2.7)式的需求数代入(2.12)式中，可得到下式：

$$\pi(j) = \frac{[p(j) - w]Ep(j)^{-\alpha}}{\int_0^n p(j)^{1-\alpha} dj} \quad (2.13)$$

求(2.13)式之極大值，自然我們得到廠商的最適訂價策略如下式：

$$p(j) = \frac{w}{\alpha} = p^{12} \quad (2.14)$$

因為 $\alpha < 1$ 的緣故，廠商的訂價很顯然是高於所須投入的成本， w ，而且採取固定加碼(mark-up)的訂價策略，我們不難理解這是由於廠商具有獨佔力的結果。又因為， w ， α ，皆為固定常數，所以每種財貨的價格都會相等於 p 。

將(2.14)式代回(2.7)式中，可得產出如下式：

$$x(j) = \frac{1}{np} = x \quad (2.15)$$

再將(2.14)，(2.15)式同時代回(2.12)式的利潤函數，我們可得到：

$$\pi(j) = \frac{1-\alpha}{n} = \pi \quad (2.16)$$

同樣的，在均衡狀態下 n 不變， w ， α 也為常數，自然 x ， π 也都固定不變。不過值得注意的是，在這裏我們尚未考慮技術創新，也就是財貨的種類並未增加。但一旦我們允許技術創新，也就是 n 可以變動下，我們可以發現 x ， π 都會隨著 n 增加而減少。這個特性對我們之後作動態均衡分析時是很重要的。

¹² 由於我們已經令 $E = 1$ ，所以在(2.14)，(2.15)及(2.16)式中都不會出現 E 。

2.3 技術發展型態

之前我們提到的技術創新指的是新技術的取得，但是並未深入探究取得新技術的途徑為何。大致上，我們可以將新技術的取得分成兩類：一是自行研發，二是學習別人的新技術。兩者的差別在於前者是自行投入資源去從事研究發展的工作，也就是一般定義的 R&D。後者則是自己不從事研發，而直接將別人的研發成果擷取過來用，這一類途徑泛指技術引進，模仿，或者技術移轉，技術擴散等等，最主要就是指自己不做研發，而直接從別人身上學來的方式，但為了方便說明，我們以後一律以技術引進指稱後者。

同時，也是為了方便說明，我們也將技術取得途徑稱為技術發展型態(technology development type)。是故，我們作如下的定義：所謂技術發展型態，我們指稱取得新技術的途徑。主要分為兩類：一是自行研發，也就是廠商自行投入資源以從事技術創新的工作；二是技術引進，泛指一切非經由自行研發得到技術，而是經由引進、學習或是模仿而來。

事實上，技術發展型態正是本文所專注的焦點及所欲探討的核心問題。以往的 R&D 模型和 technology adoption 模型，往往只考慮單一一種技術發展型態，並且很粗略地就定義先進國家只會做 R&D，而落後國家就只能做 adoption，然而如同緒論中所提到的，現實世界中，往往是兩種技術發展型態同時發生的，所以為了突破以往僵固的邏輯，以求更能符合現實世界的狀況，我們試圖讓廠商多考慮一種決策，也就是在決定技術創新之前先要決定欲採取何種技術發展型態。至於如何決定，我們從廠商的技術發展部門談起。

如同之前所說的，廠商的行為除了製造生產之外，更重要的就是從事技術創新的工作。我們的模型中指的也就是研發或者引進一種新的財貨生產技術，而這是需要投入資源(成本)的。然而在獨佔利潤的誘因下，廠商自然是很樂意去做的，所以我們假設廠商除了製造部門，會另外設置一個部門專門從事技術發展的

工作，我們稱之為技術發展部門。

問題是廠商是要自己去研發還是直接從國外引進，甚或是兩者都作呢？這樣的問題當然要從兩種不同途徑的成本利益分析(cost-benefit analysis)著手。進行之前，容我們強調三點：(1)在我們的模型中，不考慮不確定性(uncertainty)的問題。

¹³ 不論是研發或是引進，只要投入成本就一定能成功取得新的財貨生產技術。(2)只要一旦取得新的技術，則不論是經由何種途徑，我們都假設受到國內政府給予無限期的專利保護。(3)另外，我們亦假設未受到專利保護的廠商若想從國外引進相同的財貨，以更低的價格來打擊原有的獨佔市場是不可能的。原因在於廠商即使在國外能以低廉的成本引進財貨(非引進技術)，但也會因為運輸成本過高而使得其價格在國內不具競爭性。¹⁴

首先，從新的財貨生產技術所能獲得的獨佔利潤看起。我們已經知道生產單一財貨每一期所能獲得的獨佔利潤如(2.16)式所示，而且由於專利保護是無限期的，因此從受到保護那一期到無限期未來的利潤折現如下式表示：

$$(t) = \int_t^\infty e^{-[R(\tau)-R(t)]} \pi(\tau) d\tau \quad (2.17)$$

(2.17)式就是取得一種新的財貨技術所能獲得的利益，而這項利益是不分技術取得途徑的。不論是研發或是引進，只要是新的財貨生產技術在市場上所能獲得的利益就是 v 。既然如此，廠商要如何選擇就必須從成本面來決定了。

在進行成本面分析之前，我們必須先定義下列幾個式子：

$$n_R = \eta L_R n, \quad \eta > 0 \quad (2.18)$$

$$n_A = \xi L_A (n^* - n), \quad \xi > 0, \quad n \leq n^* \quad (2.19)$$

$$n \equiv n_R + n_A \quad (2.20)$$

$$L_x + L_R + L_A \equiv L \quad (2.21)$$

¹³ 考慮發明不確定性的文章可參考 Aghion-Howitt(1992)。

¹⁴ 此假設請參考 Barro and Sala-i-Martin(1997)，附註 5。

(2.18)式描繪的是研發的生產行為， n_R 代表研發得來的財貨種類的變動量； L_R 代表其投入的勞動， n 代表本國既有的財貨種類存量。如同第二章提到的，研發的產出除了受勞動的多寡影響之外，更受到本國的技術水準的影響，主要是因為技術外溢效果的關係，其細節前面已提及，在此就不再贅述。而在(2.18)式中是以財貨種類， n ，來代表本國技術水準。談及技術水準，我們仍然要不厭其煩地再度說明，本模型中是以技術的種類多寡來定義技術水準，而不是以技術的先進與否或優劣來區分，理由是我們的模型是不會有市場淘汰的，一項技術不會因後來更新、更好的技術出現而將舊技術淘汰的，而是新舊技術具呈於市場上的。這樣的特性其合理性我們已於附註 14 中加以說明了。

同樣地，(2.19)式刻劃的是技術引進的生產函數， n_A 代表引進而來的財貨種類的變動量； L_A 代表其勞動投入；然而引進的困難與否主要取決於本國與世界的技術差距，我們以 $(n^* - n)$ 表示。其中 n^* 代表世界的技術存量，以固定的 g^* 的成長率成長。¹⁵另外(2.18)，(2.19)式中的 η ， ζ 分別代表研發和引進的生產力係數。(2.20)式的恆等式說明財貨種類的增加恆等於分別透過兩種管道增加的加總。(2.21)式則是勞動市場的結清條件。假設消費者於每一期投入一單位的勞動以賺取工資，而市場上共有 L 個人。其中， L_x 是指投入於製造部門的勞動。值得特別說明的一點是(2.21)式中，我們假設勞動在這三個部門之間可以自由的移動，而不存在轉換的成本，也就沒有所謂的 *Lucas Effect*。¹⁶

有了上述對技術發展部門的定義之後，就可以進行成本面的分析了。我們知道研發或引進所必須的唯一投入就是勞動，而在市場上雇用勞動的成本自然就是市場決定的工資， w 。為簡化分析，我們可以直接比較兩者的單位成本(unit

¹⁵ 我們假設 $n^* \equiv \sum_i n_i$ ， $i \in [1, \infty)$ ， n_i 代表第 i 國的技術存量，雖然世界技術存量是各國的加總，但當我們假設 i 趨近於無限大時，則單一國家的技術成長貢獻於世界的成長相對很小，基於此理由，我們可以假設 g^* 不受各國的成長率影響，而呈一外生固定的成長率。

¹⁶ *Lucas Effect* 這一名詞首先是由 Aghion and Howitt(1998)提出，主要是指 Lucas(1993)於 *Econometrica* 發表的文章中提出關於勞動在不同部門之間轉換的成本的觀念。

cost)，也就是為了取得一種新的財貨生產技術，廠商所必須付出的成本。由(2.18)，(2.19)式，可以看出其單位成本分別如下：

$$c_R = \frac{w}{\eta n} \quad (2.22)$$

$$c_A = \frac{w}{\xi(n^* - n)} \quad (2.23)$$

c_R 和 c_A 分別代表研發和引進的單位成本。從(2.22)式中，我們可以看出研發的單位成本主要是由 n ，技術的種類，也就是本國的技術水準決定； n 愈大，技術水準愈高，單位成本就愈低；換言之，當本國的技術水準愈高愈有利於去做研發。反之，則愈不利於研發。

而(2.23)式則說明了當本國與世界的技術差距，($n^* - n$)，愈大，則引進的單位成本愈低，愈有利於去做引進，反之，則愈不利於去做引進。

就現實世界來看，(2.22)，(2.23)式的結果其實是很合理的。當本國技術愈高，自行研發成功的可能性自然也就愈高，如同歐美日等技術先進國家一樣。而技術相對落後的國家，也就是與世界技術差距愈大的國家，如亞非及第三世界國家，自然就比較適合做技術引進。是故可得如下的引理：

《引理 1》：廠商的技術發展型態取決於國家的技術水準。當技術水準愈高，廠商愈傾向於選擇研究發展；反之，則愈傾向於採取技術引進。

同時我們也可以將(2.22)，(2.23)式以圖形來表示，如下頁圖 2-1。圖中我們可以看出，在 n^* 不變下，研發的單位成本隨著 n 增加而遞減，而引進的單位成本卻因 n 增加而縮短($n^* - n$)的差距，反而成本提高。

之前我們說過廠商的選擇取決於成本，而圖 2-1 又告訴我們成本的大小決定於 n 的大小，但 n 的大小我們並未給定，在此我們必須分成三種初始條件(initial condition)來討論：

$$I. \quad n_0 < \frac{\xi}{\xi + \eta} n^*$$

我們以 n_0 來代表一個國家的初始技術水準。一開始落在這個區域的國家，由於研發的單位成本高於引進的單位成本，所以廠商會選擇技術引進。

$$\text{II. } n_0 = \frac{\xi}{\xi + \eta} n^*$$

一個國家一開始落在這個區域者，由於研發與引進的單位成本

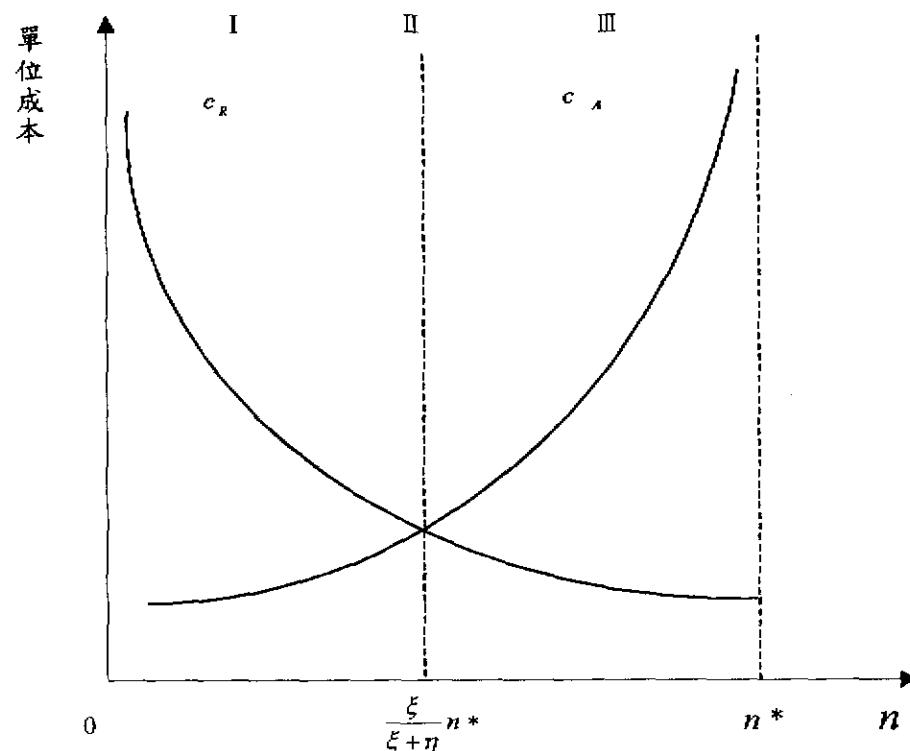


圖 2-1 研發與引進的成本

特別值得注意的是唯有在這個時候，廠商才有可能選擇兩者兼做。

$$\text{III. } n_0 > \frac{\xi}{\xi + \eta} n^*$$

落在這區間的國家，會因為研發的單位成本低於引進的單位成本，所以廠商選擇自行研發。

上述的三種狀況，我們若以 II 為標準，則 I 的國家在技術上就屬於相對落後的國家；III 則是技術上相對先進的國家。

總而言之，廠商面臨技術發展的決策時主要考慮的因素有兩個：一是利益，二是成本。利益是新技術所能帶來的每一期的獨佔利潤。而這項利益，如同之前說明的，不論是何種技術發展型態所獲得的新技術，都面臨相同的利益報酬。所以廠商的決策就取決於成本了。至於成本，我們知道當一個國家的技術水準愈高，從事研發的成本愈低，愈有利於廠商去從事研發的發展型態；相對地，一個國家的技術水準相對較落後的話，則研發的成本相對較高，廠商因而會選擇較有利的引進的發展型態。是故，一個國家的技術水準的初始條件決定了成本，進而決定廠商的技術發展型態，同時也開始了我們以下的分析。

2.4 動態均衡

給定初始條件之後，廠商就決定了要採取何種技術發展型態。在我們的模型中，技術本身是可以累加的，隨著不斷投入資源去作技術發展，本國的技術也會跟著提高。如果讀者不健忘的話，立刻會聯想到成本也會跟著改變，的確，這隱含著廠商在動態發展過程中改變技術發展型態的可能性之一。下面我們將分成三種不同的初始條件來討論。

$$I. \quad n_0 < \frac{\xi}{\xi + \eta} n^*$$

首先考慮一開始落在這個區域的國家，在成本誘因的引導下，我們知道廠商會選擇引進的技術發展型態。但是，從事技術發展，廠商必須投入大量資金，而資金從何而來？我們假設廠商可以藉由發行股票向社會大眾公開募集資金。在資本市場中，我們若簡單加以區隔成股票市場和債券市場兩種。則我們知道當市場達到均衡時，也就是當投資於股票市場和債券市場的報酬均等的時候；股票持有者，也就是公司的股東，所能獲得的報酬當然就是廠商每一期的利潤，如(2.16)式，因為利潤可以轉換成股利配發給每一位股東，但股東同時也必須面對的是公司的預期資本利得或損失(expected capital gains or losses)，我們以 v 來代表。¹⁷另

¹⁷ 我們假設在完全預期(perfect-foresight)下，則實際發生的就會和預期的一樣，我們以 v 來代表。

外，我們假設債券市場是無風險的(riskless)，每一期所能獲得的報酬率為， r 。因此，我們若手上有 v 的資金欲投資，則均衡時，資本市場的無套利條件 (no-arbitrage condition) 應滿足下式：

$$\pi + v = rv \quad (2.24)$$

廠商在募集足夠資金之後，可以自由選擇是否進入技術引進的市場，技術引進必須投入資源，也就是勞動，如同前述，一項新技術引進的單位成本為， $w/\xi(n^*-n)$ 。而一旦引進一項新技術成功之後所帶來的市場價值為， v 。故當報酬至少不小於成本時， $v \geq w/\xi(n^*-n)$ ，廠商才有可能去做引進。相反地，若， $v < w/\xi(n^*-n)$ ，則廠商必然退出市場。不過市場若要達到均衡， $v > w/\xi(n^*-n)$ ，這個情況是不可能還存在的，因為在自由進出的假設下，技術引進市場上的利潤恆大於成本的話，會使得廠商對技術引進的勞動產生無限制的需求(unbounded demand)，而導致最後根本沒有人去從事生產，這樣的結果當然不可能是均衡的。所以我們總結技術引進市場的自由進出條件(free-entry condition)為：

$$v \geq w/\xi(n^*-n), \text{ 等號成立時 } n_A > 0 \quad (2.25)$$

為達到所有的市場皆均衡，緊接著我們必須把注意力轉向勞動市場。此時市場上的勞動只用於兩個部門，一是從事生產，一是從事技術引進。首先，我們知道財貨的生產投入比為 $1:1$ ，而市場上共有 n 種財貨，所以由(2.15)式乘上 n ，我們知道用於生產的勞動為 α_w ；又從(2.14)式知道前項剛好也等於 $1/p$ ；另外，從(3.19)式，我們可以求得 L_A 會等於 $n_A/\xi(n^*-n)$ ，是故整個勞動市場的結清條件(labor-market-clearing condition)如下：

$$\frac{n_A}{\xi(n^*-n)} + \frac{1}{p} \equiv L \quad (2.26)$$

又因為此時並沒有人去做研發，所以從(2.20)式我們知道 $n \equiv n_A$ ，因此(2.26)

式也就可以改寫成：

$$\frac{\dot{n}}{\xi(n^*-n)} + \frac{1}{p} \equiv L \quad (2.27)$$

之前我們曾提到 π 會隨著 n 增加而減少，這是因為當市場上財貨種類愈多，致使廠商對生產的勞動有更多的需求，在勞動供給不變下，工資勢必提高，但是廠商訂價的加碼並未隨之提高，同時， n 的增加也造成 x 的下降，因此才造成廠商利潤隨 n 增加而減少。而利潤的減少同時也降低了技術引進的報酬， v ，很顯然地，技術欲持續進步，也就是 $\dot{n} > 0$ ， v 不可能一直減少下去，應該有一最低的 L 來保證 $\dot{n} > 0$ ，而 L 是什麼呢？

為滿足 $\dot{n} > 0$ ，由(2.25)式知道式中的等號必須成立，同時，從事技術引進的勞動必須為正的，換言之，必須滿足 $p > \frac{1}{L}$ ，又從(2.14)式的訂價條件，我們就可以得到最低的 L ：

$$L = \frac{\alpha}{\xi(n^*-n)} \quad (2.28)$$

此外，利潤， π ，與中間財種類， n ，呈反向關係的特性同時還隱含另一個意義：一個國家的初始條件， n_0 ，不能太大，也就是說一開始就存在過多的中間財會使得利潤過低，而不會有技術引進的發生的。換言之， n 存在一個上限， \bar{n} 。而這個上限又如何求得呢？假設一個國家一開始既有過多的種類存在，使得 $\dot{n} = 0$ ，這個時候市場上所有的勞動都用在生產製造上，使得 $L = \frac{1}{p}$ ，由(2.14)式可得到 $w = \frac{\alpha}{L}$ 。在均衡時，再由(2.9)，(2.16)及(2.17)式，我們可得到 $= \frac{(1-\alpha)}{\rho n}$ ，然後由(2.25)式的自由進出條件，我們就可得到：

$$\bar{n} = \frac{(1-\alpha)\xi}{w\rho - (1-\alpha)\xi} n^*, \text{ 當 } \dot{n} = 0 \quad (2.29)$$

結合(2.27)、(2.28)式，可以得到下列的微分方程式：

$$\dot{n} = \begin{cases} \xi(n^* - n)(L - \frac{1}{P}) = \xi(n^* - n)L - \frac{\alpha}{v} & \text{當 } v > v_L \\ 0 & \text{當 } v \leq v_L \end{cases} \quad (2.30)$$

接下來再將(2.9)式及(2.16)式代入(2.24)式，就可以得到：

$$= \rho v - \frac{1 - \alpha}{n} \quad (2.31)$$

目前為止，我們已經將達到動態均衡的必要條件簡化成(2.30)(2.31)式兩條微分方程式。接下來可以相位圖(phase diagram)表示，並用來分析動態均衡的路徑。

如下頁圖 2-2 所示，整個動態調整路徑是以 $\dot{n} = 0$ 和 $v' = 0$ 這兩條線來區隔。首先， $\dot{n} = 0$ 這條線及其以下的部分代表的是 $v \leq v_L$ 的區間，而我們知道這個時候是不會有技術引進的，所以 $\dot{n} = 0$ ¹⁸。而在 $\dot{n} = 0$ 的上方，隨著 v 增加，技術引進的報酬愈高， n 也開始增加，所以 $\dot{n} > 0$ 。而 $v' = 0$ 的右上方部分，隨著技術種類 n 的增加，利潤會跟著減少，所以為了補償利潤的減少，新技術的價值必須增加才能維持均衡，所以這部分 $v' > 0$ ；相對地，在 $v' = 0$ 左下方則是 $v' < 0$ 。

如果依照上述兩個構面來分，我們可以將圖 2-2 區隔成四個區

¹⁸ \dot{n} 是不會小於 0 的。

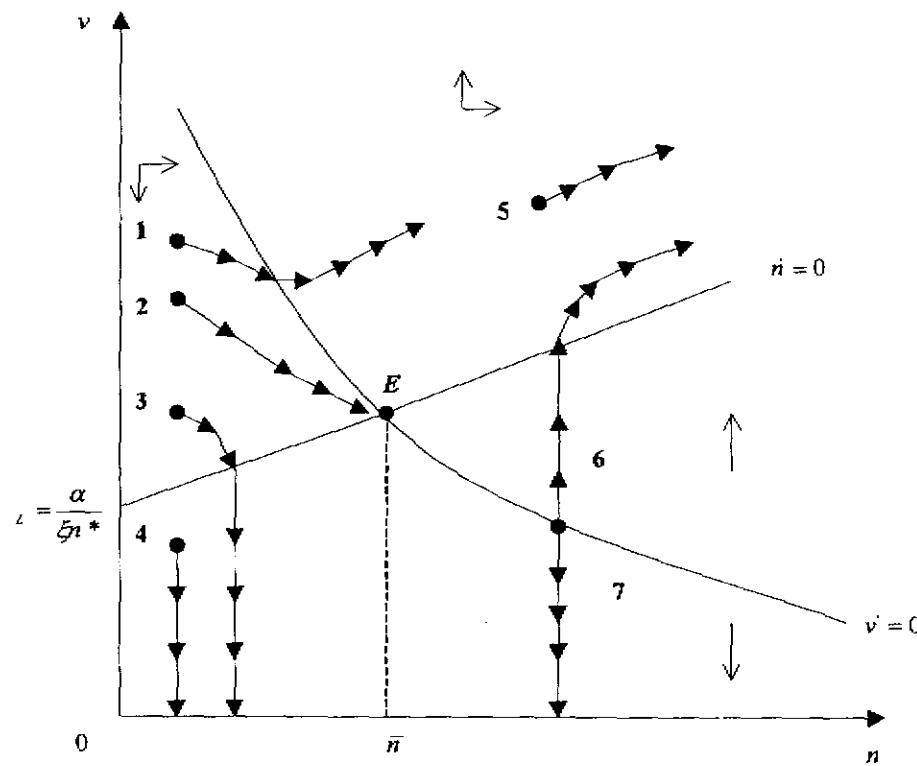


圖 2-2 技術引進的相位圖

域：(1)左上方， $\dot{n} > 0$ ， $\dot{v} < 0$ ，這個部分的動態調整力量會往右下方移動。(2)右上方， $\dot{n} > 0$ ， $\dot{v} > 0$ ，這個部分則是往右上方移動。(3)左下方， $\dot{n} = 0$ ， $\dot{v} < 0$ ，這個區域一律垂直往下移動。(4)右下方， $\dot{n} = 0$ ， $\dot{v} > 0$ ，這個部分則是會往上垂直移動。

一個國家的初始條件如果是小於 \bar{n} 的話，如圖中的 1, 2, 3, 4，四種路徑，我們發現只有 2 這條馬鞍路徑(saddle path)會收斂到 E 點，也就是一恆定狀態(steady-state)， v ， n 皆不再變動。其餘三種路徑都會呈現發散的情形。

若是一開始就大於 \bar{n} ，由於 n 過多的關係，在給定 v 之下， n 是不會增加的，除非 v 增加來彌補 n 過多所造成的利潤太少的部分，如同 5 這條路徑，不過即使如此，5 仍然不會往 E 點收斂。所以在這個區域，只有當一開始就出現在

$v = 0$ 這條線上，才會達到恆定狀態，其餘都不會收斂。

所以圖 2-2 中的恆定狀態包括有 $v = 0$ 上的 E 點及其以右的所有點。這樣的恆定狀態告訴我們，整個經濟體最後會收斂到固定的 n ，且不再成長了。也就是說在只考慮一種技術發展型態的時候，在這裏指的是技術引進，整個經濟體是不會有長期持續的經濟成長的，因為由(2.2)式知道均衡時：

$$D = n^{\frac{1}{\alpha}} x \quad (2.32)$$

再把(2.15)式代入(2.32)式中，然後取自然對數，並對時間 t 微分就可以得到：

$$g_D \equiv \frac{\dot{D}}{D} = \frac{1-\alpha}{\alpha} \cdot \frac{\dot{n}}{n} \quad (2.33)$$

(2.33)式說明了產出的成長和 n 的成長率呈一固定比，所以當 n 不再成長，產出也就停止成長。

至於 n 為什麼會停止成長呢？由(2.30)式我們可以求出 n 的成長率如下：

$$g_A = \frac{\dot{n}}{n} = \xi \left(\frac{n^*}{n} - 1 \right) \left(L - \frac{1}{p} \right) \quad (2.34)$$

式中 g_A 代表技術引進帶來的技術的成長率。從(2.34)式中，我們可以看出影響 g_A 的共有三個因素：其中 ξ 為技術引進的生產力係數，而 $(L - \frac{1}{p})$ 在此則是投入從事技術引進的勞動，因為 ξ ， L ， p 都是固定不變的，所以唯一影響 g_A 就是 $\frac{n^*}{n}$ 了，這其實就是我們定義的技術差距的另一種形式的表達。之前我們所考慮的狀況都是在 n^* 固定不變的情況下，隨著 n 的逐漸累積，差距必然縮小，最後當 n 趕上 n^* 時，成長自然也就停止了。不過別忘了，我們在設定模型時，假設 n^* 呈一外生固定的成長率 g^* 。所以 n^* 並非固定不變的。當 n^* 的變動也考慮進來之後， $\frac{n^*}{n}$ 是否縮小就必須視兩者成長速度之間的快慢而定了。是故，我們暫且不對 g_A 是否會停止成長下結論，留待我們同時將技術發展型態轉變的可能性一併納入考慮之後再做說明。不過，我們可以先確定的結論是 g_A 的快慢

受到 n^*/n 的影響，當差距愈大時，成長速度也就愈快，反之則愈慢。是故可得到本第二個引理：

《引理 2》：採取技術引進的國家，其長期經濟成長率會隨著技術差距的縮小而減慢；反之，則會加快。

$$\text{II. } n_0 > \frac{\xi}{\xi + \eta} n^*$$

初始條件落在此區域的國家，在成本的考量下，廠商會選擇自行研發的技術發展型態。大致上的分析如同 I 的部分。不同的是現在的單位成本是如(2.22)式所示。資本市場的無套利條件維持不變。

我們一樣假設廠商可以自由進出研發市場，其自由進出條件如下式：

$$\frac{w}{\eta n} \geq v, \text{ 等號成立時 } n > 0^{19} \quad (2.35)$$

勞動市場方面，由於勞動只用於兩個部門，生產與研發，所以勞動市場的結構條件如下式：

$$\frac{\dot{n}}{\eta n} + \frac{1}{p} = L \quad (2.36)$$

此時技術種類， n ，的變動如下列的微分方程式：

$$\frac{\dot{n}}{n} = \begin{cases} \eta(L - \frac{1}{p}) = \eta L - \frac{\alpha}{vn}, & \text{當 } v > v_L \\ 0 & \text{當 } v \leq v_L \end{cases} \quad (2.37)$$

其中技術的市場價值下限則為：

$$v_L = \frac{\alpha}{\eta n L} \quad (2.38)$$

為方便說明，重新定義兩個變數，令 $\equiv 1/mv$ ， $g_R \equiv \dot{n}/n$ ，則(2.37)式就變成：

¹⁹ 式中由於此時 $\dot{n}_R = \dot{n}$ ，所以我們就直接以 \dot{n} 來代替 \dot{n}_R 。

$$g_R = \begin{cases} \eta L - \alpha V & , \text{當 } V < \frac{\eta L}{\alpha} \\ 0 & , \text{當 } V \geq \frac{\eta L}{\alpha} \end{cases} \quad (2.39)$$

另外，資本市場的無套利條件也會跟著變成下式：

$$= (1 - \alpha)Y - g_R - \rho \quad (2.40)$$

接下來我們如法泡製，將(2.39)及(2.40)式以相位圖表示(如下頁圖 2-3)。現在動態均衡條件不再是兩條微分方程式，而是一條拗折的直線方程式和一條微分方程式。(2.39)式我們稱之為資源限制式(resource constraint)，因為 代表的是整個經濟體所有技術的市場價值的倒數。 g_R 是研發的成長率。我們知道 g_R 愈高代表投入於研發的勞動愈多，在 L 不變之下，用來生產製造的勞動也就愈少。這種情況下，產出自然減少；而產出的減少又會使得產出的市場價格提高，這就會使得技術的市場價值也跟著提高。但是 却會下降。所以(2.39)式中 g_R 和 呈反向關係。既然是資源限制式，就代表著經濟體必須時時刻刻都滿足(2.39)式的條件，所以在圖 2-3 中所有的點

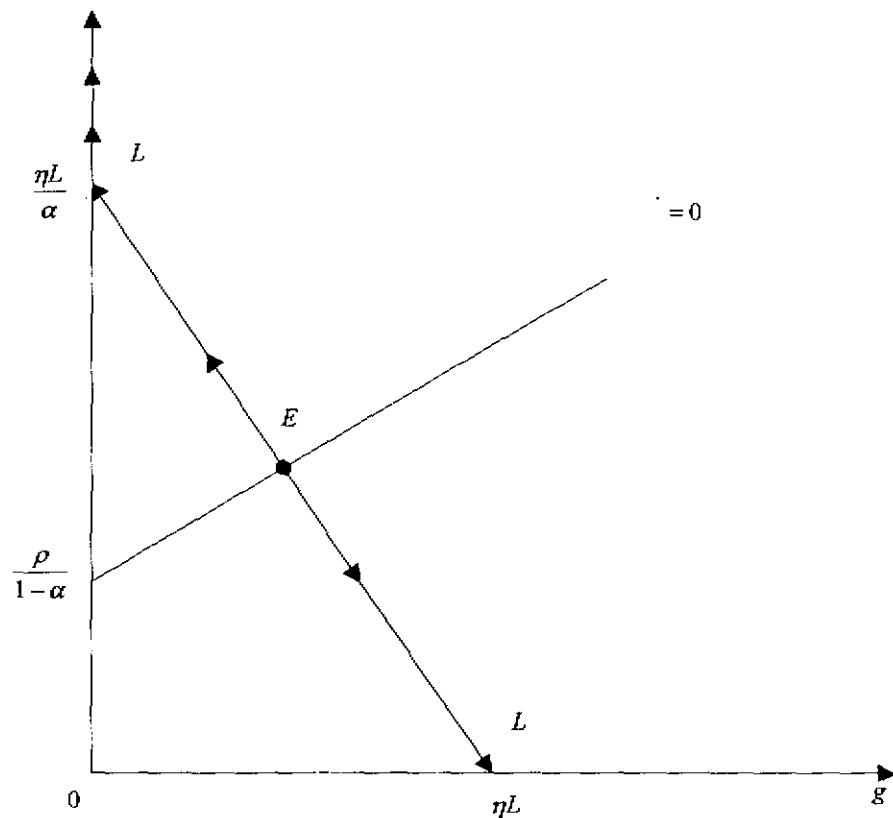


圖 2-3 研發的相位圖

都應該在 LL 線上移動。

另外，我們知道 n 的增加會造成 v 下降，又因為 $\equiv 1/nv$ ，所以 $= 0$ 這條線上代表的是 n 增加的速度和 v 下降的速度是一樣的；而在 $= 0$ 的左邊代表 n 增加的速度比 v 增加的速度慢，是故 > 0 。相反地，在其右邊 < 0 。因為這樣的動態調整方向，使得圖 2-3 中唯一可能的恆定狀態就是經濟體一開始就出現在 E 點，並維持在原地永遠不再變動。且其成長率始終維持在：

$$g_R = \eta(L - \frac{1}{P}) \quad (2.41)$$

和技術引進的情況不同的是，自行研發的成長率是始終不變而且不會停止的。究其原因從(2.22)式的單位成本中即可看出端倪，縱使 n 的增加會使 v 下降，

但因為研發的單位成本是會隨著技術的累積而不斷下降的，所以仍有可能使得研發是有利可圖的，當然這是在只考慮研發的情況下的結果。故可得到本第三個引理：

《引理 3》：採取研究發展的國家，其長期經濟成長率不受技術差距的影響，而始終維持一固定的成長率。

$$\text{III. } n_0 = \frac{\xi}{\xi + \eta} n^*$$

III 的情況是一種特殊的例子，因為它只存在於一點，也就是當 $c_R = c_A$ 的時候。這一點代表的是廠商有可能選擇做技術引進，或者是研發，當然也有可能兩者都做，因為既然成本和利益都相同的話。

隨著 n 的變動，一旦離開了 $n_0 = \frac{\xi}{\xi + \eta} n^*$ 這一點，就進入了 I 或 II 的範疇，

而不再是現在的情況了。也因為它只維持在一點上，我們也就無法去討論其動態調整過程。

不過，有一個情況值得討論的是，之前的兩種技術發展型態都只考慮單獨一種，而唯有現在的例子才可能出現兩者同時存在的狀況，也因此，我們自然會好奇當兩種技術發展型態同時存在時，成長率會是如何？

為解決這個問題，我們從勞動市場看起。此時勞動市場分成三個部門，即研發，技術引進及生產，其市場結清條件如下：

$$\frac{\dot{n}_R}{\eta n} + \frac{\dot{n}_A}{\xi(n^* - n)} + \frac{1}{p} = L \quad (2.41)$$

(2.41)式必須同時滿足 $n = \frac{\xi}{\xi + \eta} n^*$ ， $\dot{n} = \dot{n}_R + \dot{n}_A$ 的限制條件，所以我們就

可以求出成長率如下式：

$$g_{Both} = \frac{\dot{n}}{n} = \eta \left(L - \frac{1}{p} \right)^{20} \quad (2.42)$$

g_{Both} 代表兩者都做的成長率。和前面相較之下，我們可以發現其實在 $n = \frac{\xi}{\xi + \eta} n^*$ 這一點上， $g_{Both} = g_R = g_A$ ，其理由很簡單，既然在這一點上的利益和成本不因型態的不同而有所不同，投入的資源必然一樣，自然成長的速度也就相同。

另外一個引起我們好奇的問題是如果兩者都做的話，那麼兩者的勞動投入又該如何配置呢？那個會投入較多，那個較少呢？在求解之前我們可以試著猜想，答案很顯然地會是兩者各做一半，因為既然兩者都是相同的利益和成本的話，並沒有誰比較好或比較差。不過，我們仍是要以較嚴謹的數學推理來證明。當

$n = \frac{\xi}{\xi + \eta} n^*$ 時，我們知道 $g_R = g_A$ ，也就是說 $\dot{n}_R = \dot{n}_A$ ，又因為 $\dot{n} = \dot{n}_R + \dot{n}_A$ ，

所以：

$$\dot{n}_R = \dot{n}_A = \frac{1}{2} \dot{n} \quad (2.43)$$

將(2.43)式及 $n = \frac{\xi}{\xi + \eta} n^*$ 分別代入 L_R 和 L_A 中，我們就可以得到：

$$L_R = L_A = \frac{1}{2} \frac{\dot{n}}{\frac{\xi \eta}{\xi + \eta} n^*} \quad (2.44)$$

結果就如同我們之前的直覺一樣，兩個部門會雇用相同的勞動。因此我們得到下列命題：

《命題 1》：當研究發展和技術引進的單位成本相同時，有三個特徵：(1)唯有在這一點上，廠商才可能同時採取兩種技術發展型態。(2)若廠商同時採取兩種技術發展型態，則其所投入於兩個部門的資源會相同，也就是兩個部門皆雇用一樣多的勞動。(3)且在這一點上，不論廠商採取何種技術發展型態，其經濟成長率

²⁰ 此時的 $(L - \frac{1}{p})$ 代表的是投入研發和引進的勞動總和。

都會相同。

3、技術發展型態與經濟成長之關係

在分別討論完三種不同的初始條件及其均衡動態調整路徑之後，有必要將他們合併在一起來討論。目前為止我們的邏輯是一個國家的初始條件決定了研發與引進的單位成本，廠商再根據成本來決定採取何種技術發展型態。一旦決定了技術發展型態，也就決定了該國的技術成長率及經濟成長率。

然而，從圖 2-1 中我們知道單位成本是會隨著技術水準而改變的。當 n 逐漸累積的過程中，一開始採取技術引進的國家有可能因為技術水準提高之後，漸漸失去了引進的優勢，反倒因研發的成本的降低，而改做研發。

此外，若加入 n^* 亦會成長的因素之後，我們可以發現圖 2-1 中的 $\frac{\xi}{\xi+\eta}n^*$ 和 n^* 也會跟著往右移動，這就代表著原本適合做研發的國家，有可能因為技術成長的速度較世界技術成長的速度緩慢，反而漸失去研發的優勢，而落到 $\frac{\xi}{\xi+\eta}n^*$ 的左邊的區域，然後改做引進。

上述這些可能性都是只考慮研發或引進的模型中所無法顧及的層面。因此，為了更完整地描述技術發展的型態與經濟成長的關係，我們必須將技術發展型態轉變的可能性納入考慮。

圖 3-1 中，我們以橫軸表示技術差距， n/n^* ，其值介於 0 到 1 之間。主要是因為要顧及 n^* 的變動，及和 n 變動速度的快慢比較，所以我們以 n/n^* 來代替過去只以 n 表示的方法。而我們以縱軸來表示成長率， g 。²¹

²¹ 由(2.33)式中可知由於技術成長率， g ，和經濟成長率， g_D ，呈一固定比，所以我們在談技術成長率其實和談經濟成長率是一樣的。

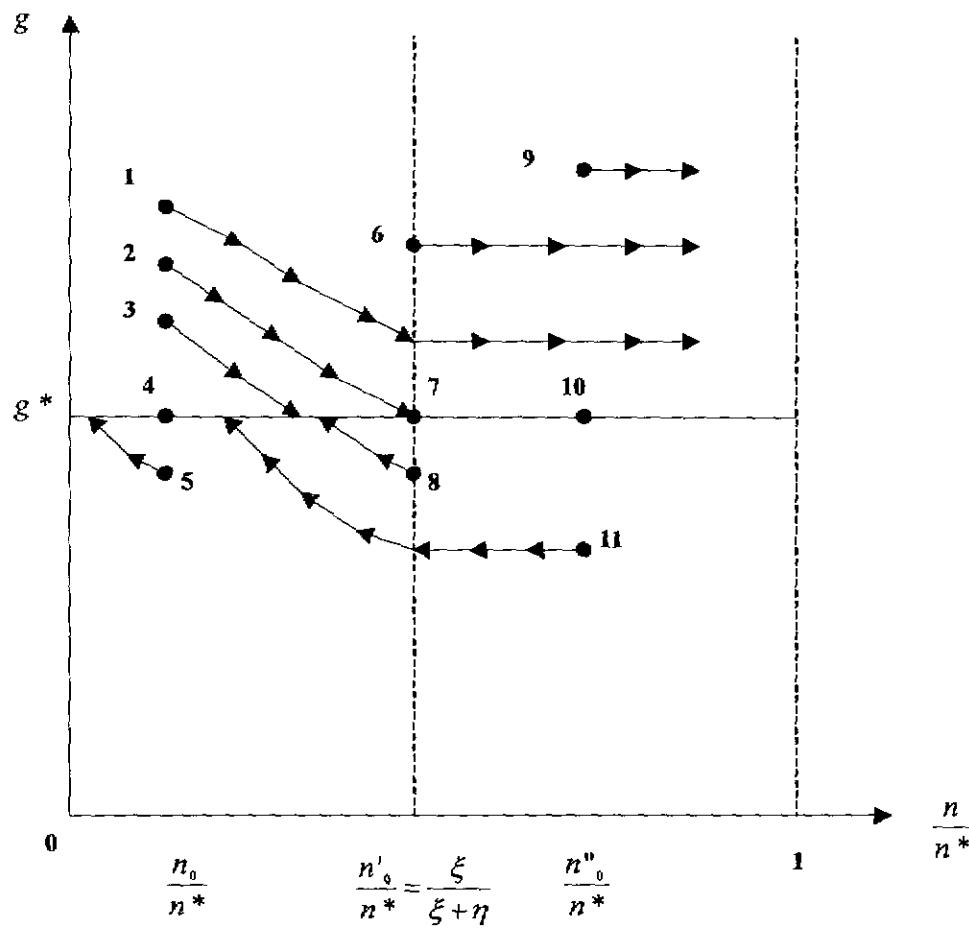


圖 3-1 技術發展型態與成長路徑之關係

在橫軸上，技術的差距決定了技術發展型態，在 $\xi/\xi+\eta$ 左邊屬於技術引進，右邊屬於研發，而 $\xi/\xi+\eta$ 這一點上，則是都有可能。因此，既然是以 $\xi/\xi+\eta$ 來做技術發展型態的區隔，我們就稱之為技術發展型態的結構轉換點 (switching-point)。在轉換點左邊的成長率決定於 g_A ，其特色是會隨著 $n/n*$ 缩小而減慢，反之則加快。而右邊的成长率則取決於 g_R ，其特色則是維持一固定成長率，與 $n/n*$ 無關。在縱軸上，我們以外生的世界技術成長率， g^* ，來區隔。

在其上者，代表成長速度高於 g^* ，因此，技術差距就會縮小，反應在橫軸上就是會往右移動。反之，比 g^* 慢者，差距就會拉大。

除了以 $\frac{\xi}{\xi + \eta}$ 和 g^* 來區分外，我們更進一步以三種不同的初始條件來細分出十一種不同的成長路徑，且分別討論如下：

I. $\frac{n_0}{n^*}$

我們知道落在 $\frac{n_0}{n^*}$ 的國家，開始時會從事技術引進，其成長率就決定於 g_A 。雖然如此，我們又可以其開始時成長的速度及達到轉換點時的成長速度不同分成五種不同的路徑。路徑 1 代表的是一開始的成長速度就比 g^* 快，所以差距會不斷縮小，但同時也會減緩成長的速度。在經過轉換點時，速度仍高於 g^* ，所以就會由引進轉型去做研發，並持續縮小差距。在轉型的過程中，由於我們之前的假設，勞動在兩個部門之間的移動是沒有轉換成本的，也就是說用於做引進的勞動可以很平順地轉換去做研發，而不會產生任何其他的成本。路徑 2 則是剛好在轉換點時，與 g^* 呈現相同的速度成長，這表示 $\frac{n}{n^*}$ 不會再變動了，而且達到一恆定狀態。所以在這裏的恆定狀態是指經濟體達到一固定的技術差距並與世界呈同步成長的一種狀態。路徑 3 則是在轉換點之前就已經達到恆定狀態了。4 這一點，不是一條路徑，而是一開始就出現在 n_0 並維持和世界同步成長的速度，所以始終不會變動。較特別的是路徑 5，一開始由於成長比 g^* 慢，所以差距反而拉大，看起來好像逐步在落後，但是在拉大的過程中，反而愈跑愈快，於是又再度追趕上 g^* ，然後達到恆定狀態。

我們之前曾提到在只考慮技術引進的時候，同時在 n^* 固定的前提下，長期的成長會停止，然而，現在我們讓 n^* 也可以成長之後，卻得到截然不同的結論，技術引進在長期依然可以持續成長的。

II. $\frac{n'_0}{n^*}$

路徑 6 和路徑 8 因為分別和路徑 1 的後半段及路徑 5 類似，就不再贅述。7 則和 4 相同始終維持不變。

III. $\frac{n''_0}{n^*}$

一開始做研發的國家，如果成長較 g^* 快則會持續縮短技術差距，如路徑 9。10 則如同 4 和 7 的狀況。路徑 11 則說明，雖然一開始是做研發，但由於效率不佳，成長反而比 g^* 慢，所以差距拉大，在經過轉換點時成長仍較 g^* 慢，所以反而轉型去做引進了，之後又會因為速度漸追上，而達到恆定狀態。

是故，總結來說，我們若以 $\frac{\xi}{\xi + \eta}$ 右邊的國家比喻技術上相對先進的國家，而左邊為相對落後的國家的話，則我們的理論告訴我們，先進的國家不見得會永遠維持領先的地位，如果成長不夠快的話，有一天也有可能落後的。相對地，落後的國家也有可能迎頭追趕上(catch-up)先進國家。當然，也有可能永遠落後，一直處於貧窮。

《命題 2》：技術發展型態除了由國家技術水準的初始條件決定外，長期而言，其型態是否會轉換，或者是維持不變，則取決於本國技術水準成長的速度和世界技術水準成長的速度而定。當兩者維持相同速度成長時，則該國的成長率收斂到一恆定狀態不再變動。

過去新古典成長理論預測隨著資本的邊際報酬遞減，長期而言，平均每人所得將收斂到一恆定狀態，而不再成長。但是，截至目前為止，即使已不如以前的高度成長，許多先進的已開發國家卻仍然持續成長，並且維持了相當長的一段時間，至今還沒有停止的跡象。倘若以新古典的觀點，只能將這種現象解釋成是這

些國家尚未達到恆定狀態，然而這樣的答案卻也留下了另一個疑問，究竟何時才會到達呢？經濟學家們漸漸對這樣的解釋感到不滿意，於是開始尋求另一種解答。就在這樣的氛圍下，內生成長理論於焉提出了技術創新是長期成長來源的有力論點，彌補了新古典理論的缺憾。

可惜的是內生成長理論解釋了長期成長，對於另外二個成長的重要命題，即世界各國之間存在廣泛的所得差異性和新古典理論中所謂的條件性收斂卻無著墨。

現在從本文的觀點，我們試著以技術發展型態的角度思考，如果技術的差距能適度地反應出所得的差距的話，那麼本節所描述的十一種路徑及圖 3-1 中 g^* 線上的所有點代表不同的恆定狀態，正足以說明所得差異性在內生成長理論中是可能存在的。我們發現不同的國家，即使有相同的初始技術水準，但也可能因各個國家本身的條件不同而收斂到不同的恆定狀態，這也就解釋了所得差異性的現象。

而所謂的條件性收斂現象指的也就是一個國家在成長的過程中，在距離恆定狀態愈遠時，成長會較快，愈接近時則成長會較慢。在圖 3-1 中，我們可以發現在技術引進的區域內，成長速度高於世界平均水準以上的路徑就符合條件性收斂的現象。然而，不同的是，我們亦發現在世界成長水準以下的路徑則恰恰相反，在距離恆定狀態較遠時速度較慢，反而在接近時會加速收斂，我們就稱之為逆條件性收斂(adverse conditional convergence)現象，如果這種說法能表現出其意涵的話。

《命題 3》：當一個國家處於技術引進的階段，且其成長路徑一直高於世界的平均水準，則該路徑會出現一般的條件性收斂現象；相反地，當一個國家的成長路徑一直低於世界的平均水準，則其路徑就會出現逆條件性收斂的現象。

總結來說，本模型結合了研發與引進兩種具有不同特色的成長動力來源。結果我們發現除了可以維持內生成長模型中的長期成長特色外，更能兼具對所得差異性及條件性收斂等重要議題的解釋。

4、動態路徑模擬與政策分析

前節中，我們以敘述式的討論來比較不同初始條件下，技術發展型態與經濟成長之間的關係。然而，在圖 3-1 中，我們發現在相同的技術水準之下，仍有可能因不同的初始成長速度而導致不同的動態路徑及收斂的恆定狀態。是故，我們自然會好奇：在何種成長率之下，會產生何種動態路徑，以及當決定成長率的外生參數發生變動時，對動態路徑又會發生什麼影響？面對這諸多的疑問，本節擬以數值模擬(numerical simulation)的方式來尋求解答，並希冀能進一步歸納出其衍生的政策意涵(policy implications)。

圖 3-1 中的整個動態系統我們可以將其整理成兩條微分方程式表示。首先是成長率的部分：

$$g = \begin{cases} \xi\left(\frac{n^*}{n} - 1\right)\left(L - \frac{1}{P}\right) & \text{當 } \frac{n}{n^*} < \frac{\xi}{\xi + \eta} \\ \eta\left(L - \frac{1}{P}\right) & \text{當 } \frac{n}{n^*} \geq \frac{\xi}{\xi + \eta} \end{cases} \quad (4.1)$$

比照圖 3-1，(4.1)式說明在結構轉換點， $\xi / (\xi + \eta)$ 的左邊，成長率決定於技術引進的成長率， g_A (參見(2.34)式)；在轉換點上及其以右的部分則決定於 g_{Both} 及 g_R (參見(2.41)，(2.39)式)，由於兩者成長率相同，是故我們將其合併表示。

為方便分析，我們透過適當的單位選擇，將勞動標準化，令 $L = 1$ 。又因為我們知道 $1/P$ 代表投入生產的勞動，所以我們令：

$$l_x = \frac{1}{Lp} = \frac{L_x}{L} \quad (4.2)$$

(4.2)式中的 l_x 就代表投入生產的勞動佔總勞動的比例。

同時，我們亦將技術差距以單一變數表示如下：

$$\lambda = \frac{n}{n^*}, \lambda \in (0,1] \quad (4.3)$$

現在我們將(4.2)及(4.3)式同時代入(4.1)式中，就可以得到：

$$g = \begin{cases} \xi(\frac{1}{\lambda} - 1)(1 - l_x) & \text{當 } \lambda < \frac{\xi}{\xi + \eta} \\ \eta(1 - l_x) & \text{當 } \lambda \geq \frac{\xi}{\xi + \eta} \end{cases} \quad (4.4)$$

接下來，我們將(4.4)式對時間， t ，微分，就可以得到下式：

$$\dot{g}(t) = \begin{cases} \frac{\xi(1 - l_x)[\beta - g(t)]}{\lambda(t)} & \text{當 } \lambda < \frac{\xi}{\xi + \eta} \\ 0 & \text{當 } \lambda \geq \frac{\xi}{\xi + \eta} \end{cases} \quad (4.5)$$

(4.5)式中， $\dot{g}(t)$ 代表 $g(t)$ 對時間的微分。而之前我們定義世界的技術水準具一固定的外生成長率，現在我們將其更具體地以下式表示：

$$n^*(t) = n^*(0) \cdot e^{\beta t} \quad (4.6)$$

(4.6)式中 $n^*(t)$ 代表第 t 期的世界技術水準， $n^*(0)$ 則代表其初始水準，且 n^* 以 β 的速度成長。(4.5)式中的 β 就是從這裏而來的。

另外在(4.5)式中，我們將會隨著時間變化的變數以時間的函數表示，以強調整個動態演化過程中，那些變數是我們所關注的焦點，在這裏指的就是 $g(t)$ 和 $\lambda(t)$ 兩個變數。

在(4.5)式中，我們可以清楚地看出在轉換點左邊， $\dot{g}(t)$ 決定於其本身和 β 的差距及 $\lambda(t)$ 。當 $g(t)$ 大於 β 時，其變動為負的，也就是說成長率會漸漸變慢；反之則為正的，成長率會愈來愈快。而 $\lambda(t)$ 愈大則表示變動愈小；反之則愈大。所以 $g(t)$ 的大小決定變動的方向， $\lambda(t)$ 則決定變動的快慢。

接著我們也將(4.3)式對時間微分，則我們可以得到下式：

$$\dot{\lambda}(t) = [g(t) - \beta]\lambda(t) \quad (4.7)$$

(4.7)式中，我們可以看出 $\dot{\lambda}(t)$ 同樣是決定於其本身及 $g(t)$ ，不同的是其影響恰好和(4.5)式的作用相反。當 $g(t)$ 大於 β 時，技術水準會不斷增加，反之則減小。而技術水準愈高的同時，其增加的速度也會愈來愈快。

有了(4.5)及(4.7)式兩條微分方程式就決定了整個動態系統的演化。接下來我們所要做的就是如何透過電腦將路徑模擬出來。由於我們所欲嘗試的是數值的模擬，然而微分方程式的時間是連續的概念，所謂的連續指的是在 0 到 0.1 之間的時點可以無限切割，換言之，在短短的 0.1 的區間內是由無限多點所組成，這對電腦而言，要模擬出無限多點是不可能的，畢竟“無限”(infinite)只是理論上的抽象概念而已，況且(4.5)，(4.7)式是非線性的微分方程式(nonlinear differential equations)，故無法求解。所以就現實而言，我們只能以差分的概念來代替微分的概念，利用離散(discrete)逼近的方式來模擬。我們以下列的聯立方程式來做反覆疊代逼近(iterative replacement approximation)：

$$g(t + \Delta t) = g(t) + \Delta g(t)\Delta t \quad (4.8)$$

$$\lambda(t + \Delta t) = \lambda(t) + \Delta\lambda(t)\Delta t \quad (4.9)$$

Δt 代表離散的時間變化。在給定初始值之後，我們可以選定適當的 Δt ，並以 $\Delta g(t)$ 和 $\Delta\lambda(t)$ 代表(4.5)和(4.7)式中的變動量。經由反覆疊代的方式，我們就可以模擬出整個的路徑。雖然這種逼近的方式難免有誤差，但是只要 Δt 夠小，則我們就能將誤差控制在可接受的範圍之內。我們所使用的程式語言是 QuickBasic。

4.2 參數值的選定

為了將完整的路徑模擬出來，事先必須選定適當的參數值，以下將分別說明我們選擇的依據。

4.2.1 世界技術水準成長率： β

在我們的模型中，世界的技術水準， n^* ，是世界各國技術水準的加總，並且呈一外生的固定成長率。然而，實證資料中尚未有衡量世界技術水準成長的指標存在。不過，從模型中我們知道技術成長率隱含著與經濟成長率呈固定比例，所以我們擬以世界的經濟成長率作為 β 的代理參數值(proxy parameter value)。

根據世界銀行的資料(參見表 4-1)，最近幾年，不論是當期的估計值(current estimates)或對未來的預測(projections)，我們可以發現整體的世界經濟成長率大約維持在 3%左右。

4.2.2 技術發展勞動比例： $(1 - l_x)$

(4.4)式中的 $(1 - l_x)$ 其實就代表扣除用於生產的勞動之後，投入從事技術引進或研發的勞動比例。實證資料中，世界各國普遍都有對研發人力的估計資料，但是對從事技術引進的人力卻少有估計。尤其在我們的定義中，技術引進泛指從國外學習而來的技術，不論是引進或模仿，所以這方面的資料取得更是困難。不過，許多國家中，研發的人力其實也兼作技術引進的工作，因為即使是學習而來

表 4-1 世界經濟成長率 1996-2000 年

單位：年，百分比

	當期估計值		預測值		
	1996	1997	1998	1999	2000
全世界	2.9	3.2	3.6	3.1	3.3
高所得國家	2.5	2.8	2.4	2.6	2.7
中低所得國家	4.5	4.8	4.0	4.8	5.2

註：1. 表中的經濟成長率指的是實質 GDP 成長率。

2. 由於版本是 1998 年的，且資料的彙整有時間上的落差，所以 1998 年以後均為預測值。

資料來源：The World Bank，“World Development Indicators 1998”。

的技術也需要投入專業的人力，尤其是當欲引進或模仿的技術愈先進時。是故，我們可以將 $(1 - l_x)$ 看作是技術發展人力佔總勞動的比例，其中研發與引進所佔

的比重則因國家而不同，不過很明顯地，愈先進的國家，研發人力的比重應該會比較高，而落後國家中，引進的人力會佔比較高的比重。

依據國科會的統計，我國歷年來研究人員的成長，如表 4-2 所示，正逐年成長當中。其中每萬勞動人口中之研究人員數則符合我們定義的技術發展勞動比例，為呼應之前世界經濟成長率的資料年份，我們選擇 1996 年的 0.077% 作為參數值。

4.2.3 技術引進與研發的生產力係數： δ ， η

選擇這兩個參數值是較困難的，因為受限於資料取得上的困難，我們只能以(4.4)式來概估。然而在式中，我們知道轉換點左邊的成長率應該屬於從事技術引進國家的成長率，在右邊則應該是從事研發為主的國家之成長率。這樣的結果隱

表 4-2 全國研究人員之成長

年別	研究人員		(萬人)	研究人員數(人) A/B
	人數(人)	成長率(%)		
1992	48,356	4.7	877	55.1
1993	54,905	13.5	887	61.9
1994	58,156	5.9	908	64.0
1995	66,478	14.3	921	72.2
	71,754	7.9	931	

資料來源：國科會，“中華民國科學技術年鑑(民國八十五年)”。

含實證上的兩個困難，首先是我们必須能計算出一個國家和世界的技術差距， λ 。第二就是即使我們求出技術差距之後，也無法同時求出 δ 和 η ，因為這兩個參數分別出現在兩個成長率決定式中，而一個國家是不可能同時存在兩個階段裏的，除非我們擁有一個國家相當長的時間序列(time series)的資料，且這個國家又必須這兩個階段都經歷過。

不過我們仍嘗試由較容易取得的台灣的資料去求得，在這之前我們必須判斷出台灣和世界的技術差距。我們選擇的是經濟部所作的技術能力指標，如表 4-3 所示。

表 4-3 我國與主要國家技術能力之比較

年別	中華民國	美國	日本	韓國	法國	德國
1991		100.00	69.50	7.41	29.60	54.21
1993	15.51	100.00	118.19	11.65	44.02	70.37

註：1. 技術能力指標是以各國的專利註冊件數，技術貿易額，技術密集製品輸出額及製造業附加價值額的加總平均求得。

2. 該指標是以美國為基準的指數。

3. 經濟部所作該項指標並非每年公佈，且於 1993 年之後業已停止公佈。

資料來源：(1)經濟部技術處，“八十二年度產業技術發展概要”。

(2)經濟部技術處，“中華民國產業技術白皮書八十五年版”。

表 4-3 中的技術能力指標是用以衡量各國技術水準的指標，以 1991 年和 1993 年來看，我國相對於美國只有 7.28 和 15.51 的水準，而日本在 1991 年原本只有 69.5，而到了 1993 年時，卻已超過美國而達到 118.19 的水準。另外值得注意的現象是概念上理應是屬於技術先進國家的法國卻連美國一半的水準都不到，這是令我們懷疑這個指標用來衡量技術水準的準確性的地方。

不過技術能力指標仍給我們一些有用的啟示，由於該指標是以美國為基準和我們的技術差距是以本國和世界的差距來衡量有所出入，所以我們相信台灣的技術水準一定遠低於表中的指標。雖然我們不能確定在這裏轉換點的水準應該是多少，我們可以相信台灣仍處在轉換點左邊的階段。另外，既然我們無法得知一絕對的技術差距指標，我們就以表中較低的 0.07 的水準作為代表。事實上，這樣的選擇並不影響我們的模擬，因為我們的重點並不在於模擬出某特定國家的動態路徑，而是著重在比較參數值變動對路徑的影響，是故這個參數值只具參考價值，並沒有實質上的意義。

在確定台灣是處於轉換點左邊之後，我們可以由(4.4)式中，代入 1996 年的

GDP 成長率 5.6%，²²技術發展勞動比例 0.077% 及 7% 的技術差距來估計，就可以得到 ζ 大約是 0.55。

至於台灣的 η 值，由於無法估計，我們就以分別討論的方式，將 η 大於、等於和小於 ζ 時的情況都加以模擬，並比較其對動態路徑有何影響。

在轉換點右邊的例子，我們舉日本為例。根據日本科學技術廳的統計，1997 年日本每萬勞動力中之研究人員數為 584 人，²³而該年度日本的經濟成長率為 1.4%，²⁴所以依照(4.4)式我們可以估計日本的研發生產力係數， η ，大約是 23.57 左右。至於 ζ 的值，我們依然是用分別討論的方式。

目前為我們已選定所有相關的參數值。不過在進行模擬之前，容我們再次強調模擬的用意並非在模擬出特定國家的路徑，由於一些關鍵的相關資料取得上有困難，如技術差距就缺乏客觀的衡量標準，所以我們無法作特定國家的路徑模擬。我們關注的焦點則是在於參數值變動對路徑的影響及不同的初始條件，如初始成長率，在強度(magnitude)上的差距為多少才會產生不同的路徑，甚至在政策上，這些參數又具有何種意涵等等。

4.3 模擬結果

我們的模擬以初始技術水準區分成轉換點左邊及右邊兩種。左邊主要是以圖 3-4 中的路徑 2 為基準，因為從圖中我們可以清楚發現一個特性就是在給定初始技術差距， $\lambda(0)$ ，之後，其餘的路徑就是以世界技術成長率， β ，以及路徑 2 的初始成長率， $g(0)$ ，來區隔，又因為 β 值為已知，所以我們只要能模擬出路徑 2 的 $g(0)$ 就可以明白在何種初始成長率會產生何種路徑了。而右邊則是以路徑 11 為主，因為只有這種路徑才有可能發生結構轉變。

此外，我們設定其中一種情況為基準(benchmark)，然後改變其中的參數值，

²² 資料來自於行政院主計處出版的國民經濟動向統計季報。

²³ 資料來自日本科學技術廳出版的科學技術白皮書平成十年版(1998)。

²⁴ 資料來自經濟部出版的國內外經濟統計指標速報 88 年 3 月版。

來比較所發生的變化，我們將所有的結果整理成表 4-4 及 4-5。

表 4-4 模擬結果(轉換點左邊)

	β	ξ	η	$\frac{\xi}{\xi + \eta}$	$g(0)$	$\lambda(0)$	I_x	T	g^*	λ^*
Case2	0.03	0.55	0.55	0.5	0.0925	0.07	0.9923	155.64	0.04	1
Case3	0.03	0.55	0.55	0.5	0.0525	0.07	0.9923	88.27	0.03	0.11
Case4	0.03	0.55	0.55	0.5	0.0125	0.07	0.9923	48.75	0.03	0.05
Case5	0.03	0.55	0.5	0.5	0.1346	0.07	0.9846	202.5	0.03	0.5
Case6	0.03	1.1	1.1	0.5	0.1346	0.07	0.9923	202.55	0.03	0.5
Case7	0.06	0.55	0.55	0.5	0.1126	0.07	0.9923	335.83	0.06	0.5
Case8	0.03	1.1	0.55	0.67	0.1389	0.07	0.9923	255.94	0.03	0.67
Case9	0.03	1.1	0.55	0.67	0.1489	0.07	0.9923	116.8	0.04	1
Case10	0.03	0.55	1.1	0.33	0.0784	0.07	0.9923	240.27	0.03	0.33
Case11	0.03	0.55	1.1	0.33	0.0884	0.07	0.9923	173.72	0.04	1

註：1. 表中 T 代表時間，我們以 0.01 為一期的時間間隔，也就是說 $T = 1$ ，就代表電腦已經反覆疊代 100 期。

2. g^* 和 λ^* 分別代表收斂值。

3. 除了 $g(0)$ 和 I_x 的值取到小數點以下第四位外，其餘皆取到第二位。

表 4-5 模擬結果(轉換點右邊)

	β	ξ	η	$\frac{\xi}{\xi + \eta}$	$g(0)$	$\lambda(0)$	I_x	T	g^*	λ^*
Case12	0.03	23.57	23.57	0.5	0.04	0.7	0.9416	35.67	0.04	1
Case13	0.03	23.57	23.57	0.5	0.05	0.7	0.9416	17.84	0.05	1
Case15	0.03	23.57	23.57	0.5	0.01	0.7	0.9416	18.16	0.03	0.4964
Case16	0.03	23.57	47.14	0.33	0.02	0.7	0.9416	74.92	0.03	0.3325
Case17	0.03	47.14	23.57	0.67	0.02	0.7	0.9416	5.6	0.03	0.6651
Case18	0.06	23.57	23.57	0.5	0.02	0.7	0.9416	9.99	0.06	0.4927
Case19	0.03	47.14	47.14	0.5	0.02	0.7	0.9416	34.19	0.03	0.4991
Case20	0.03	23.57	23.57	0.5	0.02	0.7	0.8832	34.19	0.03	0.4991

註：除了 I_x 和 λ^* 的值取到小數點以下第四位外，其餘皆取到第二位。

4.3.1 基準路徑

Case1 是我們依照之前的參數選定所模擬出來的結果，此時我們假設 ξ 和 η 的值是相同的，所以轉換點也就落在 0.5 之上，換言之，當這個國家的技術水準達到世界技術水準的一半時就會發生技術發展結構的轉換，從原本的技術引進轉

而從事自行研發，當然這其中有可能經過兩個兼做的階段。

然而，是否真的會發生結構轉換能須視初始的條件而定，Case1 中，我們發現在給定 0.07 的技術水準下，當初始成長率達到 8.25% 的水準時，換言之，高出世界成長率 5.25 個百分點，路徑會收斂到轉換點上。

接下來的 Case2，Case3 和 Case4 則分別代表路徑 1, 3, 5。²⁵這些路徑中我們可以發現當技術水準愈低時，成長率愈高且變動愈快，尤其當 λ 趨近於零時，成長率幾乎趨近於無限大，所以我們可以發現在 Case4 中，即使初始成長率只有 0.0125%，依然能很快地提高成長(注意其時間只花了 48.75)，並收斂到世界的成長率。

另外，我們注意到 Case2 中，其初始成長率比 Case1 高出一個百分點，恰巧地是其收斂的成长率也剛好比 Case1 高出一個百分點左右。不過其速度要比 Case1 快很多，從表 4-6 中我們可以發現 Case2 跑到轉換點上只花了 89.59，將近是 Case1 所花的時間的四分之一而已。

表 4-6 Case2

T	$g(t)$	$\lambda(t)$
20	0.0586	0.1594
40	0.0488	0.2524
60	0.0442	0.3493
80	0.0405	0.5577
100	0.0405	0.688
120	0.0405	1
155.64	0.0405	1

註：表中我們只擷取部分的模擬結果。

表 4-5 中的 Case12 及 Case14 則分別針對圖 3-4 中的路徑 9 和路徑 11 的模擬結果，其中我們又以 Case14 作為比較的基準路徑。當我們將初始成長率降低一個百分點時，如 Case15，收斂的技術水準會稍低一點，但是到達收斂的時間卻短將近一半。

²⁵ 所有模擬的結果我們都附於附錄(二)中。

4.3.2 技術發展勞動比例增加

接下來我們使 λ_x 增加一倍，在轉換點左邊也就相當於投入技術引進的勞動加倍之後，我們從 Case5 中可以發現成長率必須提高 4.21 個百分點(和 Case1 比較)才會收斂到轉換點上，不過時間上卻縮短了。

在轉換點右邊，當投入於研發的勞動加倍後，我們卻發現相較於 Case14，Case20 中的收斂的技術水準有稍微提高，時間也稍微縮短，但是幅度都不大。

4.3.3 生產力係數提高

我們同時將 λ 與 η 增加一倍，結果不論在轉換點的左邊或右邊，其結果和上述的增加技術發勞動的效果完全一樣。

當我們只增加其中一種係數時，這個時候我們會發現轉換點也會跟著改變。例如我們令 λ 為 η 的兩倍時，轉換點就落在 0.67 上，如 Case8，此時的初始成長率必須達到 13.89% 的水準才會收斂到轉換點上，不過雖然轉換點的距離加長了，收斂的時間卻縮短了將近四分之一。此外，在 Case9 中，我們比照 Case2 將初始成長率提高一個百分點，我們可以發現收斂的成长率同樣也提高一個百分點，而且收斂的時間又更短了。

反過來當我們令 η 為 λ 的兩倍時，轉換點就會落在 0.33 上，等於是距離縮短了。如 Case10，我們只須將初始成長率提高不到一個百分點就可以收斂到轉換點，同時所花的時間也縮的更短了。而 Case11 如同 Case9 的結果一樣，收斂的成长率增加了一個百分點。

而在轉換點的右邊，Case16 中， λ^* 收斂在 0.3325 非常接近轉換點的 0.3333。但是時間上卻花了兩倍的時間到達。相反地，Case17 中，一樣是收斂在靠近轉換點，但卻花了不到六分之一的時間就收斂了，當然這與距離較短有關，不過速度卻是更重要的關鍵。

4.3.4 世界技術成長率提高

我們令世界的技術成長率增加一倍，如 Case7，所須提高的初始成長率只有 3%左右，比較其他參數的變動，影響的效果明顯較小，且時間上沒有太多變化。

而 Case18 中，我們發現收斂的點雖然差不多，但是和其他參數變動的情況比較起來，影響力要大很多，所花的時間平均縮短了二分之一以上。所以很明顯地，世界技術成長率的變動在轉換點的兩邊所產生的影響截然不同。

4.4 政策分析

從上一節的模擬結果，我們大致上可以得到下列幾項結論：

4.4.1 技術引進還是研發？

如果我們以世界技術成長率來區分的話，在其上者我們可以視為是長跑比賽中的領先集團，這些國家成長的速度高出世界平均的水準，其下者就是落後的集團。

模擬的結果中我們可以看出，在領先集團中的國家，如果大家的終點相同的話，則每個國家停留在轉換點左邊的時間往往會比右邊還久。換言之，這些國家處於技術引進的階段會較自行研發的階段還要長。這樣的結果所隱含的意義就是，在大家追求技術進步的競賽過程中，技術引進所帶來的技術累積效果遠不如自行研發來得有效及快速。理由是技術引進帶來進步的速度會隨技術差距縮小而逐漸變慢，而研發卻是和世界維持等速度差距領先。是故，在領先集團的國家想要繼續維持領先的優勢就必須自行研發。

而在落後集團中，我們卻發現恰恰相反的結果。這些國家由於成長不及平均的水準，所以不斷拉大和前面集團的技術差距。但是在退步的過程中，我們發現要從自行研發退到技術引進的階段，會有相當長的時間處於研發的階段，而一旦退到引進的階段，很快就會達到收斂了。這告訴我們自行研發的國家退步的速度較慢，而這仍然是因為研發和世界的水準維持等速度差距退步的關係。反倒是，一旦進入技術引進的階段，成長的速度反而因差距的加大而加速。所以，處在落

後集團的國家想要迎頭趕上前面的集團就必須向別人學習技術，加快自己成長的速度才行。

4.4.2 增加技術發展勞動與提高生產力

此外，政府若是藉由提高參與技術發展的勞動比例，或者同時提高引進與研發的生產力來加速成長是有效的，而這些目標可以透過教育，鼓勵研發，吸引外資，改變稅制等等手段達到，不過模擬的結果告訴我們這兩種管道所達的效果是一樣的。

而且這些方法對於領先集團的國家會有較大的效果²⁶，對於落後的國家則效果並不顯著。

如果政府不將資源平均分配用於同時提高引進或研發的生產力，而是集中於其中一種的話，則領先集團應該將資源致力於提高研發的生產力，會比提高引進的生產力有效。相反地落後集團的國家則應專注於提高技術引進的生產力。

然而單單提高其中一種的效果，在領先集團中，還是不如兩者皆提高的效果，不過前提是提高的倍數要相同，一個國家的資源往往有限，如果把資源孤注一擲於提高其中一種所獲得提高的倍數要高於同時用於兩者的可能性也是有的。相反地，在落後集團中，只提高引進的生產力，會比兩者皆提高有效。

4.4.3 加快世界成長率

當世界的成長率加快時，對於各國都是有幫助的，因為擴大了技術的外溢效果。然而其效果對於兩個集團的影響卻大異其趣。在領先集團中，世界成長率加快的效果比起其他任何一種外生參數變動的效果都還要小；但是在落後集團中，這個效果僅次於單單提高引進的生產力的效果。所以世界成長率加快對於落後集團是較有助益的。

4.4.4 創造經濟奇蹟

²⁶ 這裏所指的所有效果主要是以每種情況從開始起跑到收斂所花的時間為判斷的依據，時間愈

之前我們談到了許多如何由速度落後追上領先的政策，並分析其所帶給不同國家的效果也不同。然而，對於技術落後的國家來說，不論其在成長速度上是領先還是落後，努力縮短技術差距是追趕上先進國家的必經之途，而成長速度高出於世界成長速度則是縮短技術差距的必要條件。

是故，我們之前的分析不僅說明了如何由速度落後趕上領先集團，同時亦可以用來分析如何由技術落後趕上先進國家。原本速度就已領先的落後國家，其成長速度足夠讓其縮短與世界的技術差距，但是，若想要進一步邁入先進國家之林，則其成長速度必須夠高，如我們的模擬結果，Case1 就比世界成長率 3% 高出 5.25%，理由在於唯有如此高的成長速度才足以支持其發生技術發展型態的改變，由引進轉為研發，而且我們也知道領先集團想要保持領先優勢就必定要轉型做研發才行。所以成長速度不夠快的國家應該採取我們之前所提的政策，如提高技術發展的勞動比例，改變賦稅環境以提高引進或研發的生產力等等，來加快速度。

至於速度上就已經落後的技術落後國家，首先應該以引進的方式來加快成長速度追上世界成長的速度，進一步就要透過提高引進的生產力，使自己擠身領先集團之中，然後再採取之前的做法更進一步邁向先進國家的地位，創造經濟奇蹟。

5、結論

本文嘗試在傳統的 R&D 模型中，引入技術引進的概念，並從技術發展型態的角度來探討其與經濟成長之關係。理論的結果告訴我們各個國家會採取何種技術發展的型態決定於其本身的技術水準。技術水準愈低的國家，基於成本的誘因，會採取較具優勢的技術引進的發展策略；相反地，技術水準較高的國家，則

短表示愈有效。

會利用本身較佳的技術優勢而自行研發。

採取不同技術發展型態的國家，其經濟成長的型態也跟著不同。採取技術引進策略的國家其成長的速度取決於本身和世界的技術差距，當差距愈大時，成長的速度就愈快；相反地，隨著差距的縮小，成長的速度也就會跟著緩慢下來。採取研發的國家，如同大部分 R&D 模型的結論，其均衡的成長路徑(balanced growth trajectory)是維持一固定的成長率。

不同於以往內生成長模型只專注於長期的成長，我們的模型中，除了具有長期持續成長的特色外，更強調各個國家由於初始條件的差異及其成長的速度和世界成長的速度的不同，致使成長的路徑也會不同，而且每個國家收斂的恆定狀態也不相同，這也部分說明了為什麼世界各國之間會存在廣泛的所得差異性的現象。

另外，我們的理論也強調技術落後的國家不見得會永遠處於落後的地位，只要其成長的速度足夠支持其發生技術發展型態的結構性改變，就有可能追趕上先進國家，甚至超越。而原先處於領先地位的先進國家，也有可能因本身研發的效率退步，致使成長速度落後於世界的平均水準，結果反倒是由領先的地位退到落後國家之林。

而成長的另一個普遍獲得實證支持的現象，也就是在 Solow 模型中預測的條件性收斂，在我們的模型中的解釋是當一個國家的成長路徑一直高於世界的平均水準的話，換言之，該國家是一直在不斷進步的過程中，則也會發生所謂條件性收斂的現象。而我們的理論更預測了另一種現象是，當一個國家的成長路徑是處於世界平均水準之下的话，也就是說是由原本的領先退步到落後的過程中，其成長的速度反倒是開始時會較慢，而在接近收斂時開始加快速度，然後達到恆定狀態，這種現象和所謂的條件性收斂恰好反其道而行，我們稱之為逆條件性收斂現象。

除了理論之外，我們在第四章的部分更藉由數值模擬的方式進行了政策上的分析。我們發現在成長速度上處於領先地位的國家，若要保持其領先的優勢，必定要採取研發的策略。而處於成長速度較緩慢的國家，若想要擺脫落後並追趕上領先國家的話，就得靠技術引進的方式來加快其成長的速度。

同時我們亦分析了幾種改變成長速度的政策手段，發現每一種政策的效果對不同的國家而言也不盡相同，所以各個國家所應採取的手段應視其條件而定。細節部分如同前章所分析，在此就不再贅述。另外，當外生的世界成長率加快時，我們發現這個現象對成長速度落後的國家是很有幫助的，因為可以使得其速度加快趕上世界的水準。

如果說令人興奮的是我們從理論上的努力獲得了較傳統內生成長理論更加豐富的內容，那麼遺憾的就是我們尚未能將理論的結果拿來與現實的世界作實證上的比較。受限於諸多資料取得上的困難，迫使我們在許多討論上只能以分類的方式，假設在某種情況下會發生怎麼樣的狀況，例如在模型中很重要的關鍵之一就是所謂的技術結構轉換點，假如我們能估計出轉換點的位置，自然就可以知道距離轉換點還有多遠，進而可以採取相對的政策來因應。我們固然知道其可以技術引進及研發的生產力係數來估計，然而對於這兩個係數的估計本身就已經相當的困難了。另外，如技術差距的衡量亦是一道難以克服的難題。這些都是本文在研究上所遇到的限制，但卻也是未來可以突破的空間及發展延伸的方向。希冀未來對此議題有興趣的研究者能繼續努力，使得理論能有實證上的有力支持，亦或是反駁及修正。

最後，讓我們這樣說吧，如果將研發與引進視為推動經濟成長列車的兩具引擎，那麼當處於技術落後的時候，引進就是主要的推進力量。但是隨著技術不斷累積的過程中，研發的動力將取而代之，成為主要的推進引擎。過去，台灣依賴美、日轉移的二手技術，加上出口加工而創造了所謂的經濟奇蹟。然而，時至

今日，高度成長的年代已經過去，技術引進這具引擎也即將熄火，是該走向自主研發的時候了，可惜的是我們的政府仍將晶原代工視為智慧密集產業而沾沾自喜，殊不知關鍵的製程技術仍操控在美日先進國家手中，而代工的本身只是枝尾節末的技術而已，依然不脫過去加工時代的心態。我們知道想要掌控關鍵技術就必須有厚實的基礎科學，但至今政府每年投入於基礎科學研究的經費比例仍然偏低，而主要偏重於技術應用的發展，這是一個嚴重錯誤的方向，更顯出政府的短視近利。

所以，我們希望政府在高揭邁向人文科技島的大纛，以迎接廿十一世紀的挑戰時，能夠將資源用在正確的刀口上，除了技術的應用發展外，更應該加強基礎科學的研究。如同哈佛大學波特(M. Porter)教授在“國家競爭優勢”(The Competitive Advantage of Nations)書中指出，傳統的天然資源與資本不再是經濟優勢的主要因素，新知識的創造與運用更為重要。因此我們深信在面對未來全球化的激烈競爭之下，處於資源有限的蕞爾小島上，我們唯有厚植基礎科學，提昇研發實力，才能創造競爭優勢。

參考文獻

一、中文部分

1. 日本科學技術廳，“科學技術白皮書平成十年版”，民國 87 年。
2. 行政院主計處，“中華民國台灣地區國民經濟動向統計季報”，民國 88 年 2 月。
3. 行政院國科會，“中華民國科學技術年鑑(民國八十五)”，民國 87 年 5 月。
4. —，“中華民國科學技術統計要覽八十五年版”，民國 85 年 12 月。
5. 經濟部技術處，“八十二年度產業技術發展概要”，民國 83 年 6 月。
6. —，“中華民國產業技術白皮書 1995”，民國 85 年 6 月。
7. 經濟部統計處，“國內外經濟統計指標速報”，民國 88 年 3 月。

二、英文部分

1. Aghion, P., and Peter Howitt, (1992). “A Model of Growth Through Creative Destruction,” *Econometrica*, 60(2), March, 323-51.
2. —, (1998). *Endogenous Growth Theory*, Cambridge Mass, MIT Press.
3. Barro, R. J., and Xavier Sala-i-Martin, (1997). “Technological Diffusion, Convergence, and Growth,” *Journal of Economic Growth*, 2(1), March, 1-26.
4. Dixit, A. K., and J. E. Stiglitz, (1977). “Monopolistic Competition and Optimum Product Diversitity,” *American Economic Review*, 67(3), June, 297-308.
5. Easterly, W., R. King, R. Levine, and S. Robelo, (1994). “Policy, Technology Adoption and Growth,” *NBER Working Paper No. 4681*, March.
6. Ethier, W. J., (1982). “National and International Returns to Scale in the Modern Theory of International Trade,” *American Economic Review*, 72(3), June, 389-405.
7. Grossman, G. M., and E. Helpman, (1991a). *Innovation and Growth in the Global Economy*, Cambridge MA. MIT Press.
8. —, (1991b). “Quality Ladders and Product Cycles,” *Quarterly Journal of Economics*, 106, May, 557-86.
9. —, (1991c). “Quality Ladders in the Theory of Growth,” *Review of Economic Studies*, 58, 43-61.
10. Jones, C. I., (1995). “R&D-Based Models of Economic Growth,” *Journal of Political Economy*, 103(4), 759-84.
11. Jovanovic, B., (1995). “Learning and Growth,” *NBER Working Paper No. 5383*, December.
12. Krugman, P., (1979). “A Model of Innovation, Technology Transfer, and the World Distribution of Income,” *Journal of Political Economy*, 87(2), 253-66.

13. Kuznets, S., (1966). *Modern Economic Growth, Rate, Structure and Spread*, New Haven and London, Yale University Press.
14. Lucas, R. E. Jr., (1988). "On the Mechanics of Economic Development," *Journal of Monetary Economics*, 22, 3-42.
15. —, (1993). "Making A Miracle," *Econometrica*, 61(2), March, 251-72.
16. Parente, S. L., (1995). "A Model of Technology Adoption and Growth," *Economic Theory*, 6, 405-20.
17. —, (1994). "Technology Adoption, Learning-by-doing, and Economic Growth," *Journal of Economic Theory*, 63(2), August, 346-69.
18. Parente, S. L., and E. C. Prescott, (1994). "Barriers to Technology Adoption and Development," *Journal of Political Economy*, 102(2), 298-321.
19. —, (1991). "Technology Adoption and Growth," *NBER Working Paper* No.3733, June.
20. Romer, P. M., (1990). "Endogenous Technological Change," *Journal of Political Economy*, 98(5), 71-102
21. —, (1986). "Increasing Returns and Long-Run Growth," *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002-37.
22. Schumpeter, J. A., (1942). *Capitalism, Socialism and Democracy*, New York, Harper and Brothers.
23. Solow, R. M., (1956). "A Contribution to the Theory of Economic Growth," *Quarterly Journal of Economics*, 70, February, 65-94.
24. Summers, R., and A. Heston, (1991). "The Penn World Table (Mark 5): An Expanded Set of International Comparisons, 1950-1988," *Quarterly Journal of Economics*, 106(2), May, 327-68.
25. The World Bank, (1998). *World Development Indicators 1998*, Washington, D.C.: World Bank.