DOI: 10.6277/TER.2015.431.3

多技術的動態研發競爭

徐學忍*

文獻探討研發競爭, 聚焦在比較不同動態路徑的研發競爭程度, 卻忽略在一項產品只存在一種工程原理的架構下, 不同路徑的社會福利其實大同小異。本文探討新產品商品化 (commercialization) 的研發競爭, 在兩技術與兩模組的架構下, 比較不同路徑的社會福利。路徑 1 由小幅落後陷入大幅落後, 路徑 2 由小幅落後追成勢均力敵。路徑的福利決定於效率效果與利潤分散效果之間的拉鋸。路徑 1 看似由一種技術壟斷商品市場很長一段時間, 研發競爭也看似低迷, 但卻有高的效率效果與很低的利潤消散效果。路徑 2 的效率效果只有中等, 又受到利潤消散效果的干擾, 使其社會福利低於路徑 1。

關鍵詞: 研發競爭, 二種技術, 二個模組, 效率效果, 利潤消散效果
JEL 分類代號: D43, O31, O32

1 前言

文獻大多在一種商品只存在一種工程原理的架構下探討研發競爭。Reinganum (1982) 與 Doraszelski (2003) 分別在瞬間成功機率取決於當下 (current) 與累積 (accumulated) 的研發投入下, 分析單位時間的研發投資與時間之關係。Fudenberg et al. (1983) 與 Grossman and Shapiro (1987) 在研發內容包含基礎研發與產品發展之下, 探討廠商間研發進度的差距, 如何

*作者爲元智大學管理學院副教授。2013 年台灣經濟學會年會評論人邱敬淵教授的建議, 大幅豐富本文的內容, 作者非常感謝, 同時也感謝會議參與者提供之建議。作者感謝兩位匿名評審對本文內容及模型設定的精闢指正與建議, 使本文更臻完善, 文責完全由作者自負。

期刊資料庫

影響廠商的研發行爲。在單一工程原理的架構下, 研發的中間階段不能上市, 研發競爭最後都是由一家廠商獨佔商品市場。文獻較著重在討論到達終點的路徑與速率, 卻忽略不同的競爭路徑, 其實是殊途同歸, 各路徑的社會福利只在伯仲之間。

當一新產品存在多種工程原理, 產品包含若干個關鍵零組件, 廠商在新產品商品化 (commercialization) 的過程中, 需設法降低至少一個關鍵零組的成本才能上市; 在這過程中, 可能發生其中一個技術完成所有零組件的成本改善之後, 其它技術才開始有研發成果, 讓領先技術獨佔產品市場很長一段時間。另外也可能發生, 其中一個技術只完成一個零組件的成本改善, 在商品市場上獨佔一小段時間之後, 就被其它技術追上, 於是所有技術的產品都上市, 廠商並各自繼續研發未完成的零組件。在多工程原理與多關鍵零組件的架構下, 研發的中途, 產品就可以上市; 不同路徑在研發與商品市場的競爭激烈程度有很大的差異, 所獲得的社會福利也南轅北轍, 此與單一工程原理有很大的不同。

一種商品可能存在多種工程原理的設計技術, 例如電漿電視 (plasma TV: PDP) 靠氣體分子的碰撞發光, 屬於自發光的顯示器; 反之, 液晶電視 (liquid crystal TV; LCD) 爲非自發光顯示器, 而是藉著液晶旋轉來控制外部光源的方向。不同工程原理的專利不會互相排斥, 各自衍生的產品可共存於市場上。另外一個普遍現象爲新產品的原型產品 (prototype) 雖已完成, 卻因初始成本 (initial cost) 過高, 無法產生市場需求。例如主動型有機電激發光顯示器 (Active Matrix Organic Light Emitting Display; OLED) 就是一個典型的例子, OLED 包含發光模組及電流控制模組。早在 1987 就由柯達完成試製品 (prototype), 卻直到2007 才有廠商在電流控制模組有所突破而量產上市。

本文探討新產品商品化的研發競爭, 廠商只要降低一個關鍵零組件的成本, 產品就能上市; 完成越多個關鍵零組件的成本改善, 單位時間的利潤就越高。假定存在兩種工程原理, 各工程原理所衍生的產品, 均由兩個關鍵零組件所組成。在此架構下, 商品化的研發競爭存在兩條可能路徑: 路徑 1 是領先降低一個關鍵零組件之成本者, 又搶先對手降低另一個模組的成本, 因此獨佔市場很長一段時間。路徑 2 是領先廠商在未完成第二個模

臺灣大學學術期刊資料庫

組之前, 對手也降低一個關鍵零組件的成本, 兩廠商在商品市場與研發競爭形成勢均力敵的局面, 各自並繼續研發另一零組件。路徑 2 的研發與市場競爭較路徑 1 激烈, 本文要探討是否路徑 2 的社會福利超過路徑 1? 本文發現在路徑 1, 研發進度嚴重落後之廠商, 其研發意願低落, 讓領先廠商壟斷商品市場很長一段時間; 反之, 在路徑 2, 勢均力敵的局面促使廠商的研發意願強勁, 兩廠商在研發與商品市場的競爭都很激烈。然而, 路徑 1 的社會福利卻高於路徑 2, 原因是路徑 1 有較高的效率效果 (efficiency effect), 卻沒有被利潤消散效果 (profit dissipation effect) 所抵消; 路徑 2 的效率效果不但只是中等, 卻又被利潤消散效果所抵消; 路徑 2 雖然很快進入效率效果較高的後段環節, 但仍難以彌補前段過低的福利。

本文接著在第 2 節, 要建立一個模組的成功時間機率函數, 與推導各種成本組合下, 廠商的單位時間利潤。第 3 節要推導廠商在每一條路徑的每一個環節的預期利潤, 以及均衡單位時間研發支出, 所得結果爲下一節的福利分析的基礎。第 4 節探討每條路徑的社會福利。第 5 節簡要介紹兩模組降低成本能力不同之下, 本文的結果會有何不同。第 6 節爲本文結論, 數學證明則放在附錄。

2 基本模型

假定有兩家廠商採用不同的工程原理去提供同一種商品, 兩產品都各由兩個關鍵零組件所組成 (Fershtman and Kamien, 1992; Poyago-Theotoky, 1997; Shintaku, Ogawa, and Yoshimoto, 2006; Kabiraj, 2007)。[1] 假定零組件與產品功能的對應爲一對一, 且零組件間的介面 (interface) 獨立 (decoupled), 因此也可以稱每個關鍵零組件爲一個模組 (Ulrich, 1995)。每個模組都可以申請專利, 不同技術的專利彼此不會衝突。廠商 1 與 2 分別生產商品 1 與 2。產品 1 的兩個模組爲 A、B, 產品 2 的兩個模組爲 C 與 D。此兩商品可看成是一個主市場下的兩個子市場, 例如 LCD 電視與 PDP 電視爲電視市場中的兩個子市場。不同工程原理之產品, 所包含的商品特性集

[1] 若每個技術之產品只包含一個關鍵零組件, 動態路徑則只有一條: 一個技術領先完成, 然後另一技術追上。領先者完成其唯一的零組件之後, 就停止研發。單一零組件之架構, 無法表現廠商在勢均力敵, 與在大幅落後之下的研發行爲。

臺灣大學圖書館 期刊資料庫

合可能相同, 但各自強打的特性大多不同, 例如 PDP 的對比度 (contrast) 遠高於 LCD, 但其解析度 (resolution) 卻遠不及 LCD。兩產品的特性重疊程度越高, 就代表兩產品間的差異程度越低, 由 Singh and Vives (1984) 之簡化的效用函數 $U(q_1, q_2) = aq_1 + aq_2 - (q_1^2 + 2bq_1q_2 + q_2^2)/2$, 經由效用最大, 可導出需求函數爲:

$$p_i = a - q_i - bq_j, \quad i, j = 1, 2。 \tag{1}$$

p_i 爲產品 i 的價格, q_i、q_j 爲產品 i 與 j 的產量。$b \in [0, 1]$, b 代表兩產品差異程度; 當兩產品在特性集合的每個面向 (dimension) 的表現 (performance) 越接近, 代表兩產品特性的重疊程度越高, 產品的差異程度就越小, b 就越大。

本文屬於新產品的商品化的研發 (Kabiraj, 2007), 新產品在剛設計完成時, 生產成本太高以致沒有市場需求,[2] 爲了表達此情形, 本文與 Kabiraj (2007) 相同, 假定保留價格 (reservation price) (a) 與起始成本 (c) 的關係爲:

假設 1. $a - c = 0$。

只要有一個模組的技術能夠有突破, 可降低 d 的成本幅度, $d > 0$。假設在商品市場爲庫諾競爭 (Cournot competition), 由庫諾-納許均衡 (Cournot-Nash Equilibrium), 廠商 i 的單位時間均衡產量爲:

$$q_i^e(\varepsilon_1, \varepsilon_2) = \frac{2\varepsilon_i - b\varepsilon_j}{4 - b^2}, \quad 0 \le b \le 1, \quad i, j = 1, 2。 \tag{2}$$

式 (2) 中, $q_i^e(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$ 的下標代表廠商 i, 上標 e 代表均衡; 括號內的第一個變數 ε_1 專指廠商1的成本降低幅度, 第二個變數 ε_2 專指廠商2的成本降低幅度; 等號右邊之分子中, ε_i 代表廠商 i 之成本降低幅度, ε_j 代表對手 (廠商 j) 的成本降低的幅度。式 (2) 適用於 ε_1 與 ε_2 都大於0的情況, 以 $\pi_i(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$ 代表廠商 i 的均衡單位時間利潤, 則 $\pi_i(\varepsilon_1, \varepsilon_2) = (q_i^e)^2$。當 ε_1 與 ε_2 其中一個爲0, 代表有一家廠商尚未研發成功, 成本太高還不

[2]本文爲商品化 (commercialization) 的研發競爭, 廠商在商品化之前, 商品市場並無廠商, 先完成任一模組成本降低之廠商, 在對手完成任何模組之前, 可取得一段時間的獨佔。

臺灣大學學術期刊資料庫

表 1: 商品市場單位時間利潤

		廠商2成本降低幅度		
		0	d	$2d$
廠商 1	0	0, 0	0, $\frac{d^2}{4}$	0, d^2
成本降	d	$\frac{d^2}{4}$, 0	$\frac{(2-b)^2d^2}{(4-b^2)^2}$, $\frac{(2-b)^2d^2}{(4-b^2)^2}$	$\frac{4(1-b)^2d^2}{(4-b^2)^2}$, $\frac{(4-b)^2d^2}{(4-b^2)^2}$
低幅度	$2d$	d^2, 0	$\frac{(4-b)^2d^2}{(4-b^2)^2}$, $\frac{4(1-b)^2d^2}{(4-b^2)^2}$	$\frac{4(2-b)^2d^2}{(4-b^2)^2}$, $\frac{4(2-b)^2d^2}{(4-b^2)^2}$

註: b 爲產品差異程度, $0 \leq b \leq 1$, 每一格左邊式子爲廠商 1 之單位時間利潤。

能上市, 短期內將由另一家廠商獨佔市場, 其產量與單位時間利潤分別爲 $q_i^e = \varepsilon_i/2$ 與 $\pi_i = (\varepsilon_i/2)^2$。表 1 爲各種成本下降幅度組合之下, 兩廠商的單位時間利潤。

$\pi_1(2d, d)(= \pi_2(d, 2d))$ 爲廠商 1 (廠商 2) 完成兩個模組, 而廠商 2(廠商 1) 完成一個模組的單位時間利潤。當 $b < 0.52$, 則 b 越大, 產品差異程度越低, 市場競爭越激烈, $\pi_1(2d, d)$ 與 $\pi_2(2d, d)$ 都越小。反之, 當 $b > 0.52$, 則 b 越大, 處於成本劣勢之廠商, 失去產品差異的屏障, 成本劣勢就會越被放大, 而成本有優勢之廠商, 卻越能發揮其成本優勢, 導致 $\pi_2(2d, d)$ 越小, 而 $\pi_1(2d, d)$ 反而越大。

廠商爲了讓彼此的產品特性具有市場區隔, 假定每家廠商只研發一個技術。其次, 假定廠商同時進行兩個模組的研發。假設每個模組的成功時間, 呈現指數機率分布 (Yin and Zuscovitch, 1995; Fershtman and Kamien, 1992):

$$f_T(t) = \lambda_{ij}^M e^{-\lambda_{ij}^M t}, \tag{3}$$

當在每個時點之前, 尚未有廠商成功, λ_{ij}^M 爲下一個單位時間內, 一個模組的瞬間的成功機率, 下標 i 代表廠商身分, j 代表狀態, M 代表所完成的模組。爲了有內解 (interior solution) 又能簡化分析, 假設瞬間機率與單位時間研發支出 (unit time expenditure, 以下簡稱 UE) 的關係爲 (Kabiraj, 2007):

$$\lambda_{ij}^M = \sqrt{x_{ij}^M}。 \tag{4}$$

臺灣大學學術期刊資料庫

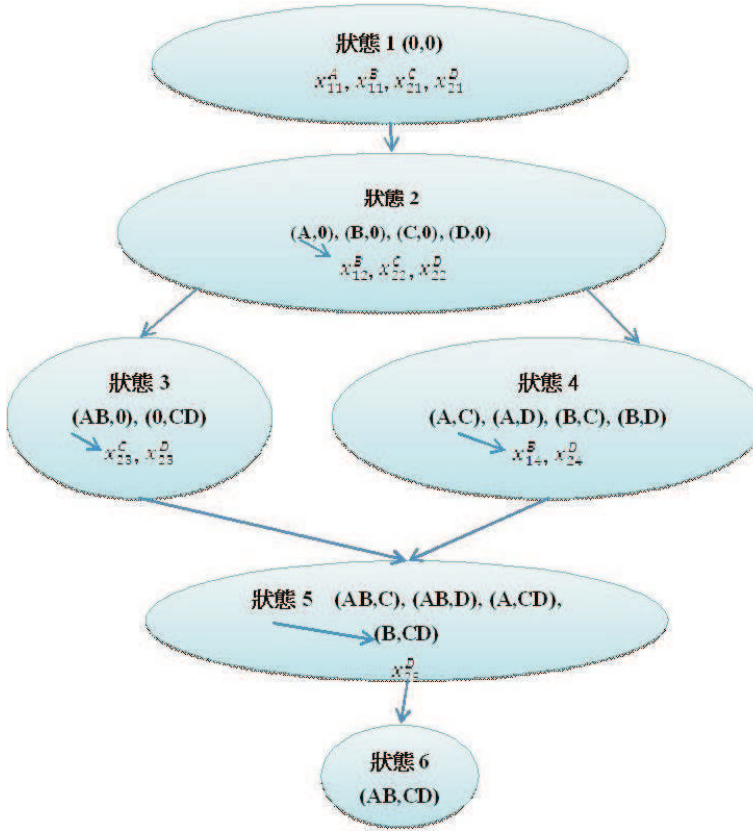


圖 1: 狀態與研發支出

r 爲折現率, e^{-rt} 爲折現因子。廠商爲了產品早日上市, 以獲取一段時間的獨佔, 因此爲了表達研發的急迫性, 並且使推導可獲得較具體的結果, 本文與 Yin and Zuscovitch (1995) 相同, 讓折現率之值大於任一個狀態下的瞬間成功機率, 於是有以下假設:

假設 2. $r > \frac{2d}{3}$。[3]

本文賽局的順序 (參考圖1), 首先在狀態 1 尚未有廠商完成任何模組, 廠商須決定每個模組的單位時間研發支出。當有廠商先完成一個模組就進

[3]請參考附註10的說明。

臺灣人學學術 期刊資料庫

入狀態 2; 領先廠商推出產品上市, 並決定在未完成模組的研發支出, 落後廠商則須決定在兩個模組的研發支出。接下來有兩個發展方向: 若領先廠商又搶先完成其第二個模組, 則進入狀態 3, 落後廠商決定其在兩個模組的研發支出; 反之, 當狀態 2 之落後廠商搶先完成一個模組, 則進入勢均力敵的狀態 4, 各自決定在未完成模組的研發支出。當狀態 3 的落後廠商, 或狀態 4 的任一廠商完成一個模組, 則進入狀態 5, 落後廠商決定其在未完成模組的研發支出。當狀態 5 的落後廠商也完成剩下模組, 則進入狀態 6。在每個狀態開始時, 每家廠商已經完成的模組爲共識, 廠商則同時決定各自的單位時間研發支出。由於每個決策狀態以下都是完美子賽局 (perfect subgame), 因此以下由狀態 5 往回推導各狀態的單位時間研發支出。

3 單位時間研發支出

以下利用 $v_i(X, Y)$ 代表廠商 i 在狀態 (X, Y) 之預期利潤, $X(Y)$ 爲廠商 1 (廠商 2) 的模組完成進度, 以 X 來說, 其值可能是 0、A、B、AB、BA; Y 則可能是 0、C、D、CD、DC。在狀態 5, 領先廠商 (以廠商 1 爲例) 已經完成兩個模組, 而落後廠商只完成一個模組, 假定其已經完成模組 C, 則領先與落後廠商的預期利潤分別爲 (Tirole, 1988, 頁 395):

$$v_1(AB, C) = \int_{t=0}^{t=\infty} e^{-\lambda_{25}^D t} e^{-rt} \left(\pi_1(2d, d) + \lambda_{25}^D \frac{\pi_1(2d, 2d)}{r} \right) dt, \tag{5}$$

$$v_2(AB, C) = \int_{t=0}^{t=\infty} e^{-\lambda_{25}^D t} e^{-rt} \left(\pi_2(2d, d) + \lambda_{25}^D \frac{\pi_2(2d, 2d)}{r} - x_5^D \right) dt, \tag{6}$$

$e^{-\lambda_{25}^D t}$ 爲時點 t 之前, 落後廠商之模組 D 尚未完成的機率, 則在下一個 Δt, 廠商 1 與廠商 2 各自有單位時間利潤 $\pi_1(2d, d)$ 與 $\pi_2(2d, d)$; λ_{25}^D 爲模組 D 的瞬間成功機率, 代表在下一個 Δt 內, 廠商 2 有 λ_{25}^D 的機率完成模組 D, 則此後的每單位時間, 兩廠商各可獲得 $\pi_1(2d, 2d)$ 與 $\pi_2(2d, 2d)$。$\pi_2(2d, 2d)/r$ 爲從現在累積到無限期的利潤現值; 廠商 2 的單位研發支出爲 x_5^D, 上兩式可簡化爲:

$$v_1(AB, C) = \frac{\pi_1(2d, d) + \lambda_{25}^D \frac{\pi_1(2d, 2d)}{r}}{\lambda_{25}^D + r}, \tag{7}$$

臺灣大學學術期刊資料庫

$$v_2(AB,C)=\frac{\pi_2(2d,d)+\lambda_{25}^{D}\frac{\pi_2(2d,2d)}{r}-x_5^{D}}{\lambda_{25}^{D}+r}。\tag{8}$$

由附錄 A 的證明, 可得廠商研發支出的近似值如下:

輔理 1. 廠商 1 (廠商 2) 於狀態 j 在模組 $M(L)$ 之瞬間成功機率 (單位時間研發支出之平方根) 的近似值爲:

$$\lambda_{1j}^{M}(X,Y)=\frac{v_1(X_1,Y)-\pi_1(\varepsilon_1,\varepsilon_2)/r}{2},\tag{9}$$

$$\lambda_{2j}^{L}(X,Y)=\frac{v_2(X,Y_1)-\pi_2(\varepsilon_1,\varepsilon_2)/r}{2},\tag{10}$$

上兩式中 (X,Y) 爲原來狀態, 廠商 1 (廠商 2) 完成模組 $M(L)$, 研發狀態轉爲 $(X_1,Y)((X,Y_1))$; $\pi_i(\varepsilon_1,\varepsilon_2)$ 爲廠商 i 在 (X,Y) 的單位時間利潤。

在狀態 5 廠商 1 已經完成兩個模組, 廠商 2 也完成模組 C, 因此起始狀態爲 (AB,C), 當廠商 2 完成模組 D, 則狀態轉爲 (AB,CD), 於是在輔理 1 的式 (10), 代入 $v_2(X,Y_1)=v_2(AB,CD)=\pi_2(2d,2d)/r$, $\pi_2(\varepsilon_1,\varepsilon_2)=\pi_2(2d,d)$ 等關係式, 並以 x_5 取代 x_5^D, 代表狀態 5 之落後廠商的最適單位時間研發支出, 以 λ_5 代替 λ_{25}^{D}, 可得 $\lambda_5(=\sqrt{x_5})$ 的近似值爲:

$$\lambda_5=\frac{1}{2}\left(\frac{\pi_2(2d,2d)}{r}-\frac{\pi_2(2d,d)}{r}\right),\tag{11}$$

由上式可知, 完成最後一個模組所帶來的利潤提升, 決定落後廠商的研發投資。

狀態 5 的上一層爲狀態 3 或狀態 4, 以下先討論狀態 3, 則領先廠商 (以廠商 1 爲例) 與落後廠商的預期利潤分別爲:

$$\begin{aligned}v_1(AB,0)=\int_{t=0}^{t=\infty}&e^{-\lambda_{23}^{C}t}e^{-\lambda_{23}^{D}t}e^{-rt}\left(\pi_1(2d,0)+\lambda_{23}^{C}v_1(AB,C)\right.\\&\left.+\lambda_{23}^{D}v_1(AB,D)\right)dt,\end{aligned}\tag{12}$$

$$\begin{aligned}v_2(AB,0)=\int_{t=0}^{t=\infty}&e^{-\lambda_{23}^{C}t}e^{-\lambda_{23}^{D}t}e^{-rt}\left(\lambda_{23}^{C}v_2(AB,C)+\lambda_{23}^{D}v_2(AB,D)\right.\\&\left.-x_3^{C}-x_3^{D}\right)dt,\end{aligned}\tag{13}$$

臺灣大學學術期刊資料庫

λ_{23}^C、λ_{23}^D 爲廠商 2 在模組 C 與 D 的瞬間成功機率; 若落後廠商在某個時點 t 之前尚未完成任一模組, 則在下一個時點有 λ_{23}^C 的機會完成模組 C, 則廠商 1 與廠商 2 分別可獲得預期利潤爲 $v_1(AB, C)$、$v_2(AB, C)$; 反之, 落後廠商也有 λ_{23}^D 的機會完成模組 D, 則廠商 1 與 2 的預期利潤分別爲 $v_1(AB, D)$、$v_2(AB, D)$。廠商 1 已經完成兩個模組, 所以在狀態 3 的每個時點有 $\pi_1(2d, 0)$ 的獨佔利潤。x_3^C 與 x_3^D 分別爲廠商 2 在模組 C 與 D 的單位時間研發支出, 上兩式積分之後可得:

$$v_1(AB, 0) = \frac{\pi_1(2d, 0) + \lambda_{23}^C v_1(AB, C) + \lambda_{23}^D v_1(AB, D)}{\lambda_{23}^C + \lambda_{23}^D + r}, \tag{14}$$

$$v_2(AB, 0) = \frac{\lambda_{23}^C v_2(AB, C) + \lambda_{23}^D v_2(AB, D) - x_3^C - x_3^D}{\lambda_{23}^C + \lambda_{23}^D + r}, \tag{15}$$

因 $\varepsilon_2 = 0, \pi_2(\varepsilon_1, \varepsilon_2) = 0$; 在輔理 1 的式 (10), $v_2(X, Y_1)$ 分別代入 $v_2(AB, C)$ 與 $v_2(AB, D)$, 可得 λ_{23}^C 與 λ_{23}^D, 因 $v_2(AB, C) = v_2(AB, D)$, 所以 $\lambda_{23}^C = \lambda_{23}^D$ 且 $\sqrt{x_3^C} = \sqrt{x_3^D}$, 以下用 x_3 代表狀態 3 之落後廠商的最適單位時間研發支出, 並以 λ_3 取代 λ_{23}^C 與 λ_{23}^D, 則由式 (10) 可得:

$$\lambda_3 = \frac{1}{2} v_2(AB, C), \tag{16}$$

由上式可知, x_3 決定於完成一個模組可獲得的預期利潤。

狀態 4 有四種可能組合, 分別爲 (A, C)、(A, D)、(B, C) 與 (B, D)。以廠商 1 與廠商 2 分別已經完成模組 A 與 C 爲例, 所得結果適用於其它三種可能的模組組合。兩廠商的預期利潤分別爲:

$$\begin{aligned} v_1(A, C) = \int_{t=0}^{t=\infty} & e^{-\lambda_{14}^B t} e^{-\lambda_{24}^D t} e^{-rt} \left(\pi_1(d, d) + \lambda_{14}^B v_1(AB, C)\right. \\ & \left. + \lambda_{24}^D v_1(A, CD) - x_{14}^B\right) dt, \end{aligned} \tag{17}$$

$$\begin{aligned} v_2(A, C) = \int_{t=0}^{t=\infty} & e^{-\lambda_{14}^B t} e^{-\lambda_{24}^D t} e^{-rt} \left(\pi_2(d, d) + \lambda_{14}^B v_2(AB, C)\right. \\ & \left. + \lambda_{24}^D v_2(A, CD) - x_{24}^D\right) dt, \end{aligned} \tag{18}$$

因爲各已經完成一個模組, 兩產品都可以上市, 每單位時間各可獲得 $\pi_1(d, d)$ 與 $\pi_2(d, d)$; 另外, 廠商 1 有 λ_{14}^B 的機率搶先對手完成模組 B, 於是分別

臺灣大學學術期刊資料庫

可獲得 $v_1(AB, C)$ 與 $v_2(AB, C)$; 反之, 廠商 2 也有 λ_{24}^D 的機會搶先對手完成模組 D, 則分別可獲得 $v_1(A, CD)$ 與 $v_2(A, CD)$; 兩廠商的單位時間研發支出分別爲 x_{14}^B 與 x_{24}^D。上兩式積分後可得:

$$v_1(A, C) = \frac{\pi_1(d, d) + \lambda_{14}^B v_1(AB, C) + \lambda_{24}^D v_1(A, CD) - x_{14}^B}{\lambda_{14}^B + \lambda_{24}^D + r}, \quad (19)$$

$$v_2(A, C) = \frac{\pi_2(d, d) + \lambda_{14}^B v_2(AB, C) + \lambda_{24}^D v_2(A, CD) - x_{24}^D}{\lambda_{14}^B + \lambda_{24}^D + r}, \quad (20)$$

在輔理 1 的式 (9), 令 $v_1(X_1, Y) = v_1(AB, C)$、$\pi_1(\varepsilon_1, \varepsilon_2) = \pi_1(d, d)$; 在式 (10) 令 $v_2(X, Y_1) = v_2(A, CD)$、$\pi_2(\varepsilon_1, \varepsilon_2) = \pi_2(d, d)$, 以及由式 (7) 與式 (8) 可知 $v_1(AB, C) = v_2(A, CD)$, 於是可推知 $\lambda_{14}^B = \lambda_{24}^D$ 以及 $\sqrt{x_{14}^B} = \sqrt{x_{24}^D}$,[4] 以下以 x_4 代表狀態 4 的均衡單位時間研發支出, 以 λ_4 取代 λ_{14}^B 與 λ_{24}^D, 由式 (9) 或式 (10) 均可得:

$$\lambda_4 = \frac{1}{2}\left(v_1(AB, C) - \frac{\pi_1(d, d)}{r}\right), \quad (21)$$

由上式可知在狀態 4, 廠商的單位時間研發投資, 決定於領先對手一個模組可獲得的預期利潤, 扣除在狀態 4 所累積的利潤。

狀態 2 有四種可能組合, 分別爲 $(A, 0)$、$(B, 0)$、$(0, C)$ 與 $(0, D)$, 以下利用 $(A, 0)$ 來解釋領先與落後廠商的決策, 其它三種組合的結果與 $(A, 0)$ 相同。在狀態 $(A, 0)$, 廠商 1 爲領先者, 廠商 2 爲落後廠商, 預期利潤分別

[4] 在狀態 4 廠商各完成一個模組, 因此有四種可能組合, 在此以廠商 1 完成模組 A, 廠商 2 完成模組 C 爲例, 其它三種組合之下, 廠商的單位時間研發支出與瞬間機率與本組合相同。由式 (9) 與式 (10) 可得 $\lambda_{14}^B = (v_1(AB, C) - \pi_1(d, d))/2$ 與 $\lambda_{24}^D = (v_2(A, CD) - \pi_2(d, d))/2$。在前兩式中, 首先 $\pi_1(d, d) = \pi_2(d, d)$; 其次, 由式 (7) 可知廠商 1 或廠商 2 爲狀態 5 之領先者時, 各自的均衡利潤分別爲 $v_1(AB, C) = (\pi_1(2d, d) + \lambda_5(\pi_1(2d, 2d)/r)/(\lambda_5 + r)$, $v_2(A, CD) = (\pi_2(d, 2d) + \lambda_5(\pi_2(2d, 2d)/r)/(\lambda_5 + r)$; 因 $\pi_1(2d, d) = \pi_2(d, 2d)$ 及 $\pi_1(2d, 2d) = \pi_2(2d, 2d)$, 可知 $v_1(AB, C) = v_2(A, CD)$。由前述關係可得 $\lambda_{14}^B = \lambda_{24}^D$。

臺灣大學圖書館 期刊資料庫

爲:

$$v_1(A,0) = \int_{t=0}^{t=\infty} e^{-\lambda_{12}^B t} e^{-\lambda_{22}^C t} e^{-\lambda_{22}^D t} e^{-rt} \left(\pi_1(d,0) + \lambda_{12}^B v_1(AB,0) + \lambda_{22}^C v_1(A,C) + \lambda_{22}^D v_1(A,D) - x_{12}^B\right) dt, \tag{22}$$

$$v_2(A,0) = \int_{t=0}^{t=\infty} e^{-\lambda_{12}^B t} e^{-\lambda_{22}^C t} e^{-\lambda_{22}^D t} e^{-rtB} \left(\lambda_{12}^B v_2(AB,0) + \lambda_{22}^C v_2(A,C) + \lambda_{22}^D v_2(A,D) - x_{22}^C - x_{22}^D\right) dt, \tag{23}$$

在狀態2, 廠商1已經完成一個模組, 每單位時間可獲得 $\pi_1(d,0)$ 的獨佔利潤, 而且有 λ_{12}^B 的機會完成模組 B, 則廠商1與廠商2分別可獲得 $v_1(AB,0)$ 與 $v_2(AB,0)$。其次, 廠商2也有 λ_{22}^C 的機會完成模組 C, 則廠商1與廠商2可分別獲得 $v_1(A,C)$ 與 $v_2(A,C)$; 此外, 廠商2也有 λ_{22}^D 的機率完成模組 D, 則廠商1與廠商2可分別獲得 $v_1(A,D)$ 與 $v_2(A,D)$。x_{12}^B 爲廠商1在模組 B 的單位時間研發支出; x_{22}^C、x_{22}^D 分別爲廠商2在模組 C 與 D 的單位時間研發支出。上兩式積分後可得:

$$v_1(A,0) = \frac{\pi_1(d,0) + \lambda_{12}^B v_1(AB,0) + \lambda_{22}^C v_1(A,C) + \lambda_{22}^D v_1(A,D) - x_{12}^B}{\lambda_{12}^B + \lambda_{22}^C + \lambda_{22}^D + r}, \tag{24}$$

$$v_2(A,0) = \frac{\lambda_{12}^B v_2(AB,0) + \lambda_{22}^C v_2(A,C) + \lambda_{22}^D v_2(A,D) - x_{22}^C - x_{22}^D}{\lambda_{12}^B + \lambda_{22}^C + \lambda_{22}^D + r}, \tag{25}$$

在輔理1之式 (9), 令 $v_1(X_1,Y) = v_1(AB,0)$、$\pi_1(\varepsilon_1,\varepsilon_2) = \pi_1(2d,0)$; 在式 (10) 令 $v_2(X,Y_1) = v_2(A,C)$、$\pi_2(\varepsilon_1,\varepsilon_2) = 0$; 由式 (20) 可知 $v_2(A,C) = v_2(A,D)$,[5] 所以由式 (10) 可得 $\lambda_{22}^C = \lambda_{22}^D$。以下以 x_{2a} 代表狀態2之領先廠商的均衡單位時間研發支出 (下標之2代表狀態2, a 代

[5] $v_2(A,D) = (\pi_2(d,d) + \lambda_{14}^B v_2(AB,D) + \lambda_{24}^C v_2(A,DC) - x_{24}^C)/(\lambda_{14}^B + \lambda_{24}^C + r)$, 利用式 (8) 與式 (7) 可知 $v_2(AB,D)$ 與 $v_2(A,DC)$ 分別等於註解4中的 $v_2(AB,C)$ 與 $v_2(A,CD)$, 而狀態 (A,C) 與 (A,D) 的瞬間成功機率都等於式 (21), 因此與式 (20) 的 $v_2(A,C)$ 比較之後可得 $v_2(A,C) = v_2(A,D)$。

期刊資料庫

表領先 (ahead)); 以 x_{2b} 代表落後廠商之均衡單位時間研發支出 (下標之 b 代表落後 (behind)); 並以 λ_{2a} 代替 λ_{12}^{B}, 以 λ_{2b} 代替 λ_{22}^{C} 與 λ_{22}^{D}, 則由式 (9) 與式 (10) 可得:

$$\lambda_{2a} = \frac{1}{2}\left(v_1(AB, 0) - \frac{\pi_1(d, 0)}{r}\right), \tag{26}$$

$$\lambda_{2b} = \frac{1}{2}v_2(A, C), \tag{27}$$

式 (26) 表示領先兩個模組的預期利潤, 與處於狀態 2 可獲得的利潤, 兩者的差距決定領先廠商的投資意願。式 (27) 表示落後廠商的研發投資, 決定於取得勢均力敵可獲得的預期利潤。

在狀態 1, 廠商都尚未完成任何模組, 以廠商 1 爲例, 預期利潤爲:

$$\begin{aligned} v_1(0, 0) = \int_{t=0}^{t=\infty} & e^{-\lambda_{11}^{A}t}e^{-\lambda_{11}^{B}t}e^{-\lambda_{21}^{C}t}e^{-\lambda_{21}^{D}t}e^{-rt}\left(\lambda_{11}^{A}v_1(A, 0) + \lambda_{11}^{B}v_1(B, 0)\right. \\ & \left.+\lambda_{21}^{C}v_1(0, C) + \lambda_{21}^{D}v_1(0, D) - x_{11}^{A} - x_{11}^{B}\right)dt, \\ v_2(0, 0) = \int_{t=0}^{t=\infty} & e^{-\lambda_{11}^{A}t}e^{-\lambda_{11}^{B}t}e^{-\lambda_{21}^{C}t}e^{-\lambda_{21}^{D}t}e^{-rt}\left(\lambda_{11}^{A}v_2(A, 0) + \lambda_{11}^{B}v_2(B, 0)\right. \\ & \left.+\lambda_{21}^{C}v_2(0, C) + \lambda_{21}^{D}v_2(0, D) - x_{21}^{C} - x_{21}^{D}\right)dt, \end{aligned}$$

若在時點 t 都尚未有廠商成功, 則在下一個 dt, 廠商 1 有 λ_{11}^{A} 的機會完成模組 A, 也有 λ_{11}^{B} 的機會完成模組 B,[6] 於是廠商 1 分別可獲得 $v_1(A, 0)$ 與 $v_1(B, 0)$, 廠商 2 分別可獲得 $v_2(A, 0)$ 與 $v_2(B, 0)$; 而廠商 2 有 λ_{21}^{C} 的機會完成模組 C, 與 λ_{21}^{D} 的機會完成模組 D, 於是廠商 1 分別可獲得 $v_1(0, C)$ 與 $v_1(0, D)$, 而廠商 2 分別可獲得 $v_2(0, C)$ 與 $v_2(0, D)$。廠商 1 在模組 A 及 B 的單位時間的研發支出, 分別爲 x_{11}^{A} 與 x_{11}^{B}, 廠商 2 在模組 C 與 D 的單位時間研發支出, 分別爲 x_{21}^{C} 與 x_{21}^{D}; 上兩式積分可得:

$$\begin{aligned} v_1(0, 0) = & \left(\lambda_{11}^{A}v_1(A, 0) + \lambda_{11}^{B}v_1(B, 0) + \lambda_{21}^{C}v_1(0, C) + \lambda_{21}^{D}v_1(0, D)\right. \\ & \left.-x_{11}^{A} - x_{11}^{B}\right) / \left(\lambda_{11}^{A} + \lambda_{11}^{B} + \lambda_{21}^{C} + \lambda_{21}^{D} + r\right), \end{aligned} \tag{28}$$

[6]指數分佈由 Poisson 分佈演化而來, 此分布的特色爲在單位時間 Δt 內, 最多只有一個事件 (一個模組) 可能會發生 (會成功), 因此在 Δt 內, 兩產品共四個模組中, 只有其中一個模組可能成功, 不可能有兩個以上模組在此短時間內同時成功。

期刊資料庫

$$v_2(0,0) = \left(\lambda_{11}^A v_2(A,0) + \lambda_{11}^B v_2(B,0) + \lambda_{21}^C v_2(0,C) + \lambda_{21}^D v_2(0,D) - x_{21}^C - x_{21}^D\right) / \left(\lambda_{11}^A + \lambda_{11}^B + \lambda_{21}^C + \lambda_{21}^D + r\right), \tag{29}$$

在輔理1的式 (9), 令 $v_1(X_1, Y) = v_1(A,0)$ (或 $v_1(B,0)$) 與 $\pi_1(\varepsilon_1, \varepsilon_2) = 0$; 在式 (10), 令 $v_2(X, Y_1) = v_2(0,C)$ (或 $v_2(0,D)$) 與 $\pi_2(\varepsilon_1, \varepsilon_2) = 0$, 由式 (24) 及前面的結果可推知 $v_1(A,0) = v_1(B,0) = v_2(0,C) = v_2(0,D)$, 因此 $\lambda_{11}^A = \lambda_{11}^B = \lambda_{21}^C = \lambda_{21}^D$,[7] 以下用 x_1 來代表廠商在狀態1的單位時間研發支出, 以 λ_1 來表示瞬間機率, 由式 (9) 可得:

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} v_1(A,0), \tag{30}$$

上式顯示廠商的單位時間研發投資, 決定於領先一個模組的預期利潤。由附錄 B 可得到以下之輔理:

輔理 2. 對所有 b 值, $x_4 > x_3$; b 越大, $x_4 - x_3$ 也越大。

輔理2表示廠商在勢均力敵之下的研發投資, 較在大幅落後之下積極; 當兩產品的差異程度越低, 前者的研發投資越高, 而後者卻越低, 造成兩者的差距越大。

4 動態途徑的社會福利

研發競爭在狀態2之後, 有兩個可能的發展方向: 路徑1爲小幅落後之廠商, 陷入更嚴重的落後 (狀態3); 接下來當其完成一個模組, 產品就能進入市場 (狀態5); 當其完成最後一個模組, 商品市場就轉呈雙強鼎立 (狀態6)。路徑2爲小幅落後之廠商, 搶先領先者完成一個模組, 兩廠商在研發與市場

[7] 由輔理1中, (X, Y) 代入 (0,0), 式 (9) 的 (X_1, Y) 代入 $(A,0)$, 式 (10) 的 (X, Y_1) 代入 $(0,C)$ 可得到 $\lambda_{11}^A = v_1(A,0)/2$ 及 $\lambda_{21}^C = v_2(0,C)/2$; 應用式 (24) 可得 $v_1(A,0) = \pi_1(d,0) + (\lambda_{2a} v_1(AB,0) + \lambda_{2b} v_1(A,C) + \lambda_{2b} v_1(A,D) - x_{2a})/(\lambda_{2a} + 2\lambda_{2b} + r)$ 與 $v_2(0,C) = (\pi_2(0,d) + \lambda_{2a} v_2(0,CD) + \lambda_{2b} v_2(A,C) + \lambda_{2b} v_2(B,C) - x_{2a})/(\lambda_{2a} + 2\lambda_{2b} + r)$; 其中 $\pi_1(d,0) = \pi_2(0,d)$, 其次, 由式 (14) 可推知 $v_1(AB,0) = v_2(0,CD)$, 而由註解4的結果可知: 狀態4的不同組合之間, 其單位時間研發支出與瞬間成功機率都相等; 此結果應用於式 (19) 與式 (20), 可推知 $v_1(A,D)$ 等於 $v_2(B,C)$; 綜合前述關係可知 $v_1(A,0) = v_2(0,C)$, 所以 $\lambda_{11}^A = \lambda_{21}^C$。同理可證明 λ_{11}^B 與 λ_{21}^D 與前兩者相等。

期刊資料庫

上形成勢均力敵的局面 (狀態4); 接下來任一廠商搶先完成下一個模組, 則可取得一個模組的成本優勢 (狀態5); 當落後廠商完成最後一個模組, 商品市場又轉呈平分秋色 (狀態6)。本節要說明研發與商品市場競爭都較緩和的路徑1, 其社會福利反而高於研發與商品市場競爭相對激烈的路徑2; 其原因爲路徑1的效率效果較高, 而路徑2的利潤消散效果 (Forsfuri, 2006) 較嚴重所導致。

由前一段的說明, 可將路徑1與2的社會福利 (在下兩式中, SW^i 的上標 i 代表路徑) 表示爲:

$$SW^1 = \int_{t=0}^{t=\infty} 2\lambda_3 e^{-2\lambda_3 t} \left(\frac{SW_3}{r}\left(1-e^{-rt}\right) - \frac{2x_3}{r}\left(1-e^{-rt}\right) + \int_{s=t}^{s=\infty} \lambda_5 e^{-\lambda_5(s-t)} \left(\frac{SW_5}{r}\left(e^{-rt}-e^{-rs}\right) - \frac{x_5}{r}\left(e^{-rt}-e^{-rs}\right) + \int_{z=s}^{z=\infty} SW_6 e^{-rz} dz \right) ds \right) dt, \tag{31}$$

$$SW^2 = \int_{t=0}^{t=\infty} 2\lambda_4 e^{-2\lambda_4 t} \left(SW_4\left(1-e^{-rt}\right) - \frac{2x_4}{r}\left(1-e^{-rt}\right) + \int_{s=t}^{s=\infty} \lambda_5 e^{-\lambda_5(s-t)} \left(\frac{SW_5}{r}\left(e^{-rt}-e^{-rs}\right) - \frac{x_5}{r}\left(e^{-rt}-e^{-rs}\right) + \int_{z=s}^{z=\infty} SW_6 e^{-rz} dz \right) ds \right) dt, \tag{32}$$

SW^1 與 SW^2 的第一個積分式, 分別爲狀態3與狀態4所累積的福利。兩路徑之第二個積分式, 爲經過狀態5所累積的福利; 第三個積分式爲進入狀態6之後所累積的福利。上兩式積分後可得:

$$SW^1 = \frac{1}{2\lambda_3 + r} SW_3 + \frac{2\lambda_3}{2\lambda_3 + r} \frac{1}{\lambda_5 + r} SW_5 + \frac{2\lambda_3}{2\lambda_3 + r} \frac{\lambda_5}{\lambda_5 + r} \frac{SW_6}{r} - \frac{2x_3}{2\lambda_3 + r} - \frac{2\lambda_3}{2\lambda_3 + r} \frac{x_5}{\lambda_5 + r}, \tag{33}$$

$$SW^2 = \frac{1}{2\lambda_4 + r} SW_4 + \frac{2\lambda_4}{2\lambda_4 + r} \frac{1}{\lambda_5 + r} SW_5 + \frac{2\lambda_4}{2\lambda_4 + r} \frac{\lambda_5}{\lambda_5 + r} \frac{SW_6}{r} - \frac{2x_4}{2\lambda_4 + r} - \frac{2\lambda_4}{2\lambda_4 + r} \frac{x_5}{\lambda_5 + r}, \tag{34}$$

上兩式中, 第一項的乘數 $1/(2\lambda_3+r)$ 與 $1/(2\lambda_4+r)$, 分別爲考慮折現之後, 在狀態3與狀態4的停留時間。第二項的第一個乘數, 分別爲經由狀態3與

臺灣大學學術期刊資料庫

狀態4進入狀態5的速度, $1/(\lambda_5 + r)$ 爲在狀態5停留的時間。第三項之乘數, 分別爲由狀態3與狀態4再經由狀態5進入狀態6的機率, SW_6/r 爲停留在狀態6所累積的福利現值。兩式之第四項分別爲狀態3與狀態4之單位時間研發成本與停留時間的積, 代表在該狀態所累積的研發成本。兩式的最後一項爲停留在狀態5所累積的研發支出。由附錄 C 可得到以下結果:[8]

命題 1. 在任何產品差異程度, 路徑1的社會福利均高於路徑2的社會福利。[9]

一條路徑的社會福利, 決定於坐落於此路徑上, 各個狀態的瞬間社會福利, 進入每個狀態的快慢, 以及每個狀態的停留時間。進入一個狀態的速率及停留時間, 決定於廠商的研發速度, 而這又決定於廠商的研發投資之強度。爲了解命題1, 以下先分析每個狀態的瞬間社會福利, 接著再分析每個狀態的停留時間。

由第2節 Singh and Vives (1984) 的效用函數, 及將 Cournot 競爭下之商品市場的均衡產量, 代入消費者剩餘函數與廠商的利潤函數, 將兩者相加後可得到社會福利函數爲 (Chang and Peng, 2013):

$$SW_k = \frac{3}{2}\left(q_{1k}^e\right)^2 + \frac{3}{2}\left(q_{2k}^e\right)^2 + bq_{1k}^e q_{2k}^e, \tag{35}$$

上式中, SW_k 的下標 k 代表狀態, q_{1k}^e、q_{2k}^e 爲 Cournot 競爭下之商品市場均衡, 上標 e 代表均衡, 下標之1與2代表廠商身分, k 代表狀態。當 ε_1、ε_2 都不爲0, 則 $q_{1k}^e(\varepsilon_1, \varepsilon_2) = (2\varepsilon_1 - b\varepsilon_2)/(4 - b^2)$, $q_{2k}^e(\varepsilon_1, \varepsilon_2) = (2\varepsilon_2 - b\varepsilon_1)/(4 - b^2)$; 若 $\varepsilon_1 \neq 0$ 且 $\varepsilon_2 = 0$, 則 $q_{1k}^e(\varepsilon_1, 0) = \varepsilon_1/2$, $q_{2k}^e(\varepsilon_1, 0) = 0$;

[8]若商品市場爲 Bertrand 競爭, 則利潤消散效果會更嚴重, 狀態3與狀態4的單位時間福利 (SW_3 與 SW_4) 的差距會擴大, 且狀態3的停留時間會相對更久, 因此路徑1的福利仍高於路徑2。

[9]若參照 Grossman and Shapiro (1987) 的設定, 假定廠商如果要持續研發, 在每個時點需支付固定成本 f, 而每個時點在狀態 j 的瞬間成功機率 λ_j, 爲該時點變動研發支出 x_j 的函數, 即 $\lambda_j = \sqrt{x_j}$。考慮 f 使狀態3的瞬間機率 (λ_3) 的提高幅度小於狀態4 (λ_4), 因此路徑1的福利仍然高於路徑2。此外, 前述結果不受狀態3的落後廠商是否持續研發所影響。

期刊資料庫

反之, 當 $\varepsilon_1 = 0$ 且 $\varepsilon_2 \neq 0$, 則 $q^e_{1k}(0, \varepsilon_2) = 0$, $q^e_{2k}(0, \varepsilon_2) = \varepsilon_2/2$。利用表 1, 可得每個狀態的瞬間社會福利爲:

$$SW_3 = \frac{3}{2}\left(q^e_{13}(2d, 0)\right)^2 = \frac{3}{2}d^2, \tag{36}$$

$$\begin{aligned} SW_4 &= \frac{3}{2}\left(\left(q^e_{14}(d, d)\right)^2 + \left(q^e_{24}(d, d)\right)^2\right) + bq^e_{14}(d, d)q^e_{24}(d, d) \\ &= \frac{(3+b)(2-b)^2d^2}{\left(4-b^2\right)^2}, \end{aligned} \tag{37}$$

$$\begin{aligned} SW_5 &= \frac{3}{2}\left(\left(q^e_{15}(2d, d)\right)^2 + \left(q^e_{25}(2d, d)\right)^2\right) + bq^e_{15}(2d, d)q^e_{25}(2d, d) \\ &= \frac{3}{2}\left(\frac{(4-b)^2d^2}{\left(4-b^2\right)^2} + \frac{4(1-b)^2d^2}{\left(4-b^2\right)^2}\right) + b\frac{2(1-b)(4-b)d^2}{\left(4-b^2\right)^2}, \end{aligned} \tag{38}$$

$$\begin{aligned} SW_6 &= \frac{3}{2}\left(\left(q^e_{16}(2d, 2d)\right)^2 + \left(q^e_{26}(2d, 2d)\right)^2\right) + bq^e_{16}(2d, 2d)q^e_{26}(2d, 2d) \\ &= \frac{4(3+b)d^2}{(2+b)^2}。 \end{aligned} \tag{39}$$

由廠商的均衡產量函數, 可知瞬間社會福利取決於兩個因素: 首先爲每家廠商之模組完成數, 廠商完成的模組越多, 成本降低的越多, 市場均衡價格也越低; 不但使消費者剩餘提高, 也使廠商利潤也增加, 社會福利就越高, 簡稱其爲效率效果。第二個因素是利潤消散效果, 當兩商品的產品差異程度越低, 廠商之間的競爭越激烈, 不但使廠商均衡產量下降, 產品的價格也降低, 導致其單位時間的利潤越低; 雖然價格下降, 但產量也減少, 消費者剩餘仍然小幅降低。由前述討論可知, 利潤消散效果使社會福利降低。以下說明各狀態的瞬間社會福利。

狀態 3 爲路徑 1 的起點, 大幅領先之廠商已經完成兩個模組, 有很高的效率效果, 落後廠商尚未完成任何模組, 因此沒有效率效果。落後廠商尚未能進入市場, 廠商間沒有競爭發生, 因此沒有利潤分散效果, 即使產品差異程度 (b) 降低, 狀態 3 的瞬間福利 (SW_3) 始終維持在 $1.5d^2$。路徑 2 的起點爲狀態 4, 兩廠商各完成一個模組, 每家廠商的效率效果只有中等, 在利潤消散效果尚未涉入之前 ($b = 0$), 效率效果使狀態 4 的瞬間社會福利 (SW_4) 達 $0.75d^2$。當兩產品差異性越低 (b 越大), 利潤消散效果越強, 越多

臺灣大學圖書館 期刊資料庫

的效率效果被侵蝕, SW_4 就越低; 當利潤消散效果最嚴重時 ($b = 1$), 狀態4的瞬間福利只剩下 $0.44d^2$。

兩條路徑都會經過狀態5與狀態6。在狀態5, 領先廠商已經完成兩個模組, 效率效果發揮到極致; 落後廠商完成一個模組, 也有中等的效率效果; 在尚未發生利潤消散效果之前 ($b = 0$), 效率效果推升狀態5的瞬間社會福利 (SW_5) 到達 $1.875d^2$。當產品差異性越低 (b 越大), 越大部分的效率效果被利潤消散效果所侵蝕, SW_5 就越低; 當利潤消散效果最嚴重時 ($b = 1$), 狀態5的瞬間社會福利只剩 $1.5d^2$。在狀態6, 兩廠商都完成兩個模組, 效率效果均達到最高點, 在利潤消散效果尚未注入之前, 顯著的效率效果使狀態6的瞬間社會福利 (SW_6) 攀升至 $3d^2$。當產品差異性越低, 利潤消散效果就逐漸增強, 侵蝕掉越多的效率效果, SW_6 就越低, 在利潤消散效果最嚴重時 ($b = 1$), 狀態6的瞬間社會福利只剩下 $1.78d^2$。

接下來要比較狀態3與狀態4的停留時間。由輔理2可知, 產品差異性越小 (b 越大), 狀態3與狀態4的停留時間會差距越大。狀態3的研發速度, 決定於完成一個模組的預期利潤, 因仍有一個模組的成本劣勢, 該預期利潤的值不高, 導致其研發意願低 (x_3 小)。尤其當其與領先者的產品差異越小 (b 越大), 其成本劣勢就越會被放大, 預期利潤就越趨微薄, 研發投資就越低落, 狀態3的停留時間就越久。

在狀態4, 廠商的研發速度, 取決於搶先對手完成最後一個模組可獲取的預期利潤。取得一個模組的成本優勢, 能讓廠商在一段時間內維持很高的獲利, 因此單位時間的研發投資遠高於狀態3, 這表示相對於狀態3, 狀態4的停留時間相當短暫。產品差異程度越低, 前述之成本優勢越能突顯, 預期利潤就越高; 反之, 狀態4的機會成本 (在狀態4的獲利) 卻越低, 使廠商的投資意願更強勁, 兩狀態的停留時間也差距越大。

由前幾段的討論可知, 當產品差異程度越低, 狀態3的瞬間福利超過狀態4越多, 在 $b = 0$, 兩者差距 ($SW_3 - SW_4$) 爲 $0.75d^2$, 在 $b = 1$, 兩者差距提高至 $1.06d^2$。此外, 產品差異程度越低, 狀態3的停留時間也相對越久; 結合瞬間福利與停留時間, 可知產品差異程度越低, 兩路徑在第一段的福利差距急劇擴大。

由於 $2\lambda_4/(2\lambda_4 + r)$ 大於 $2\lambda_3/(2\lambda_3 + r)$, 表示經由狀態4進入狀態5的

臺灣大學學術期刊資料庫

速度比狀態3快。由輔理2可知, 產品差異性越低, 到達狀態5的速度就差距越大。進入狀態5可獲得的福利爲 $SW_5(1/(\lambda_5 + r))$ (約爲 $1.5d$), 當產品差異性變小, 狀態5的瞬間福利降低, 但停留時間拉長, 因此其值大致維持不變。雖然兩條路徑進入狀態5的速度有差距, 但進入狀態5之後, 所得到的福利相同, 因此路徑1與路徑2在第二站的差距, 明顯小於第一站的差距。路徑1與路徑2進入狀態6的機會, 分別爲 $2\lambda_3/(2\lambda_3+r)(\lambda_5/(\lambda_5+r))$ 與 $2\lambda_4/(2\lambda_4+r)(\lambda_5/(\lambda_5+r))$。狀態6瞬間福利雖最高, 但因爲是最後一站, 遙遠的未來會受到時間強烈的折現, 使得兩路徑在第三站的福利差距, 遠低於前兩站。

SW^1 (式 (33)) 與 SW^2 (式 (34)) 的最後兩個減項, 分別爲路徑1與路徑2的研發支出。因爲狀態4的單位時間研發支出, 遠高於狀態3, 雖然狀態3的研發時間較久, 惟前者的幅度較大, 所以狀態3的研發成本還是低於狀態4。由狀態3進入狀態5的時間, 比由狀態4進入狀態5還晚, 因此前者受到較大的折現, 使得路徑1在狀態5的研發成本也低於路徑2, 可見路徑1的研發成本低於路徑2。

由前幾段的說明可發現, 路徑的福利水準取決於效率效果與利潤消散效果, 前者會使福利提高, 後者則會削減福利。路徑1不但由一種技術壟斷商品市場很長一段時間, 研發競爭也看似低迷, 但由於其第一段有很高的效率效果, 卻沒有被利潤消散效果所侵蝕, 是其福利較高的主要原因。路徑2之第一段的效率效果只有中等, 又浪費在利潤消散效果; 雖然很快地進入有較高福利的中後段, 但由於需要長時間的等待, 後段的福利受到嚴重的折現, 使得路徑2後段的福利雖稍高於路徑1, 但終究彌補不了其第一段過低的福利, 導致路徑2的福利低於路徑1。

在單一工程原理的架構下, 一個產品只授予一張專利, 不論研發競爭依循那一條路徑, 最後都是由一家廠商所獨佔, 終點的社會福利都相同, 而且研發的中間過程 (完成基礎研發), 產品不能上市; 所以, 不同路徑到達終點的時間雖有些差距, 但在社會福利的差別並不大。反之, 當一種產品存在多種工程原理, 各自的專利並不互相衝突, 各技術之產品可以一起在市場上競爭。此外, 在商品化的過程中, 產品在尚未達到盡善盡美之前, 往往就已經可以上市; 有可能發生某一廠商的研發進度遙遙領先其它廠商, 獨佔

臺灣大學學術期刊資料庫

市場很長的時間, 才被其它技術趕上: 也可能稍有研發成果, 就被其它技術趕上, 所有產品在相近的時間進入市場。在此架構下, 不但不同路徑的研發行爲差異很大, 商品市場的競爭程度也很不同, 所得到的福利當然就南轅北轍。

1982年, 政府支持廠商成立筆記型電腦發展聯盟, 獎勵廠商共同研發。但是, 在合作研發完成之後, 廠商之間發生嚴重的殺價搶訂單現象, 後來政府要成立第二代筆記型電腦研發聯盟, 因爲要參加的廠商太少, 以致聯盟沒有形成(陳正倉等, 2003, 頁430)。在本文的路徑2的狀態4, 廠商都完成一個模組並進入商品市場, 當產品差異不明顯, 利潤消散效果就會很嚴重, 社會福利反而很低。在商品化階段, 廠商若形成研發聯盟, 等於讓大家的研發進度相同, 同時進入市場, 有如本文的狀態4; 此外, 研發合作還會縮小產品的差異程度, 反而會帶來嚴重的利潤消散效果, 由本文的結果可知, 合作研發反而降低社會福利; 有鑑於此, 政府似乎不適合在商品化階段鼓勵廠商形成研發聯盟。

5 兩模組降低成本的幅度不相同

如果兩模組降低成本的能力不相同, 一個可降低單位成本 d_1, 一個可降低單位成本 d_2, 假設 $d_1 \geq d_2$ 及 $d_1 + d_2 = 2d$。則狀態2有兩種子狀態, 一種是領先廠商先完成降低成本能力高之模組, 另一種是先完成降低成本能力低之模組。狀態4也可分成四種子狀態, 第一種是兩廠商都完成降低成本能力高之模組, 第二種是兩廠商都完成降低成本能力低之模組, 其它兩種是廠商完成降低成本能力不同之模組。狀態3則仍然是落後廠商兩個模組都尚未完成。經由分析可發現, 在狀態1, 廠商的研發投資會著重在成本改善能力較強之模組, 所以進入狀態2時, 領先者所完成的模組較可能是成本降低能力高之模組。較特別的是, 狀態2的落後廠商, 在降低成本能力高之模組的投資, 有可能高於領先廠商在降低成本能力低之模組的投資。所以, 當狀態2之領先廠商所完成的模組, 爲降低成本能力高者, 則接下來最可能發生的情況, 爲落後廠商也完成降低成本能力高之模組。反之, 當領先廠商先完成降低成本能力低之模組, 則落後廠商陷入更嚴重落後的可能性就大爲提高。

臺灣大學學術期刊資料庫

當 d_1 與 d_2 差距大, 且產品差異程度高 (b 小), 則路徑 2 的社會福利, 有可能高於路徑 1。在路徑 2 的狀態 4, 當每家廠商所完成的模組, 都是降低成本能力高之模組, 將帶來很高的效率效果。只要兩產品有顯著的差異, 負面的利潤消散效果不嚴重, 則狀態 4 的瞬間社會福利就會高於狀態 3。其次, 因爲尚未完成的模組, 都是成本降低低之模組, 廠商在此模組的研發投資都很小, 使得狀態 4 停留很久。單位時間福利高, 加上停留時間長, 使路徑 2 在這一段累積的福利, 高於路徑 1 在狀態 3 累積的福利, 也使得路徑 2 的福利有很高的機會大於路徑 1。

6 結論

文獻在一項產品只存在一種工程原理的架構下, 探討研發競爭, 並聚焦在討論研發進行的速度。惟研發競爭的路徑不論是一條或多條, 最後都是由一家廠商獨佔市場, 終點的社會福利都相同, 又因研發的中間過程, 產品不能上市, 不同途徑雖然進行的速度不同, 但帶來的社會福利卻相去不遠。本文探討新產品商品化的研發競爭, 假定存在兩個工程原理可以提供此新商品, 每個產品均有兩個模組, 產品的成本在部分改善之後就可以上市; 在前述架構下, 存在兩條可能路徑: 路徑 1 是由小幅落後陷入大幅落後, 路徑 2 是由小幅落後演變成勢均力敵, 本文要探討不同競爭路徑的社會福利。路徑的福利由效率效果與利潤消散效果所共同決定。路徑 1 看似由一種技術壟斷商品市場很長一段時間, 研發競爭也看似低迷, 但卻有高的效率效果與較低的利潤消散效果。路徑 2 的效率效果只有中等, 又受到利潤消散效果的干擾, 使其社會福利低於路徑 1。

如果兩模組降低成本之能力不同, 則廠商在兩模組的研發投資, 將會依模組降低成本能力的高低, 與對手所完成模組的種類, 來共同決定研發投資的力道。研發競爭的可能路徑將比本文更多, 值得我們更進一步去研究, 相信可讓我們對研發的動態競爭有更深一層的認識。

臺灣大學學術期刊資料庫

附錄 A.

輔理 1. 瞬間成功機率的近似值。

廠商 1 在狀態 (X, Y) 的預期利潤爲:

$$\begin{aligned} v_1(X,Y) = \int_{t=0}^{t=\infty} e^{-\lambda_1^A t} e^{-\lambda_1^B t} e^{-\lambda_2^C t} e^{-\lambda_2^D t} e^{-rt} \left(\pi_1(\varepsilon_1,\varepsilon_2) + \lambda_1^A v_1(X_1,Y)\right. \\ \left. +\lambda_1^B v_1(X_2,Y) + \lambda_2^C v_1(X,Y_1) + \lambda_2^D v_1(X,Y_2) - x_1^A - x_1^B\right) dt, \\ v_1(X,Y) = \left(\pi_1 + \lambda_1^A v_1(X_1,Y) + \lambda_1^B v_1(X_2,Y) + \lambda_2^C v_1(X,Y_1)\right. \\ \left. +\lambda_2^D v_1(X,Y_2) - x_1^A - x_1^B\right) / \left(\lambda_1^A + \lambda_1^B + \lambda_2^C + \lambda_2^D + r\right), \end{aligned} \tag{A1}$$

上式中, $X_1(X_2)$ 代表廠商 1 完成模組 $A(B)$ 之後的研發進度。$Y_1(Y_2)$ 爲廠商 2 完成模組 $C(D)$ 後的研發進度。$\pi_1(\varepsilon_1,\varepsilon_2)$ 爲廠商 1 在狀態 (X, Y) 的單位時間利潤, 當 $\varepsilon_1 = 0(\varepsilon_2 = 0)$, 則 $\pi_1(\varepsilon_1,\varepsilon_2) = 0(\pi_2(\varepsilon_1,\varepsilon_2) = 0)$。$\lambda_i^M$、$x_i^M$ 爲瞬間成功機率與單位時間研發支出, 下標 i 爲廠商, 上標 M 爲模組別; 其它符號的定義與本文相同。由式 (A1) 對 x_1^A 求一階條件 (FOC) 可得:

$$\begin{aligned} &\left(\lambda_1^{A'} v_1(X_1,Y) - 1\right)\left(\lambda_1^A + \lambda_1^B + \lambda_2^C + \lambda_2^D + r\right) \\ &\quad - \lambda_1^{A'}\left(\pi_1 + \lambda_1^A v_1(X_1,Y) + \lambda_1^B v_1(X_2,Y)\right. \\ &\quad \left. +\lambda_2^C v_1(X,Y_1) + \lambda_2^D v_1(X,Y_2) - x_1^A - x_1^B\right) = 0, \end{aligned}$$

將 $\lambda_1^{A'} = (1/2)(1/\lambda_1^A)$ 代入上式後整理可得:

$$\begin{aligned} &-\left(\lambda_1^A\right)^2 - 2\lambda_1^A\lambda_1^B + \left(\lambda_1^B\right)^2 - 2\lambda_1^A\left(\lambda_2^C + \lambda_2^D + r\right) \\ &+ r\left(v_1(X_1,Y) - \pi_1/r\right) + \left(\lambda_2^C + \lambda_2^D\right) v_1(X_1,Y) - \lambda_2^C v_1(X,Y_1) \\ &- \lambda_2^D v_1(X,Y_2) + \lambda_1^B\left(v_1(X_1,Y) - v_1(X_2,Y)\right) = 0, \end{aligned}$$

上式 $\lambda_1^A = \lambda_1^B$, $\lambda_2^C = \lambda_2^D$, 以及不論廠商完成那一個模組, 其預期利潤都相同, $v_1(X_1,Y) = v_1(X_2,Y)$, $v_1(X,Y_1) = v_1(X,Y_2)$, 在代入前述對稱條件之後, 上式可進一步簡化爲:

臺灣人學學術期刊資料庫

$$-k_1\left(\lambda_1^A\right)^2-\left(r+k_2\lambda_2^C\right)\left(2\lambda_1^A\right)+r\left(v_1\left(X_1,Y\right)-\pi_1/r\right)$$
$$+k_2\lambda_2^C\left(v_1\left(X_1,Y\right)-v_1\left(X,Y_1\right)\right)=0, \tag{A2}$$

上式中, $k_1=2(k_2=2)$ 代表廠商 1 (廠商 2) 尚未完成任何模組; $k_1=1(k_2=1)$ 則表示廠商已經完成一個模組。由式 (A2) 可解得:

$$\lambda_1^A=\left\{-\left(k_2\lambda_2^C+r\right)+\sqrt{Z}\right\}\Big/k_1, \tag{A3}$$

其中, $Z\equiv(k_2\lambda_2^C+r)^2+k_1(r(v_1(X_1,Y)-\pi_1/r)+k_2\lambda_2^C(v_1(X_1,Y)-v_1(X,Y_1)))$。

在上式中, 令 $w=v_1(X_1,Y)-\pi_1/r$, $u=k_2\lambda_2^C+r$, $s=v_1(X_1,Y)-v_1(X,Y_1)$, 則分子可改寫爲:

$$f(w)=-u+\left(u^2+k_1\left(rw+k_2\lambda_2^Cs\right)\right)^{\frac{1}{2}},$$

以下以 w 爲欲展開之變數, 將 $f(w)$ 對 w 在 $w=0$ 作一階泰勒展開 (Taylor expansion) 可得:

$$f(w)=f(0)+f'(0)w。$$

當 w 趨近於 0, 隱含 d 趨於 0, 這代表所有的單位時間利潤均趨於 0, 因此 s 也會趨於 0, 也讓 λ_2^C 均趨於 0, 因而 $f(0)=0$, 令 $z=d\lambda_2^C/dw$, 則:

$$f'(w)=-k_2z+\frac{1}{2}\frac{2k_2zu+k_1r+k_1k_2zs+k_2\lambda_2^C\frac{ds}{dw}}{\left(u^2+k_1\left(rw+k_2\lambda_2^Cs\right)\right)^{1/2}},$$
$$f'(0)=-k_2z+\frac{1}{2}\frac{2k_2zr+k_1r}{r}=\frac{k_1}{2},$$

將 $f(0)$、$f'(0)$ 代入 $f(w)$ 可得:

$$f(w)=\frac{k_1}{2}w。$$

將上式代回式 (A3) 的分子後可得:

$$\lambda_1^A=\lambda_1^B=\frac{w}{2}=\frac{v_1\left(X_1,Y\right)-\pi_1\left(\varepsilon_1,\varepsilon_2\right)/r}{2}。 \tag{A4}$$

同理可推得:

$$\lambda_2^C=\lambda_2^D=\frac{v_2\left(X,Y_1\right)-\pi_2\left(\varepsilon_1,\varepsilon_2\right)/r}{2}。 \tag{A5}$$

臺灣大學學術期刊資料庫

附錄 B.

輔理 2. 對所有 b 值, $x_4 > x_3$; 且 b 越大, $x_4 - x_3$ 也越大。

要了解 x_3 (式 (16)) 與 x_4 (式 (21)) 與 b 的關係, 需要先知道 x_5 與 b 的關係, 於是由表 1 的單位時間利潤, 代入式 (11) 之後整理可得:

$$\lambda_5 = \sqrt{x_5} = \frac{2(3-2b)}{\left(4-b^2\right)^2}\frac{d^2}{r}, \tag{B1}$$

上式對 b 的導數爲負, 代表 b 越大, λ_5 越小; 在 $b = 0$ 處, λ_5 等於 $0.375d^2/r$, 在 $b = 1$, λ_5 等於 $0.22d^2/r$。有前述結果, 以下分析 $\sqrt{x_3}$ 與 $\sqrt{x_4}$。

將式 (7) 之 λ_{25}^D 換成 λ_5, 然後將 $v_1(AB, C)$ 代入 $\sqrt{x_4}$ (式 (21)), 並代入廠商的均衡單位時間利潤 (參考表 1), 式 (21) 整理後可得:

$$\lambda_4 = \sqrt{x_4} = 2\left(\frac{(3-b)}{\left(4-b^2\right)^2} - \frac{\lambda_5}{\lambda_5 + r}\frac{b(2-3b/4)}{\left(4-b^2\right)^2}\right)\frac{d^2}{r}, \tag{B2}$$

上式括號內的第一項之最低點約發生在 $b = 0.4$ 之處。因 λ_5 隨 b 增加而遞減, 因此第二項的乘數在 b 的全域遞減, 被乘數則全域遞增, 因此第二項隨 b 增加, 而呈現小幅遞增; 然因第二項相當幅度小於第一項, 因此 λ_4 還是先遞減再遞增, 最小值發生在 b 稍大於 0.4 之處。在 $b = 0$, λ_4 等於 $0.375d^2/r$。接著由式 (B1) 知, r 越大, λ_5 越小, 式 (B2) 括號內的第二項的值, 相對於第一項就變得越小, 於是在 $b = 1$ 處, 由第一項可得 λ_4 的上限爲 $4d^2/9r$。

在式 (8) 中, 將 λ_{25}^D 換成 λ_5, 以及將 x_5^D 換成 λ_5^2, 並由表 1 代入單位時間利潤之後可得:

$$\begin{aligned}\lambda_3 = \sqrt{x_3} &= \frac{1}{2}v_2(AB, C)\\ &= \left(\frac{2(1-b)^2}{\left(4-b^2\right)^2} + \frac{\lambda_5}{\lambda_5 + r}\frac{(3-2b)}{\left(4-b^2\right)^2}\right)\frac{d^2}{r},\end{aligned} \tag{B3}$$

上式括號內的第一項在 b 的全域遞減, 第二項的乘數與被乘數也在 b 的全域遞減, 因此 λ_3 不但始終遞減, 而且遞減幅度大, 所以最大值發生在 $b =$

臺灣大學學術期刊資料庫

0。因 r 越大, λ_5 越小, λ_3 就跟著越小; 爲求得在 $b=0$ 處, λ_3 的上界, 於式 (B1) 中, 代入 r 的最大下界 (greatest lower bound) $2d/3$,[10] 可得 λ_5 在 $b=0$ 處的上界爲 $0.56d$, 代回式 (B3), 可得在 $b=0$, λ_3 最高可達 $0.31d$。而在 $b=1$, λ_5 最高可達 $(1/3)d$, 因此 λ_3 最高可達 $0.054d$。

將式 (B2) 減去式 (B3) 可得:

$$\lambda_4-\lambda_3=\left(\frac{4.5-2(0.5-b)^2}{\left(4-b^2\right)^2}-\frac{\lambda_5}{\lambda_5+r}\frac{3\left(1-0.25b^2\right)}{\left(4-b^2\right)^2}\right)\frac{d^2}{r}, \tag{B4}$$

當 b 越大, 上式第一項也越大; 第二項的乘數遞減, 被乘數遞增, 因此變化微小; 所以, 當 b 越大, $\lambda_4-\lambda_3$ 也越大。

附錄 C.

命題 1. $\forall\, b$, $SW^1 > SW^2$。

爲比較式 (33) 與式 (34) 的各項乘數, 將附錄 B 之式 (B3) 與 (B2) 重述如下:

$$\lambda_3=2\left(\frac{(1-b)^2}{\left(4-b^2\right)^2}+\frac{\lambda_5}{\lambda_5+r}\frac{(1.5-b)}{\left(4-b^2\right)^2}\right)\frac{d^2}{r}, \tag{B3}$$

$$\lambda_4=2\left(\frac{(3-b)}{\left(4-b^2\right)^2}-\frac{\lambda_5}{\lambda_5+r}\frac{b(2-3b/4)}{\left(4-b^2\right)^2}\right)\frac{d^2}{r}, \tag{B2}$$

由前面討論, 隨 b 越大, λ_3 不但始終遞減且遞減幅明顯; λ_4 呈現先遞減, 在 b 約爲 0.4 處再轉爲遞增。

由於 $r\geq\lambda_4\geq\lambda_5$, 式 (B2) 的第二項, 在 $b=0$, 其值爲 0; 隨 b 越大, 第二項的乘數越小, 被乘數的分子越大, 前兩者之積微幅遞增, 第二項明顯小於第一項, 忽略其第二項, 稍微提高 λ_4。忽略 λ_3 的第二項, 會稍微降低 λ_3。忽略各自的第二項, 會稍微高估 $(1/(2\lambda_3+r))SW_3-(1/(2\lambda_4+r))SW_4$, 但也會高估 $(2\lambda_4/(2\lambda_4+r)-2\lambda_3/(2\lambda_3+r))(1/(\lambda_5+r))SW_5$, 與 $(2\lambda_4/(2\lambda_4+r)-2\lambda_3/(2\lambda_3+r))(\lambda_5/(\lambda_5+r))SW_6/r$。因 $SW_6>SW_5>SW_3>SW_4$,

[10] 本文假設 r 需大於所有的瞬間機率, 而 $\sqrt{x_4}$ 在 $b=1$ 的最大可能值爲 $4e^2/9r$, 因此 r 需大於 $2d/3$ 才能滿足 $r\geq\sqrt{x_4}$。

臺灣大學學術期刊資料庫

忽略 λ_3 與 λ_4 的第二項會使 SW^2 的高估幅度大於 SW^1, 所以此作法可以大幅簡化分析, 卻不會影響本命題的結論。

1. 第一項之福利差距

由以下的討論可知, r 越大, 越加強本命題結論。由於 $r \geq 2d/3$, 以下令 r 等於其最小值 $2d/3$, 如此可求得在給定 b 值之下, $1/(2\lambda_3 + r)SW_3$ 與 $1/(2\lambda_4 + r)SW_4$ 的最小差距。首先, 當 $r = 2d/3$, 則:

$$\frac{1}{2\lambda_3 + r} = \frac{3}{2}\frac{\left(4 - b^2\right)^2}{9(1-b)^2 + \left(4 - b^2\right)^2}\frac{1}{d}, \tag{C1}$$

$$\frac{1}{2\lambda_4 + r} = \frac{3}{2}\frac{\left(4 - b^2\right)^2}{9(3-b) + \left(4 - b^2\right)^2}\frac{1}{d}。 \tag{C2}$$

由前面的結果知 $SW_3 = 1.5d^2$, $SW_4 = ((3+b)/(2+b)^2)d^2$; 結合式 (C1) 與式 (C2) 可得:

$$\frac{1}{2\lambda_3 + r}SW_3 = \frac{9}{4}\frac{\left(4 - b^2\right)^2}{9(1-b)^2 + \left(4 - b^2\right)^2}d, \tag{C3}$$

$$\frac{1}{2\lambda_4 + r}SW_4 = \frac{3}{2}\frac{(3+b)(2-b)^2}{9(3-b) + \left(4 - b^2\right)^2}d, \tag{C4}$$

$$\begin{aligned}\frac{1}{2\lambda_3 + r}SW_3 - \frac{1}{2\lambda_4 + r}SW_4 = \frac{3d}{4}(2-b)^2\Bigg(&\frac{3(2+b)^2}{9(1-b)^2 + \left(4 - b^2\right)^2} \\ &- \frac{2(3+b)}{9(3-b) + \left(4 - b^2\right)^2}\Bigg),\end{aligned} \tag{C5}$$

當 b 越大, 式 (C5) 之值也越大, 在 $b = 0$, 可得式 (C5) 的最小值爲 $1.02d$, 在 $b = 1$, 式 (C5) 之最大值爲 $2.03d$。

2. 第二項之福利差距

在 SW^1 (式 (33)) 與 SW^2 (式 (34)) 的第二項中, 代入簡化的 λ_3 與 λ_4, 以及 $r = 2d/3$, 可得:

臺灣大學學術期刊資料庫

$$\frac{2\lambda_3}{2\lambda_3+r}=\frac{9(1-b)^2}{9(1-b)^2+\left(4-b^2\right)^2}, \tag{C6}$$

$$\frac{2\lambda_4}{2\lambda_4+r}=\frac{9(3-b)}{9(3-b)+\left(4-b^2\right)^2}, \tag{C7}$$

$$\frac{2\lambda_4}{2\lambda_4+r}-\frac{2\lambda_3}{2\lambda_3+r} =\frac{9\left(2+b-b^2\right)\left(4-b^2\right)^2}{\left(9(1-b)^2+\left(4-b^2\right)^2\right)(9(3-b)+\left(4-b^2\right)^2)}, \tag{C8}$$

b 越大, 式 (C8) 呈現微幅遞增, 在 $b=0$, 其值爲 0.27, 在 $b=1$, 其值增爲 2/3。利用式 (B1) 與式 (38), 可得狀態 5 的停留時間與瞬間福利分別爲:

$$\frac{1}{\lambda_5+r}=\frac{3\left(4-b^2\right)^2}{9(3-2b)+2\left(4-b^2\right)^2}\frac{1}{d}, \tag{C9}$$

$$SW_5=\frac{30-16b-2.5b^2+2b^3}{\left(4-b^2\right)^2}, \tag{C10}$$

$$\frac{1}{\lambda_5+r}SW_5=\frac{3\left(30-16b-2.5b^2+2b^3\right)}{59-18b-16b^2+2b^4}d。 \tag{C11}$$

上式代表停留在狀態 5 可獲得的社會福利, 上式先微幅遞減, 再轉爲微幅遞增, 在 $b=0$, 上式之值爲 $1.5d^2$, 在 $b=1$, 上式之值也爲 $1.5d^2$。

綜合前兩段結果, 可知路徑 2 的第二項減去路徑 1 的第二項, 兩者差距, 在 $b<0.9$, 呈現微幅遞增, 在 b 大於 0.9, 轉爲呈現較大幅遞增; 在 $b=0$, 可得其值爲 $0.4d$, 在 $b=1$, 其值爲 d。

3. 第三項之福利差距

利用式 (B1), 可知兩路徑第三項共同的乘數爲:

$$\frac{\lambda_5}{\lambda_5+r}=\frac{9(3-2b)}{9(3-2b)+2\left(4-b^2\right)^2}, \tag{C12}$$

因 b 越大, λ_5 越小, 所以式 (C12) 之值越小, 在 $b=0$, 其值爲 0.46, 在 $b=1$, 其值爲 1/3。由式 (39) 可得到 SW_6/r 隨 b 越大而呈現遞減, 在 b=0, $SW_6/r=3d^2/r$, 在 $b=1$, $SW_6/r=1.78d^2/r$。由前述兩個結果可

臺灣大學學術期刊資料庫

知 $(SW_6/r)\lambda_5/(\lambda_5+r)$ 呈現遞減, 在 $b=0$, 其值爲 $1.4d^2/r$, 在 $b=1$, 其值等於 $0.6d^2/r$。結合式 (C8) 的結果, 可知福利第三項的差距, 在 $b=0$, 可得其值爲 $0.46d$, 在 $b=1$, 其值爲 $0.6d$。

4. 研發成本之差距

路徑 2 與路徑 1 之研發成本差距爲:

$$\frac{2x_4}{2\lambda_4+r}+\frac{2\lambda_4}{2\lambda_4+r}\frac{x_5}{\lambda_5+r}-\frac{2x_3}{2\lambda_3+r}-\frac{2\lambda_3}{2\lambda_3+r}\frac{x_5}{\lambda_5+r}$$
$$=\left(\lambda_4\frac{2\lambda_4}{2\lambda_3+r}-\lambda_3\frac{2\lambda_3}{2\lambda_3+r}\right)+\lambda_5\frac{\lambda_5}{\lambda_5+r}\left(\frac{2\lambda_4}{2\lambda_3+r}-\frac{2\lambda_3}{2\lambda_3+r}\right),$$

上式第一項遞增, 在 $b=0$, 可得其值爲 $0.23d$, 在 $b=1$, 其值爲 $0.44d$, 第二項緩和遞減, 在 $b=0$, 可得其值爲 $0.06d$, 在 $b=1$, 其值爲 $0.04d$。所以, 路徑 2 的研發成本高於路徑 1, 在 $b=0$, 差距約爲 $0.3d$, 在 $b=1$, 差距約爲 $0.48d$。

5. 二路徑福利之差距

歸納上面四小節的討論, 可知在任何 b 值, $SW^1 > SW^2$ 都成立, 且隨 b 越大, 兩者的差距逐漸擴大; 在 $r=2d/3$ 的條件下, 當 $b=0$, 兩者差距爲 $0.46d$, 在 $b=1$, 其值爲 $0.92d$。

由於 r 越大, SW_6/r 越小, $\lambda_5/(\lambda_5+r)$ 也越小, 而 SW_6 爲所有瞬間福利中的最大者, 因此路徑 2 與路徑 1 在第三項的差距會大幅縮小, 且由式 (B2) 與 (B3) 可知, r 變大, λ_4 降低幅度較 λ_3 明顯, 這又使 $2\lambda_4/(2\lambda_4+r)-2\lambda_3/(2\lambda_3+r)$ 縮小, 從而使第二與第三項差距縮小, SW^1-SW^2 的值更形提高, 所以 r 變大, $SW^1 > SW^2$ 依然成立。

參考文獻

陳正倉, 林惠玲, 陳忠榮, 與莊春發 (2003), 《產業經濟學》, 台北: 雙葉書廊有限公司。(Chen, Cheng-Cang and Hui-Lin Lin and Jong-Rong Chen and Chen Fa Chung (2003), *Industrial Economics*, Taipei: Yeh Yeh Book Gallery.)

臺灣大學學術期刊資料庫

Chang, Ray-Yun and Cheng-Hau Peng (2013), "Comparing Bertrand and Cournot Competition in a Differentiated Duopoly with Technology Licensing," Taiwan Economic Association 2013 Annual Conference.

Doraszelski, Ulrich (2003), "An R&D Race with Knowledge Accumulation," *RAND Journal of Economics*, 34, 20–42.

Fershtman, Chaim and Morton I. Kamien (1992), "Cross Licensing of Complementary Technologies," *International Journal of Industrial Organization*, 10, 329–348.

Forsfuri, Andrea (2006), "The Licensing Dilemma: Understanding the Determinants of the Rate of Technology Licensing," *Strategic Management Journal*, 27, 1141–1158.

Fudenberg, Drew, Richard Gilbert, Joseph Stiglitz, and Jean Tirole (1983), "Preemption, Leapfrogging and Competition in Patent Races," *European Economic Review*, 22, 3–31.

Grossman, Gene M. and Carl Shapiro (1987), "Dynamic R&D Competition," *Economic Journal*, 97, 372–387.

Kabiraj, Tarun (2007), "On the Incentive for Cooperative Research," *Research in Economic*, 61, 17–23.

Poyago-Theotoky, Joanna (1997), "Research Joint Ventures and Product Innovation: Some Welfare Aspects," *Economics of Innovation and New Technology*, 5, 51–73.

Reinganum, Jennifer F. (1982), "A Dynamic Game of R and D: Patent Protection and Competitive Behavior," *Econometrica*, 50, 671–688.

Shintaku, Junjiro, Koichi Ogawa, and Tetsuo Yoshimoto (2006), "Architecturebased Approaches to International Standardization and Evolution of Business Models," Manufacturing Management Research Center Discussion Paper, No. 96.

Singh, Nirvikar and Xavier Vives (1984), "Price and Quantity Competition in a Differentiated Duopoly," *RAND Journal of Economics*, 75, 546–554.

Tirole, Jean (1988), *The Theory of Industrial Organization*, Cambridge, MA: MIT Press.

Ulrich, Karl (1995), "The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm," *Research Policy*, 24, 419–440.

Yin, Xiangkang and Ehud Zuscovitch (1995), "Research Joint Venture and R&D Competition under Uncertain Innovation," *Economies et Sociétés*, 29, 139–161.

臺灣大學學術期刊資料庫

投稿日期: 2014年2月14日, 接受日期: 2014年9月3日

Dynamic R&D Competition with Multiple Technologies

Hsueh-Jen Hsu

College of Management, Yuan Ze University

The literature discussing R&D competition focuses on the case of a single product technology and compares R&D intensity between various dynamic routes. However, the literature ignores the fact that the social welfare produced by the different routes is roughly equal. This paper explores a product commercialization R&D competition in which firms attempt to reduce the cost of a new product so it can be commercialized. The social welfare produced by two possible routes is compared assuming two technologies to provide a product consisting of two modules. On one path one firms leads in lowering the price of both modules and on the other each firm leads in lowering the cost of one module. This paper finds that the social welfare of a path is determined by the relative importance of the efficiency effect and the profit dissipation effect. On path one, there is weaker competition in R&D and the product market, but path one produces higher social welfare because it has both a higher efficiency effect and a lower profit dissipation effect.

Keywords: R&D competition, two technologies, two modules, efficiency effect, profit dissipation effect

JEL classification: D43, O31, O32

臺灣大學學術期刊資料庫