

<https://doi.org/10.52288/jbi.26636204.2021.07.14>

搭便車行為下多品牌多渠道的供應鏈博弈 Multi-brand and Multi-channel Supply Chain Game under Free-riding Behavior

張有中^{1*}
Yu-Chung Chang

摘要

網絡渠道的發展，造成了以網絡為主要銷售渠道的網貨品牌興起，也使得傳統品牌紛紛從零售模式開展網絡渠道成為雙渠道模式，整個零售市場發展成為傳統品牌雙渠道模式、BOPS 模式與網貨品牌直銷模式的多種品牌不同渠道競爭市場。本文研究競爭市場中的雙渠道供應鏈、網絡直銷供應鏈與網絡下單門市速提的 BOPS 供應鏈，在搭便車行為影響下的定價博弈模型，得到供應鏈的成員在分散式決策與集中式決策下的最優定價策略，並發現各博弈方的最優定價，是關於渠道交叉及品牌交叉價格彈性係數的增函數，且渠道競爭的影響較品牌競爭更為顯著。搭便車行為確實會影響最優定價及最優利潤，網絡渠道可藉由搭便車行為獲利，零售渠道則因搭便車行為遭受損失。

關鍵詞：雙渠道供應鏈、品牌競爭、搭便車行為、網絡下單門市速提、定價

Abstract

The development of network channels has caused the rise of online brands with network as the main sales channel, and also made traditional brands develop network channels from retail mode to dual channel mode. The whole retail market has developed into a traditional brand dual-channel model, BOPS model and online brand direct sales model of a variety of brands different channels to compete in the market. This paper studies the pricing model of the competitive market with the dual-channel supply chain, the online direct sales supply chain and the supply chain of buy online and pick up in-store (BOPS) under the free-riding behavior, and then obtains the optimal pricing strategies of decentralized decision-making and centralized decision-making of each game player of the three supply chains. We also obtain that the optimal pricing of each game player is an increasing function of channel cross price elasticity coefficient and the brand cross price elasticity coefficients. Furthermore, the influence of channel competition is more significant than the brand competition. The optimal pricing and expected profits of each game player are influenced by free-riding behavior.

Keywords: Dual-channel Supply Chain, Brand Competition, Free-riding Behavior, Buy Online and Pick up in Store, Pricing

¹ 廈門大學嘉庚學院信息科學與技術學院副教授 2933662796@qq.com*通訊作者

1. 引言

《中國網絡零售 B2C 市場季度監測報告 2020 年第 1 季度》數據顯示，2020 年第 1 季度，中國網絡零售 B2C 市場交易規模為 12,522.6 億元人民幣，同比增長 6.2%（易觀國際，2020）。網絡渠道的發展造成了以網絡為主要銷售渠道的網貨品牌興起，也使得傳統品牌紛紛從零售模式開展網絡渠道成為雙渠道模式；而在雙渠道模式的競爭中，更出現了提供消費者快捷服務的同時，增加更好消費體驗的網絡下單門市速提（buy online and pick up in store, BOPS）模式，通過將消費者引流到線下零售商店、線上線下同步優惠、增加消費體驗、提高服務等方式觸發消費者購物衝動，帶來額外消費。整個零售市場發展成為傳統品牌雙渠道模式、BOPS 模式與網貨品牌直銷模式的多種品牌不同渠道競爭市場。

Chiang (2003) 認為定價決策問題一直是雙渠道供應鏈中最廣泛被研究的問題；Chiu (2011) 發現雙渠道供應鏈環境下的消費者，可以在不同渠道之間進行轉換，滿足購買需求。針對雙渠道供應鏈的研究，考慮服務質量（孔慶山等，2012）、搭便車行為（李景峰等，2017）或其他因素（Hua，2010）對定價的影響的研究文獻很多；如何實現供應鏈的協調，提升供應鏈的整體績效，更是學者研究的重點（馬鵬與王海燕，2015）。

Carlton & Chevalier (2001) 認為零售商的努力會促使搭便車行為的發生，當零售商在實體商店展示並且積極為商品打廣告時，被產品吸引的消費者卻可能會有一部分，在價格較低的商店進行購買；消費者的這種行為會削弱零售商銷售努力的積極性，對製造商的決策造成影響。Wu 等 (2004) 則對搭便車行為持肯定態度，認為搭便車行為有利於消費者使用信息服務作出明智的購買決定，獲得更高的消費者效用；Shin (2007) 認為消費者搭便車行為，對傳統零售商和消費者都是有利的，搭便車行為可以降低網絡直銷渠道和傳統渠道之間的價格差異，從而降低整個市場價格競爭的強度；Cai (2010) 對網絡直銷渠道與傳統品牌雙渠道下，供貨商與零售商的收益進行比較，並以收益分享的契約實現供應鏈的協調，提升雙渠道供應鏈的績效。這些研究大多建立在兩個競爭者的假設前提下，未考慮市場上存在第三個以上的競爭者。

移動互聯網的普及和移動應用的創新發展，促使國際知名快時尚品牌 Zara、優衣庫等企業近年來紛紛開始進行變革，線上下單門市速提 BOPS 實現管道整合的全管道購物模式應運而生；Brynjolfsson (2013) 認為這種渠道整合模式可以充分發揮傳統企業的線下優勢；Gallino (2014) 通過實證分析 BOPS 模式對供應鏈及成員的影響，並討論交叉銷售和管道轉移效應，證實 BOPS 模式對供應鏈的協調績效良好。

本研究嘗試擴大思考多品牌競爭下，擁有不同渠道的供應鏈應如何進行定價與協調，考慮三種品牌供應鏈分別採用零售與網絡雙渠道、BOPS 雙渠道及網絡直銷渠道方式，各博弈方的定價策略。

2. 模型建立

2.1 問題描述

本文考慮如圖 1 所示的供應鏈結構，由三個品牌製造商和兩個零售商組成。

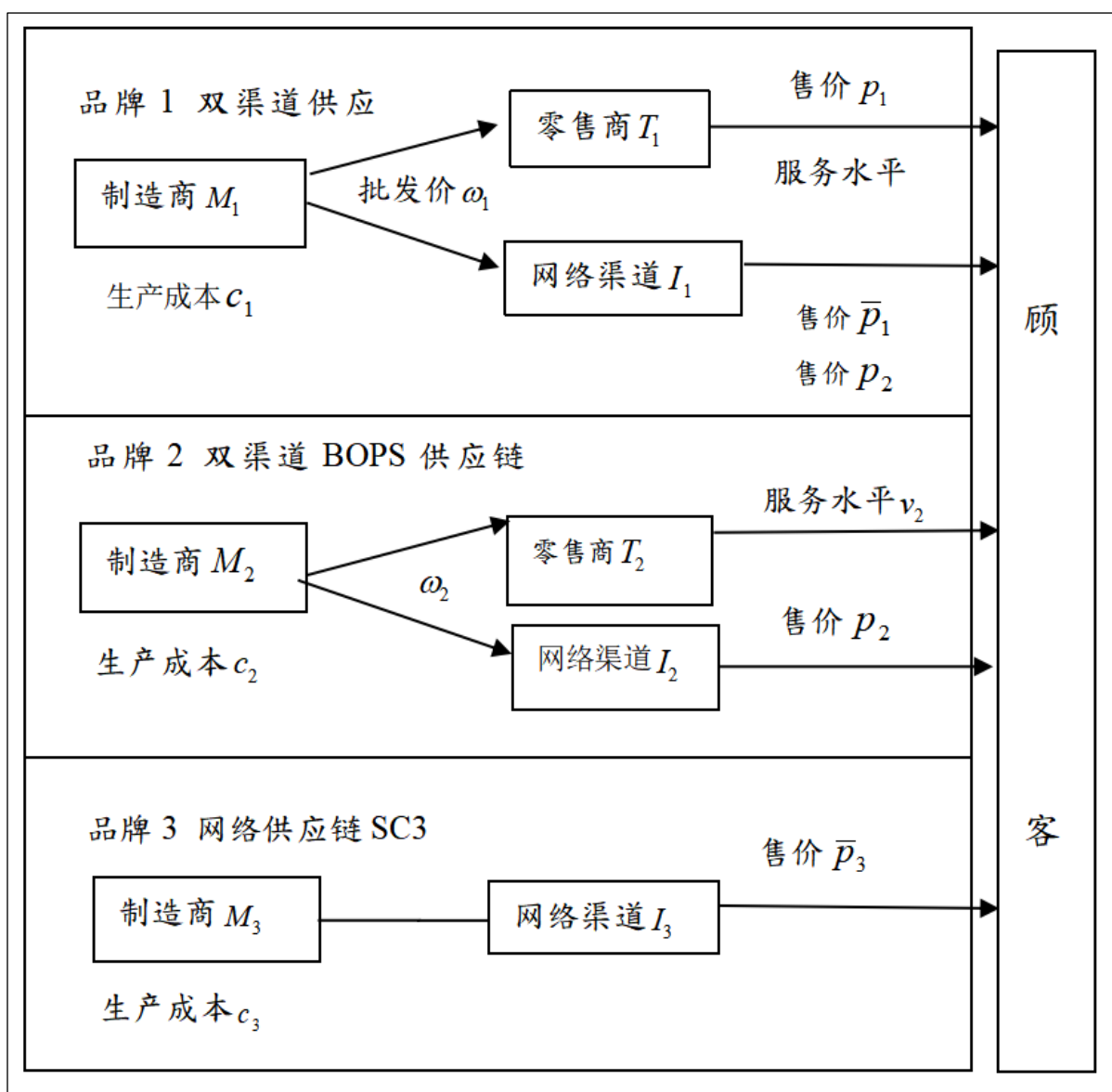


圖 1. 多品牌競爭下不同渠道供應鏈

品牌 1 製造商 M_1 擁有雙渠道供應鏈 SC1，以零售渠道透過零售商 T_1 販賣產品，並以網絡直銷渠道販賣產品；品牌 2 製造商 M_2 同樣擁有雙渠道供應鏈 SC2，採取線上線下同步優惠、網絡下單門市速提（BOPS）的策略；品牌 3 製造商 M_3 擁有供應鏈 SC3 只透過網絡渠道販賣產品。三個製造商的產品可以互相取代，生產成本為 c_i ， $i = 1, 2, 3$ 。SC1 零售商 T_1 進貨的批發價為 ω_1 ，販賣價格為 p_1 ，網絡渠道販賣價格為 $\bar{p}_1$ ；SC2 線上線下價格同步為 p_2 ，SC3 網絡渠道販賣價格為 $\bar{p}_3$ 。

2.2 基本假設

為了使模型更加嚴謹，本文作如下假設：

假設 1：所有製造商與零售商都是理性經理人，保持風險中立，為了保證各企業的基本營利狀態，假設 $0 < c_i < \omega_i < p_i$ ($i = 1, 2$)， $0 < c_1 < \bar{p}_1$ ， $0 < c_3 < \bar{p}_3$ ；

假設 2：假設 α 為 SC1 雙渠道供應鏈中的渠道交叉彈性係數，代表雙渠道供應鏈中某種渠道的產品需求量，對另一渠道產品價格變動的反應靈敏程度，因此 $0 < \alpha < 1$ ；另外 SC2 雙渠道供應鏈中價格同步為 p_2 ，因此不存在渠道交叉彈性係數；

假設 3：假設 β_{ij} 為品牌 i 與品牌 j 網絡渠道的品牌交叉價格彈性係數，所謂品牌交叉價格彈性係數是同一種渠道中，某種品牌的產品需求量對另一種品牌同構型產品價格變動的反應靈敏程度，因此 $0 < \beta_{ij} < 1$ 且 $\beta_{ij} = \beta_{ji}$ ；

假設 4：因為零售渠道提供更多種類的服務，例如現場講解、產品體驗等，因此假設只有零售渠道提供服務，網絡渠道不提供服務，零售商 T_i 對產品提供的服務水平 v_i 需付出的成本為 $c(v_i) = \frac{1}{2}\eta_i v_i^2$ ，其中 $\eta_i > 0$ 為零售商 T_i 對產品的單位服務成本；

假設 5：SC2 供應鏈實行 BOPS，製造商和零售商進行定價與服務合作，製造商先將線上消費者引流至線下，並向零售商支付 BOPS 消費者相應的單位服務補償 $\Gamma > 0$ 。若製造商生產 2 單位產品，若一單位批發給零售商可獲利 $\omega_2 - c_2$ ，一單位由製造商透過網絡渠道販賣可獲利 $p_2 - c_2$ ，共獲利 $p_2 + \omega_2 - 2c_2$ ，扣除單位服務補償 Γ 後應為正數，即 $p_2 + \omega_2 - 2c_2 - \Gamma > 0$ 。而零售商除原本的銷售之外，對 BOPS 消費者提供服務 v_2 ，促使在線消費者在零售商店產生額外消費 ρv_2 ，額外消費係數 ρ 滿足 $0 < \rho < 1$ ；

假設 6：SC1 網絡渠道對製造商 i 零售渠道產品的搭便車行為係數為 $\lambda_i > 0$ ，SC2 網絡渠道的搭便車行為係數為 $\mu_i > 0$ ，SC3 網絡渠道的搭便車行為係數為 $\kappa_i > 0$ ($i = 1, 2$)。假設 $1 - \lambda_i - \mu_i - \kappa_i > \lambda_i, \mu_i, \kappa_i$ ($i = 1, 2$)，表示 SC1，SC2 零售渠道提供服務所創造的需求總增量大於搭便車行為帶來的需求總增量。

2.3 需求函數

本文參考 Banker (1998)、Huang (2007) 等文獻中基於價格、服務敏感、搭便車行為係數的線性需求函數，及品牌忠誠度和消費者價格敏感度關係的相關文獻，建立 2 個零售商及 3 個製造商的需求函數：

$$Q_1 = a_1 - b_1 p_1 + \alpha \bar{p}_1 + \alpha \beta_{12} p_2 + \alpha \beta_{13} \bar{p}_3 + (1 - \lambda_1 - \mu_1 - \kappa_1) v_1 \quad (1)$$

$$\bar{Q}_1 = \bar{a}_1 - \bar{b}_1 \bar{p}_1 + \alpha p_1 + \beta_{12} p_2 + \beta_{13} \bar{p}_3 + \lambda_1 v_1 + \lambda_2 v_2 \quad (2)$$

$$Q_2 = \theta a_2 - b_2 p_2 + \alpha \beta_{12} p_1 + \beta_{12} \bar{p}_1 + \beta_{23} \bar{p}_3 + (1 - \lambda_2 - \mu_2 - \kappa_2) v_2 \quad (3)$$

$$\bar{Q}_2 = (1 - \theta) a_2 - b_2 p_2 + \alpha \beta_{12} p_1 + \beta_{12} \bar{p}_1 + \beta_{23} \bar{p}_3 + \mu_1 v_1 + \mu_2 v_2 \quad (4)$$

$$\bar{Q}_3 = \bar{a}_3 - \bar{b}_3 \bar{p}_3 + \alpha \beta_{13} p_1 + \beta_{13} \bar{p}_1 + \beta_{23} p_2 + \kappa_1 v_1 + \kappa_2 v_2 \quad (5)$$

其中 Q_1, Q_2 為供應鏈SC1, SC2零售渠道的產品需求函數； $\bar{Q}_1, \bar{Q}_2, \bar{Q}_3$ 為供應鏈SC1, SC2, SC3網絡渠道的產品需求函數。假設 $a_1, \bar{a}_1, (1-\theta)a_2, \theta a_2, \bar{a}_3$ 為正數並且是穩定的，分別代表與 $Q_1, \bar{Q}_1, Q_2, \bar{Q}_2, \bar{Q}_3$ 相對應的潛在市場規模， θ ($0 < \theta < 1$) 為供應鏈SC2中零售渠道的份額（即顧客對零售渠道的接受度）， $1-\theta$ 為網絡渠道的份額。品牌1消費者對零售渠道與網絡渠道產品的自價格敏感度為 $b_1, \bar{b}_1$ ，品牌2因實施BOPS，網絡渠道與零售渠道的價格一致，因此品牌2消費者對產品的自價格敏感度皆為 b_2 ，品牌3只有網絡渠道，因此品牌3消費者的自價格敏感度為 $\bar{b}_3$ ，假設消費者對品牌 i 零售與網絡渠道產品的自價格敏感度 $b_i > 1, \bar{b}_i > 1$ ，並且假設 $b_i, \bar{b}_i > \alpha, \beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$ ，表示產品本身的價格對需求量的影響大於品牌間及渠道間交叉價格的影響。

2.4 利潤函數

根據問題描述、基本假設和需求函數，零售商 T_1 、製造商 M_1 、零售商 T_2 、製造商 M_2 、製造商 M_3 的總利潤函數如下：

$$\pi_{T_1} = (p_1 - \omega_1) Q_1 - \frac{1}{2} \eta_1 v_1^2 \quad (6)$$

$$\pi_1 = (\omega_1 - c_1) Q_1 + (\bar{p}_1 - c_1) \bar{Q}_1 \quad (7)$$

$$\pi_{T_2} = (p_2 - \omega_2) Q_2 + \Gamma \bar{Q}_2 + \rho v_2 \bar{Q}_2 - \frac{1}{2} \eta_2 v_2^2 \quad (8)$$

$$\pi_2 = (\omega_2 - c_2) Q_2 + (p_2 - c_2 - \Gamma) \bar{Q}_2 \quad (9)$$

$$\pi_3 = (\bar{p}_3 - c_3) \bar{Q}_3 \quad (10)$$

其中 $\rho v_2 \bar{Q}_2$ 是SC2在線消費者因零售渠道對BOPS消費者提供服務 v_2 ，促使在線消費者在零售渠道產生的平均額外消費，因此只與 $\bar{Q}_2$ 有關， ρ 是平均額外消費係數。三個供應鏈的整體利潤分別為：

$$\pi_{SC1} = \pi_1 + \pi_{T_1} = (p_1 - c_1) Q_1 + (\bar{p}_1 - c_1) \bar{Q}_1 - \frac{1}{2} \eta_1 v_1^2 \quad (11)$$

$$\pi_{SC2} = \pi_2 + \pi_{T_2} = (p_2 - c_2) Q_2 + (p_2 - c_2) \bar{Q}_2 + \rho v_2 \bar{Q}_2 - \frac{1}{2} \eta_2 v_2^2 \quad (12)$$

$$\pi_{SC3} = \pi_3 = (\bar{p}_3 - c_3) \bar{Q}_3 \quad (13)$$

3. 搭便車行為下三個品牌不同渠道供應鏈定價決策

3.1 分散式決策

假設三個品牌製造商和兩個零售商的五個博弈方具有同等的價格決策地位，以自身利潤最大化為目標進行Nash博弈，最優價格分別以 $p_1^*, \bar{p}_1^*, p_2^*, \bar{p}_3^*$ 表示。由矩

陣分析的方法，有以下輔助定理（Horn，2012）：

輔理1. $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 為嚴格對角優勢矩陣，即 $|a_{ii}| > \sum_{j=1, j \neq i}^n a_{ij}$ ，則 A 是可逆的。

輔理2. 給定線性方程組 $AX = b$ ，其中矩陣 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 的主對角線元素為正，即 $a_{ii} > 0, i = 1, 2, \dots, n$ ，非主對角線元素非正，即 $a_{ij} \leq 0, i \neq j, j = 1, 2, \dots, n$ ，且 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 為嚴格對角優勢矩陣。如果 $b \geq 0$ ，則方程組有非負解，即 $X \geq 0$ 。

【定理1】分散式決策下，若品牌1消費者的自價格敏感度 b_1 、 $\bar{b}_1$ ，品牌2消費者的自價格敏感度 b_2 ，品牌3消費者的自價格敏感度 b_3 ，與渠道交叉彈性係數 α 及品牌交叉價格彈性係數 β_{12} 、 β_{13} 、 β_{23} 之間的關係滿足：

$$\begin{aligned} b_1 &> \frac{\alpha}{2}(1 + \beta_{12} + \beta_{13}), & \bar{b}_1 &> \frac{1}{2}(\alpha + \beta_{12} + \beta_{13}), \\ b_2 &> \frac{1}{2}[(1 + \alpha)\beta_{12} + \beta_{23}], & \bar{b}_3 &> \frac{1}{2}[(1 + \alpha)\beta_{13} + \beta_{23}], \end{aligned}$$

且搭便車行為及SC2在線消費者因零售商提供服務 v_2 ，而產生的額外消費 ρv_2 滿足

$$\mu_1 v_1 + (1 - \lambda_2 - \kappa_2)v_2 + a_2 + 2b_2 c_2 \geq b_2 \rho v_2$$

則製造商 M_1 、零售商 T_1 、製造商 M_2 、零售商 T_2 、製造商 M_3 存在最優定價 p_1^* 、 $\bar{p}_1^*$ 、 p_2^* 、 $\bar{p}_2^*$ 、 p_3^* 。在最優定價下，SC2供應鏈製造商向零售商支付BOPS的單位服務補償為：

$$\Gamma^* = \omega_2 - c_2 + \frac{-\mu_1 v_1 + (1 - \lambda_2 - 2\mu_2 - \kappa_2 - b_2 \rho)v_2 - (1 - 2\theta)a_2}{2b_2} \quad (14)$$

且最優定價如下：

$$\begin{aligned} p_1^* = \frac{1}{|A|} \{ & N_1 [8\bar{b}_1 b_2 \bar{b}_3 - 2\beta_{23}^2 \bar{b}_1 - 2\beta_{13}^2 b_2 - 2\beta_{12}^2 \bar{b}_3 - 2\beta_{12}\beta_{13}\beta_{23}] \\ & + N_2 [\alpha (4b_2 \bar{b}_3 + 2\beta_{13}^2 b_2 + 2\beta_{12}^2 \bar{b}_3 + 2\beta_{12}\beta_{13}\beta_{23} - \beta_{23}^2)] \\ & + N_3 [\alpha (4\beta_{12} \bar{b}_1 \bar{b}_3 + 2\beta_{13}\beta_{23} \bar{b}_1 + 2\beta_{12} \bar{b}_3 + \beta_{13}\beta_{23})] \\ & + N_4 [\alpha (4\beta_{13} \bar{b}_1 b_2 + 2\beta_{12}\beta_{23} \bar{b}_1 + 2\beta_{13} b_2 + \beta_{12}\beta_{23})] \} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \bar{p}_1^* = \frac{1}{|A|} \{ & N_1 [\alpha (4b_2 \bar{b}_3 + 2\beta_{13}^2 b_2 + 2\beta_{12}^2 \bar{b}_3 + 2\beta_{12}\beta_{13}\beta_{23} - \beta_{23}^2)] \\ & + N_2 [8b_1 b_2 \bar{b}_3 - 2\beta_{23}^2 b_1 - 2\alpha^2 \beta_{13}^2 b_2 - 2\alpha^2 \beta_{12}^2 \bar{b}_3 - 2\alpha^2 \beta_{12}\beta_{13}\beta_{23}] \\ & + N_3 [4\beta_{12} b_1 \bar{b}_3 + 2\beta_{13}\beta_{23} b_1 + 2\alpha^2 \beta_{12} \bar{b}_3 + \alpha^2 \beta_{13}\beta_{23}] \} \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned}
& +N_4[4\beta_{13}b_1b_2 + 2\beta_{12}\beta_{23}b_1 + 2\alpha^2\beta_{13}b_2 + \alpha^2\beta_{12}\beta_{23}] \} \\
p_2^* = \frac{1}{|A|} \{ & N_1[\alpha (4\beta_{12}\bar{b}_1\bar{b}_3 + 2\beta_{13}\beta_{23}\bar{b}_1 + 2\beta_{12}\bar{b}_3 + \beta_{13}\beta_{23})] \\
& +N_2[4\beta_{12}b_1\bar{b}_3 + 2\beta_{13}\beta_{23}b_1 + 2\alpha^2\beta_{12}\bar{b}_3 + \alpha^2\beta_{13}\beta_{23}] \\
& +N_3[8b_1\bar{b}_1\bar{b}_3 - 2\beta_{13}^2b_1 - 2\alpha^2\beta_{13}^2\bar{b}_1 - 2\alpha^2\bar{b}_3 - 2\alpha^2\beta_{13}^2] \quad (17) \\
& +N_4[4\beta_{23}b_1\bar{b}_1 + 2\beta_{12}\beta_{13}b_1 + 2\alpha^2\beta_{12}\beta_{13}\bar{b}_1 + 2\alpha^2\beta_{12}\beta_{13} - \alpha^2\beta_{23}] \}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{p}_3^* = \frac{1}{|A|} \{ & N_1[\alpha (4\beta_{13}\bar{b}_1b_2 + 2\beta_{12}\beta_{13}\bar{b}_1 + 2\beta_{13}b_2 + \beta_{12}\beta_{23})] \\
& +N_2[4\beta_{13}b_1b_2 + 2\beta_{12}\beta_{23}b_1 + 2\alpha^2\beta_{13}b_2 + \alpha^2\beta_{12}\beta_{23}] \\
& +N_3[4\beta_{23}b_1\bar{b}_1 + 2\beta_{12}\beta_{13}b_1 + 2\alpha^2\beta_{12}\beta_{13}\bar{b}_1 + 2\alpha^2\beta_{12}\beta_{13} - \alpha^2\beta_{23}] \quad (18) \\
& +N_4[8b_1\bar{b}_1b_2 - 2\beta_{12}^2b_1 - 2\alpha^2\beta_{12}^2\bar{b}_1 - 2\alpha^2b_2 - 2\alpha^2\beta_{12}^2] \}
\end{aligned}$$

$$\text{其中 } N = \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \\ N_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1 - \lambda_1 - \mu_1 - \kappa_1)v_1 + a_1 + b_1\omega_1 \\ \lambda_1v_1 + \lambda_2v_2 + \bar{a}_1 + \alpha(\omega_1 - c_1) + \bar{b}_1c_1 \\ \frac{1}{2}\mu_1v_1 + \frac{1}{2}(1 - \lambda_2 - \kappa_2 - b_2\rho)v_2 + \frac{1}{2}a_2 + b_2c_2 \\ \kappa_1v_1 + \kappa_2v_2 + \bar{a}_3 + \bar{b}_3c_3 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$A = \begin{bmatrix} 2b_1 & -\alpha & -\alpha\beta_{12} & -\alpha\beta_{13} \\ -\alpha & 2\bar{b}_1 & -\beta_{12} & -\beta_{13} \\ -\alpha\beta_{12} & -\beta_{12} & 2b_2 & -\beta_{23} \\ -\alpha\beta_{13} & -\beta_{13} & -\beta_{23} & 2\bar{b}_3 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$|A|$ 為矩陣 A 之行列式值。

證明：分別求各博弈方的利潤函數（6）～（10）對各自決策變數 p_1 、 $\bar{p}_1$ 、 p_2 、 $\bar{p}_3$ 的二階導數可得：

$$\begin{aligned}
\frac{\partial^2 \pi_{T1}}{\partial p_1^2} &= -2b_1 < 0, & \frac{\partial^2 \pi_1}{\partial \bar{p}_1^2} &= -2\bar{b}_1 < 0, & \frac{\partial^2 \pi_{T2}}{\partial p_2^2} &= -2b_2 < 0, \\
\frac{\partial^2 \pi_2}{\partial p_2^2} &= -2b_2 < 0, & \frac{\partial^2 \pi_3}{\partial \bar{p}_3^2} &= -2\bar{b}_3 < 0,
\end{aligned}$$

各博弈方的二階導數均小於零，即各方利潤函數都是關於各自價格的凹函數，因此存在Nash均衡價格。

再令各方利潤函數的一階導數為零，可得到最優化條件：

$$2b_1p_1^* - \alpha\bar{p}_1^* - \alpha\beta_{12}p_2^* - \alpha\beta_{13}\bar{p}_3^* = (1 - \lambda_1 - \mu_1 - \kappa_1)v_1 + a_1 + b_1\omega_1 \quad (21)$$

$$-\alpha p_1^* + 2\bar{b}_1\bar{p}_1^* - \beta_{12}p_2^* - \beta_{13}\bar{p}_3^* = \lambda_1 v_1 + \lambda_2 v_2 + \bar{a}_1 + \alpha(\omega_1 - c_1) + \bar{b}_1 c_1 \quad (22)$$

$$-\alpha \beta_{12}p_1^* - \beta_{12}\bar{p}_1^* + 2b_2p_2^* - \beta_{23}\bar{p}_3^* = (1 - \lambda_2 - \mu_2 - \kappa_2 - b_2\rho)v_2 + \theta a_2 + b_2(\omega_2 - \Gamma^*) \quad (23)$$

$$-\alpha \beta_{12}p_1^* - \beta_{12}\bar{p}_1^* + 2b_2p_2^* - \beta_{23}\bar{p}_3^* = \mu_1 v_1 + \mu_2 v_2 + (1 - \theta)a_2 + b_2(2c_2 - \omega_2 + \Gamma^*) \quad (24)$$

$$-\alpha \beta_{13}p_1^* - \beta_{13}\bar{p}_1^* - \beta_{23}p_2^* + 2\bar{b}_3\bar{p}_3^* = \kappa_1 v_1 + \kappa_2 v_2 + \bar{a}_3 + \bar{b}_3 c_3 \quad (25)$$

由 (23)、(24) 相加減，可以分別得到

$$\mu_1 v_1 - (1 - \lambda_2 - 2\mu_2 - \kappa_2 - b_2\rho)v_2 + (1 - 2\theta) a_2 + 2b_2(\Gamma^* + c_2 - \omega_2) = 0 \quad (26)$$

$$-2\alpha \beta_{12}p_1^* - 2\beta_{12}\bar{p}_1^* + 4b_2p_2^* - 2\beta_{23}\bar{p}_3^* = \mu_1 v_1 + (1 - \lambda_2 - \kappa_2 - b_2\rho)v_2 + a_2 + 2b_2c_2 \quad (27)$$

由 (26) 式可得到，在最優定價下，SC2 供應鏈製造商向零售商支付BOPS的單位服務補償

$$\Gamma^* = \omega_2 - c_2 + \frac{-\mu_1 v_1 + (1 - \lambda_2 - 2\mu_2 - \kappa_2 - b_2\rho)v_2 - (1 - 2\theta) a_2}{2b_2}$$

將 (27) 式代入，最優化條件可以簡化為 $AX = M$ ，其中

$$A = \begin{bmatrix} 2b_1 & -\alpha & -\alpha \beta_{12} & -\alpha \beta_{13} \\ -\alpha & 2\bar{b}_1 & -\beta_{12} & -\beta_{13} \\ -\alpha \beta_{12} & -\beta_{12} & 2b_2 & -\beta_{23} \\ -\alpha \beta_{13} & -\beta_{13} & -\beta_{23} & 2\bar{b}_3 \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} p_1^* \\ \bar{p}_1^* \\ p_2^* \\ \bar{p}_3^* \end{bmatrix}$$

$$N = \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \\ N_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1 - \lambda_1 - \mu_1 - \kappa_1)v_1 + a_1 + b_1\omega_1 \\ \lambda_1 v_1 + \lambda_2 v_2 + \bar{a}_1 + \alpha(\omega_1 - c_1) + \bar{b}_1 c_1 \\ \frac{1}{2}\mu_1 v_1 + \frac{1}{2}(1 - \lambda_2 - \kappa_2 - b_2\rho)v_2 + \frac{1}{2}a_2 + b_2 c_2 \\ \kappa_1 v_1 + \kappa_2 v_2 + \bar{a}_3 + \bar{b}_3 c_3 \end{bmatrix}$$

因為矩陣 A 主對角線元素為正，而非主對角線元素非正，又因為

$$b_1 > \frac{\alpha}{2}(1 + \beta_{12} + \beta_{13}), \quad \bar{b}_1 > \frac{1}{2}(\alpha + \beta_{12} + \beta_{13}),$$

$$b_2 > \frac{1}{2}[(1 + \alpha)\beta_{12} + \beta_{23}], \quad \bar{b}_3 > \frac{1}{2}[(1 + \alpha)\beta_{13} + \beta_{23}],$$

因此矩陣 A 為嚴格對角優勢矩陣。因為 $N_1 \geq 0$ 、 $N_2 \geq 0$ 、 $N_4 \geq 0$ ，且由假設

$$\mu_1 v_1 + (1 - \lambda_2 - \kappa_2)v_2 + a_2 + 2b_2 c_2 \geq b_2 \rho v_2$$

可知 $N_3 \geq 0$ ，矩陣 N 元素非負。由輔理1可知 $|A| \neq 0$ ，由輔理2可知方程組 $AX = N$ 有非負解。應用克萊姆法則（Cramer's Rule），可得最優化條件解 p_1^* 、 $\bar{p}_1^*$ 、 p_2^* 、 $\bar{p}_3^*$ 如定理1所示。

注：定理1表明在分散式決策下，各品牌消費者對供應鏈渠道產品的自價格敏感度 b_i 、 $\bar{b}_i$ 足夠大時（數值與渠道交叉彈性係數 α 、品牌交叉價格彈性係數 β_{12} 、 β_{13} 、 β_{23} 有關），或渠道交叉彈性係數與品牌交叉價格彈性係數較小時，若供應鏈SC2實行BOPS後，零售渠道因提供服務，帶來的需求增量足夠大，或SC2網絡渠道搭便車行為帶來的需求增量足夠大時，各博弈方存在最優定價。此時SC2製造商向零售商支付的服務補償滿足下式：

$$\Gamma^* \geq \omega_2 - 2c_2 - \frac{\mu_1 v_1 + \mu_2 v_2 + 2(1-\theta) a_2}{b_2} \quad (28)$$

管理上的意義為：當消費者對產品的價格敏感度高時，零售商很難與網絡渠道競爭，除非零售商願意提供較高的服務水平，吸引消費者才能與具有網絡渠道的品牌競爭。因此傳統的門市很難與網絡電商競爭，除非門市提供較高的服務水平，吸引消費者，或是門市商店也開設網絡渠道成為雙渠道供應鏈的一環。

【命題1】定理1條件成立下，各博弈方的最優定價 p_1^* 、 $\bar{p}_1^*$ 、 p_2^* 、 $\bar{p}_3^*$ 是關於渠道交叉彈性 α 、品牌交叉彈性 β_{12} 、 β_{13} 及 β_{23} 的增函數。意即，若是各博弈方的最優定價 p_1^* 、 $\bar{p}_1^*$ 、 p_2^* 、 $\bar{p}_3^*$ ，則：

$$\frac{\partial f}{\partial \alpha} \geq 0, \frac{\partial f}{\partial \beta_{12}} \geq 0, \frac{\partial f}{\partial \beta_{13}} \geq 0, \frac{\partial f}{\partial \beta_{23}} \geq 0$$

證明：參見附錄一。

【命題2】定理1條件成立下，各博弈方的期望利潤 $\pi_{T_1}^*$ 、 π_1^* 、 $\pi_{T_2}^*$ 、 π_2^* 、 π_3^* 是關於 α 、 β_{12} 、 β_{13} 及 β_{23} 的增函數；意即，若 f 是各博弈方的最優利潤 $\pi_{T_1}^*$ 、 π_1^* 、 $\pi_{T_2}^*$ 、 π_2^* 、 π_3^* ，則：

$$\frac{\partial f}{\partial \alpha} \geq 0, \frac{\partial f}{\partial \beta_{12}} \geq 0, \frac{\partial f}{\partial \beta_{13}} \geq 0, \frac{\partial f}{\partial \beta_{23}} \geq 0$$

證明：參見附錄二。

【命題3】供應鏈SC1零售商的期望利潤 π_{T1}^* 是搭便車行為係數 λ_1 、 μ_1 、 κ_1 的減函數；製造商的期望利潤 π_1^* 是搭便車行為係數 λ_1 、 λ_2 的增函數，是 μ_1 、 κ_1 的減函數。供應鏈SC2零售商的期望利潤 π_{T2}^* 是搭便車行為係數 μ_1 的增函數，是 λ_2 、 κ_2 的減函數。SC2製造商的期望利潤 π_2^* 在特定條件下是搭便車行為係數 μ_1 、 μ_2 的增函數，是搭便車行為係數 λ_2 、 κ_2 的減函數。SC3製造商的期望利潤 π_3^* 是搭便車行為係數 κ_1 、 κ_2 的增函數。即：

$$(P-1) \frac{\partial \pi_{T1}^*}{\partial \lambda_1} < 0, \frac{\partial \pi_{T1}^*}{\partial \mu_1} < 0, \frac{\partial \pi_{T1}^*}{\partial \kappa_1} < 0;$$

$$(P-2) \frac{\partial \pi_1^*}{\partial \lambda_1} > 0, \frac{\partial \pi_1^*}{\partial \lambda_2} > 0, \frac{\partial \pi_1^*}{\partial \mu_1} < 0, \frac{\partial \pi_1^*}{\partial \kappa_1} < 0;$$

$$(P-3) \frac{\partial \pi_{T2}^*}{\partial \lambda_2} < 0, \frac{\partial \pi_{T2}^*}{\partial \kappa_2} < 0; \text{若 } \Gamma^* + \rho v_2 - \frac{\bar{Q}_2^*}{2b_2} > 0, \text{則 } \frac{\partial \pi_{T2}^*}{\partial \mu_1} > 0;$$

$$(P-4) \text{若 } \omega_2 - c_2 - \frac{\bar{Q}_2^*}{2b_2} > 0, \text{則 } \frac{\partial \pi_2^*}{\partial \lambda_2} < 0, \frac{\partial \pi_2^*}{\partial \kappa_2} < 0;$$

$$\text{若 } p_2^* - c_2 - \Gamma^* + \frac{\bar{Q}_2^*}{2b_2} > 0, \text{則 } \frac{\partial \pi_2^*}{\partial \mu_1} > 0, \frac{\partial \pi_2^*}{\partial \mu_2} > 0;$$

$$(P-5) \frac{\partial \pi_3^*}{\partial \kappa_1} > 0, \frac{\partial \pi_3^*}{\partial \kappa_2} > 0。$$

證明：參見附錄三。

3.2 集中式決策

集中式決策下，品牌1雙渠道供應鏈SC1的製造商與零售商、品牌2採取BOPS策略的供應鏈SC2製造商與零售商，分別視為一個整體與品牌3的網絡直銷供應鏈進行競爭，假設三者地位相當，以各自控制的供應鏈進行Nash博弈。

【定理2】集中式決策下，若品牌1消費者的自價格敏感度 b_1 、 $\bar{b}_1$ ，品牌2消費者的自價格敏感度 b_2 ，品牌3消費者的自價格敏感度 b_3 ，與渠道交叉彈性係數 α 及品牌交叉價格彈性係數 β_{12} 、 β_{13} 、 β_{23} 之間的關係滿足：

$$b_1 > \frac{\alpha}{2}(2 + \beta_{12} + \beta_{13}), \quad \bar{b}_1 > \frac{1}{2}(2\alpha + \beta_{12} + \beta_{13}),$$

$$b_2 > \frac{1}{2}[(1 + \alpha)\beta_{12} + \beta_{23}], \quad \bar{b}_3 > \frac{1}{2}[(1 + \alpha)\beta_{13} + \beta_{23}],$$

且搭便車行為及SC2消費者因零售商提供服務 v_2 ，使線上消費者在零售門市產生的額外消費 ρv_2 滿足：

$$\mu_1 v_1 + (1 - \lambda_2 - \kappa_2)v_2 + a_2 + 2b_2 c_2 \geq b_2 \rho v_2$$

則三個品牌供應鏈各渠道最優定價 p_1^{c*} 、 $\bar{p}_1^{c*}$ 、 p_2^{c*} 、 $\bar{p}_3^{c*}$ 如下：

$$\begin{aligned}
 p_1^{c*} = \frac{1}{|A'|} \{ & N_1' [8\bar{b}_1 b_2 \bar{b}_3 - 2\beta_{23}^2 \bar{b}_1 - 2\beta_{13}^2 b_2 - 2\beta_{12}^2 \bar{b}_3 - 2\beta_{12}\beta_{13}\beta_{23}] \\
 & + N_2' [\alpha (8b_2 \bar{b}_3 + 2\beta_{13}^2 b_2 + 2\beta_{12}^2 \bar{b}_3 + 2\beta_{12}\beta_{13}\beta_{23} - 2\beta_{23}^2)] \\
 & + N_3' [\alpha (4\beta_{12} \bar{b}_1 \bar{b}_3 + 2\beta_{13}\beta_{23} \bar{b}_1 + 4\beta_{12} \bar{b}_3 + 2\beta_{13}\beta_{23})] \\
 & + N_4' [\alpha (4\beta_{13} \bar{b}_1 b_2 + 2\beta_{12}\beta_{23} \bar{b}_1 + 4\beta_{13} b_2 + 2\beta_{12}\beta_{23})] \} \quad (29)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{p}_1^{c*} = \frac{1}{|A'|} \{ & N_1' [\alpha (8b_2 \bar{b}_3 + 2\beta_{13}^2 b_2 + 2\beta_{12}^2 \bar{b}_3 + 2\beta_{12}\beta_{13}\beta_{23} - 2\beta_{23}^2)] \\
 & + N_2' [8b_1 b_2 \bar{b}_3 - 2\beta_{23}^2 b_1 - 2\alpha^2 \beta_{13}^2 b_2 - 2\alpha^2 \beta_{12}^2 \bar{b}_3 - 2\alpha^2 \beta_{12}\beta_{13}\beta_{23}] \\
 & + N_3' [4\beta_{12} b_1 \bar{b}_3 + 2\beta_{13}\beta_{23} b_1 + 4\alpha^2 \beta_{12} \bar{b}_3 + 2\alpha^2 \beta_{13}\beta_{23}] \\
 & + N_4' [4\beta_{13} b_1 b_2 + 2\beta_{12}\beta_{23} b_1 + 4\alpha^2 \beta_{13} b_2 + 2\alpha^2 \beta_{12}\beta_{23}] \} \quad (30)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_2^{c*} = \frac{1}{|A'|} \{ & N_1' [\alpha (4\beta_{12} \bar{b}_1 \bar{b}_3 + 2\beta_{13}\beta_{23} \bar{b}_1 + 4\beta_{12} \bar{b}_3 + 2\beta_{13}\beta_{23})] \\
 & + N_2' [4\beta_{12} b_1 \bar{b}_3 + 2\beta_{13}\beta_{23} b_1 + 4\alpha^2 \beta_{12} \bar{b}_3 + 2\alpha^2 \beta_{13}\beta_{23}] \\
 & + N_3' [8b_1 \bar{b}_1 \bar{b}_3 - 2\beta_{13}^2 b_1 - 2\alpha^2 \beta_{13}^2 \bar{b}_1 - 8\alpha^2 \bar{b}_3 - 4\alpha^2 \beta_{13}^2] \\
 & + N_4' [4\beta_{23} b_1 \bar{b}_1 + 2\beta_{12}\beta_{13} b_1 + 2\alpha^2 \beta_{12}\beta_{13} \bar{b}_1 + 4\alpha^2 \beta_{12}\beta_{13} - 4\alpha^2 \beta_{23}] \} \quad (31)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{p}_3^{c*} = \frac{1}{|A'|} \{ & N_1' [\alpha (4\beta_{13} \bar{b}_1 b_2 + 2\beta_{12}\beta_{13} \bar{b}_1 + 4\beta_{13} b_2 + 2\beta_{12}\beta_{23})] \\
 & + N_2' [4\beta_{13} b_1 b_2 + 2\beta_{12}\beta_{23} b_1 + 4\alpha^2 \beta_{13} b_2 + 2\alpha^2 \beta_{12}\beta_{23}] \\
 & + N_3' [4\beta_{23} b_1 \bar{b}_1 + 2\beta_{12}\beta_{13} b_1 + 2\alpha^2 \beta_{12}\beta_{13} \bar{b}_1 + 4\alpha^2 \beta_{12}\beta_{13} - 4\alpha^2 \beta_{23}] \\
 & + N_4' [8b_1 \bar{b}_1 b_2 - 2\beta_{12}^2 b_1 - 2\alpha^2 \beta_{12}^2 \bar{b}_1 - 8\alpha^2 b_2 - 4\alpha^2 \beta_{12}^2] \} \quad (32)
 \end{aligned}$$

$$\text{其中 } N' = \begin{bmatrix} N_1' \\ N_2' \\ N_3' \\ N_4' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1 - \lambda_1 - \mu_1 - \kappa_1)v_1 + a_1 + (b_1 - \alpha)c_1 \\ \lambda_1 v_1 + \lambda_2 v_2 + \bar{a}_1 + (\bar{b}_1 - \alpha)c_1 \\ \frac{1}{2}\mu_1 v_1 + \frac{1}{2}(1 - \lambda_2 - \kappa_2 - b_2\rho)v_2 + \frac{1}{2}a_2 + b_2 c_2 \\ \kappa_1 v_1 + \kappa_2 v_2 + \bar{a}_3 + \bar{b}_3 c_3 \end{bmatrix} \quad (33)$$

$$|A'| \text{ 为矩阵 } A' \text{ 之行列式值，} A' = \begin{bmatrix} 2b_1 & -2\alpha & -\alpha\beta_{12} & -\alpha\beta_{13} \\ -2\alpha & 2\bar{b}_1 & -\beta_{12} & -\beta_{13} \\ -\alpha\beta_{12} & -\beta_{12} & 2b_2 & -\beta_{23} \\ -\alpha\beta_{13} & -\beta_{13} & -\beta_{23} & 2\bar{b}_3 \end{bmatrix} \quad (34)$$

證明：對供應鏈SC1的整體利潤函數求 p_1 、 $\bar{p}_1$ 的二階導數，可得

$$\frac{\partial^2 \pi_{SC1}}{\partial p_1^2} = -2b_1 < 0, \quad \frac{\partial^2 \pi_{SC1}}{\partial \bar{p}_1^2} = -2\bar{b}_1 < 0,$$

說明SC1的整體利潤 π_{SC1} 是關於 p_1 、 $\bar{p}_1$ 的凹函數，且Hessian矩陣

$$H = \begin{bmatrix} -2b_1 & 2\alpha \\ 2\alpha & -2\bar{b}_1 \end{bmatrix},$$

因為 $H_{11} = -2b_1 < 0$ ，且 $|H| = 4b_1\bar{b}_1 - 4\alpha^2 > 0$ ，所以 H 為負定矩陣，因此 π_{SC1} 在 p_1 和 $\bar{p}_1$ 有最大值。又因為 $\frac{\partial^2 \pi_{SC2}}{\partial p_2^2} = -2b_2 < 0$ 、 $\frac{\partial^2 \pi_{SC3}}{\partial \bar{p}_3^2} = -2\bar{b}_3 < 0$ ，所以存在Nash均衡。分別求利潤函數（11）～（13）對各自決策變數 p_1 、 $\bar{p}_1$ 、 p_2 、 $\bar{p}_3$ 的一階導數可得最優化條件：

$$2b_1 p_1^{c*} - 2\alpha \bar{p}_1^{c*} - \alpha \beta_{12} p_2^{c*} - \alpha \beta_{13} \bar{p}_3^{c*} = (1 - \lambda_1 - \mu_1 - \kappa_1)v_1 + a_1 + (b_1 - \alpha)c_1 \quad (35)$$

$$-2\alpha p_1^{c*} + 2\bar{b}_1 \bar{p}_1^{c*} - \beta_{12} p_2^{c*} - \beta_{13} \bar{p}_3^{c*} = \lambda_1 v_1 + \lambda_2 v_2 + \bar{a}_1 + (\bar{b}_1 - \alpha)c_1 \quad (36)$$

$$\begin{aligned} -\alpha \beta_{12} p_1^{c*} - \beta_{12} \bar{p}_1^{c*} + 2b_2 p_2^{c*} - \beta_{23} \bar{p}_3^{c*} &= \frac{1}{2}\mu_1 v_1 + \frac{1}{2}(1 - \lambda_2 - \kappa_2 - b_2\rho)v_2 \\ &+ \frac{1}{2}a_2 + b_2 c_2 \end{aligned} \quad (37)$$

$$-\alpha \beta_{13} p_1^{c*} - \beta_{13} \bar{p}_1^{c*} - \beta_{23} p_2^{c*} + 2\bar{b}_3 \bar{p}_3^{c*} = \kappa_1 v_1 + \kappa_2 v_2 + \bar{a}_3 + \bar{b}_3 c_3 \quad (38)$$

最優化條件可以矩陣表示為 $A'X^c = N'$ ，其中

$$A' = \begin{bmatrix} 2b_1 & -2\alpha & -\alpha \beta_{12} & -\alpha \beta_{13} \\ -2\alpha & 2\bar{b}_1 & -\beta_{12} & -\beta_{13} \\ -\alpha \beta_{12} & -\beta_{12} & 2b_2 & -\beta_{23} \\ -\alpha \beta_{13} & -\beta_{13} & -\beta_{23} & 2\bar{b}_3 \end{bmatrix}, \quad X^c = \begin{bmatrix} p_1^{c*} \\ \bar{p}_1^{c*} \\ p_2^{c*} \\ \bar{p}_3^{c*} \end{bmatrix},$$

$$N' = \begin{bmatrix} N'_1 \\ N'_2 \\ N'_3 \\ N'_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1 - \lambda_1 - \mu_1 - \kappa_1)v_1 + a_1 + (b_1 - \alpha)c_1 \\ \lambda_1 v_1 + \lambda_2 v_2 + \bar{a}_1 + (\bar{b}_1 - \alpha)c_1 \\ \frac{1}{2}\mu_1 v_1 + \frac{1}{2}(1 - \lambda_2 - \kappa_2 - b_2\rho)v_2 + \frac{1}{2}a_2 + b_2 c_2 \\ \kappa_1 v_1 + \kappa_2 v_2 + \bar{a}_3 + \bar{b}_3 c_3 \end{bmatrix},$$

$$\text{因為 } b_1 > \frac{\alpha}{2}(2 + \beta_{12} + \beta_{13}), \quad \bar{b}_1 > \frac{1}{2}(2\alpha + \beta_{12} + \beta_{13})_j,$$

$$b_2 > \frac{1}{2}[(1 + \alpha)\beta_{12} + \beta_{23}], \quad \bar{b}_3 > \frac{1}{2}[(1 + \alpha)\beta_{13} + \beta_{23}],$$

因此矩陣 A 為嚴格對角優勢矩陣。因為 $N'_1 \geq 0$ 、 $N'_2 \geq 0$ 、 $N'_4 \geq 0$ ，且由假設

$$\mu_1 v_1 + (1 - \lambda_2 - \kappa_2)v_2 + a_2 + 2b_2 c_2 \geq b_2 \rho v_2$$

可知 $N'_3 \geq 0$ ，矩陣 N' 元素非負。由輔理1、輔理2可知方程組 $A'X^c = N'$ 有非負解。應用克萊姆法則（Cramer's Rule），可得最優化條件之解 p_1^{c*} 、 $\bar{p}_1^{c*}$ 、 p_2^{c*} 、 $\bar{p}_3^{c*}$ 如定理2所示。

注：定理2表明在集中式決策下，各品牌消費者對價格敏感度高，或者消費者對渠道產品價格變動及品牌價格變動的反應靈敏程度低時，若品牌2供應鏈SC2從對SC1的搭便車行為獲得足夠高的收益，或SC2願意提供較高的服務水平 v_2 ，吸引消費者提高需求量，則各品牌存在最優定價。

【命題4】定理2條件成立下，集中式決策各博弈方的最優定價 p_1^{c*} 、 $\bar{p}_1^{c*}$ 、 p_2^{c*} 、 $\bar{p}_3^{c*}$ 是關於渠道交叉彈性 α 、品牌交叉彈性 β_{12} 、 β_{13} 及 β_{23} 的增函數；意即，若 f 是集中式決策各博弈方的最優定價 p_1^{c*} 、 $\bar{p}_1^{c*}$ 、 p_2^{c*} 、 $\bar{p}_3^{c*}$ ，則：

$$\frac{\partial f}{\partial \alpha} \geq 0, \quad \frac{\partial f}{\partial \beta_{12}} \geq 0, \quad \frac{\partial f}{\partial \beta_{13}} \geq 0, \quad \frac{\partial f}{\partial \beta_{23}} \geq 0$$

證明：方法與【命題1】相同，此處不再贅述。

【命題5】集中式決策下，各品供應鏈的利潤 π_{sc1}^{c*} 、 π_{sc2}^{c*} 、 π_{sc3}^{c*} 是關於 α 、 β_{12} 、 β_{13} 及 β_{23} 的增函數；意即，若 f 是集中式決策各博弈方的最優利潤 π_{sc1}^{c*} 、 π_{sc2}^{c*} 、 π_{sc3}^{c*} ，則：

$$\frac{\partial f}{\partial \alpha} \geq 0; \quad \frac{\partial f}{\partial \beta_{ij}} \geq 0 \quad (i, j = 1, 2, 3, i < j)$$

證明：方法與【命題2】相同，此處不再贅述。

【命題6】品牌1供應鏈SC1的期望利潤 π_{sc1}^{c*} 是搭便車行為係數 μ_1 、 κ_1 的減函數，是搭便車行為係數 λ_2 的增函數，與搭便車行為係數 λ_1 的增減關係則與渠道差價 $\bar{p}_1^{c*} - p_1^{c*}$ 有關；品牌2供應鏈SC2的期望利潤 π_{sc2}^{c*} 是搭便車行為係數是 λ_2 、 κ_2 的減函數，是搭便車行為係數 μ_1 、 μ_2 的增函數；品牌3供應鏈SC3的期望利潤 π_{sc3}^{c*} 是搭便車行為係數 κ_1 、 κ_2 的增函數。即：

$$(P-6) \frac{\partial \pi_{sc1}^{c*}}{\partial \mu_1} < 0, \frac{\partial \pi_{sc1}^{c*}}{\partial \kappa_1} < 0, \frac{\partial \pi_{sc1}^{c*}}{\partial \lambda_2} > 0; \text{若 } \bar{p}_1^{c*} - p_1^{c*} > 0, \text{ 則 } \frac{\partial \pi_{sc1}^{c*}}{\partial \lambda_1} > 0;$$

$$\text{反之, 則 } \frac{\partial \pi_{sc1}^{c*}}{\partial \lambda_1} < 0;$$

$$(P-7) \frac{\partial \pi_{sc2}^{c*}}{\partial \mu_1} > 0, \frac{\partial \pi_{sc2}^{c*}}{\partial \mu_2} > 0, \frac{\partial \pi_{sc2}^{c*}}{\partial \lambda_2} < 0, \frac{\partial \pi_{sc2}^{c*}}{\partial \kappa_2} < 0;$$

$$(P-8) \frac{\partial \pi_{sc3}^{c*}}{\partial \kappa_1} > 0, \frac{\partial \pi_{sc3}^{c*}}{\partial \kappa_2} > 0。$$

證明：方法與【命題3】相同，此處不再贅述。

4. 數值分析

為瞭解模型參數對各博弈方最優利潤的影響，以數值分析方法進行模擬。模型參數取值如表 1、2；計算後可得各博弈方最優定價及最優利潤，如表 3 及表 4 所示。

表1. 本研究模型關於搭便車行為的參數取值

符號	取值	符號	取值
品牌1網絡渠道對品牌1零售渠道的搭便車係數 λ_1	0.3	品牌1網絡渠道對品牌2零售渠道的搭便車係數 λ_2	0.2
品牌2網絡渠道對品牌1零售渠道的搭便車係數 μ_1	0.2	品牌2網絡渠道對品牌2零售渠道的搭便車係數 μ_2	0.25
品牌3對品牌1零售渠道的搭便車係數 κ_1	0.2	品牌3對品牌2零售渠道的搭便車係數 κ_2	0.2

資料來源：本文自行整理

表2. 本研究模型數值分析各參數取值

符號	取值	符號	取值
品牌1零售渠道的潛在市場規模 a_1	100	品牌1網絡渠道的潛在市場規模 $\bar{a}_1$	60
品牌2的潛在市場規模 a_2	150	品牌3的潛在市場規模 $\bar{a}_3$	60
品牌2零售渠道的比例 θ	0.5	品牌1產品成本 c_1	7
品牌2產品成本 c_2	7	品牌3產品成本 c_3	7
品牌1批發價 ω_1	10	品牌2批發價 ω_2	10
品牌1零售商的單位服務成本 η_1	1.5	品牌2零售商的單位服務成本 η_2	2

表2. 本研究模型數值分析各參數取值（續）

符號	取值	符號	取值
品牌1零售商的服務水平 v_1	2	品牌2零售商的服務水平 v_2	2
品牌1渠道交叉彈性係數 α	0.6	品牌1零售渠道的自價格敏感度 b_1	3.12
品牌1網絡渠道的自價格敏感度 $\bar{b}_1$	2.59	品牌2自價格敏感度 b_2	2.78
品牌3自價格敏感度 $\bar{b}_3$	2.00	因品牌2零售商服務產生的平均額外消費 ρ	2
品牌1、2網絡渠道的品牌交叉彈性係數 β_{12}	0.7	品牌1、3網絡渠道的品牌交叉彈性係數 β_{13}	0.75
品牌2、3網絡渠道的品牌交叉彈性係數 β_{23}	0.7		

資料來源：本文自行整理

比較分散式決策與集中式決策各博弈方的最優定價，可以發現分散式決策下各博弈方的最優定價均低於集中式決策下的最優定價，並且零售商的最優定價高於製造商的最優定價；分散決策下供應鏈SC1雙渠道的總利潤明顯低於集中決策下的總利潤，因此分散式決策的效率低於集中式決策。

表3. 兩種決策模式下最優定價的比較

分散式決策		集中式決策	
項目與符號	計算結果	項目與符號	計算結果
零售商 T_1 最優定價 p_1^*	26.6032	零售商 T_1 最優定價 p_1^{C*}	27.3616
製造商 M_1 最優定價 $\bar{p}_1^*$	25.0687	製造商 M_1 最優定價 $\bar{p}_1^{C*}$	27.3166
M_2 、 T_2 最優定價 p_2^*	24.0448	M_2 、 T_2 最優定價 p_2^{C*}	24.4754
製造商 M_3 最優定價 $\bar{p}_3^*$	21.5921	製造商 M_3 最優定價 $\bar{p}_3^{C*}$	22.0106
SC2采BOPS的服務補償 Γ^*	0.9640		

資料來源：本文自行整理

表4. 兩種決策模式下最優利潤的比較

分散式決策		集中式決策	
項目與符號	計算結果	項目與符號	計算結果
零售商 T_1 最優利潤 $\pi_{T_1}^*$	860.29		-
製造商 M_1 最優利潤 π_1^*	968.977		-
SC1雙渠道總利潤	1,829.267	SC1供應鏈最優利潤 π_{sc1}^{C*}	1,859.72
零售商 T_2 最優利潤 $\pi_{T_2}^*$	999.607		-
製造商 M_2 最優利潤 π_2^*	1,009.63		-
SC 2總利潤	2,009.237	SC2供應鏈最優利潤 π_{sc2}^{C*}	2,093.27
製造商 M_3 最優利潤 π_3^*	636.624	SC3供應鏈最優利潤 π_{sc3}^{C*}	670.991

資料來源：本文自行整理

4.1 分散式決策的參數敏感性分析

探究分散式決策各參數變化對最優利潤的影響，有利擬定改善策略並形成決策，分散式決策各參數敏感度如圖 2~圖 7。由圖 2~圖 7 可知，渠道交叉價格彈性係數 α 及品牌交叉價格彈性係數 β_{12} 、 β_{13} 、 β_{23} 對各博弈方的最優利潤影響為正，且渠道交叉係數的影響又大於品牌交叉係數。

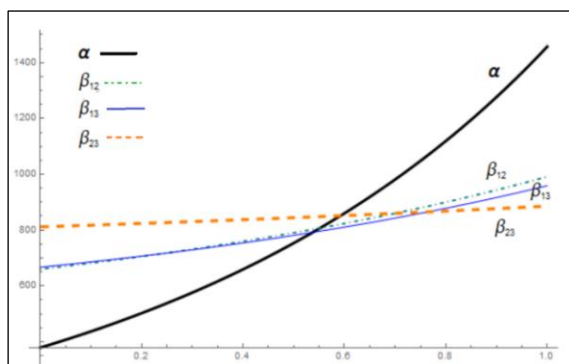


圖 2. 渠道及品牌交叉對品牌 1 零售商的影響

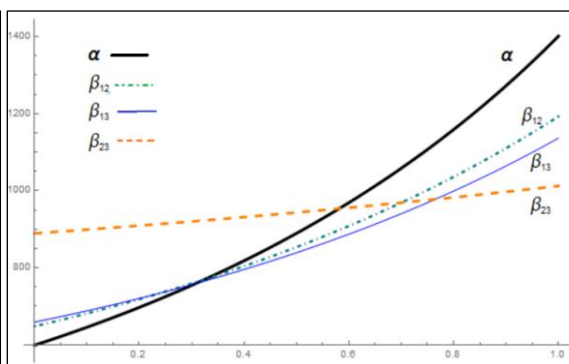


圖 3. 渠道及品牌交叉對品牌 1 製造商的影響

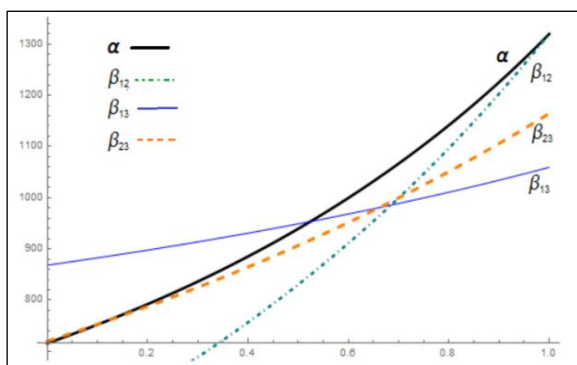


圖 4. 渠道及品牌交叉對品牌 2 零售商的影響

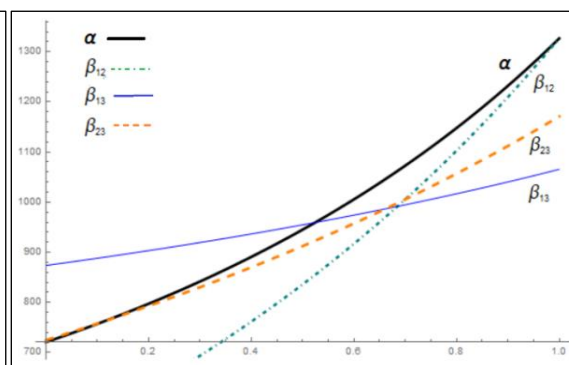


圖 5. 渠道及品牌交叉對品牌 2 製造商的影響

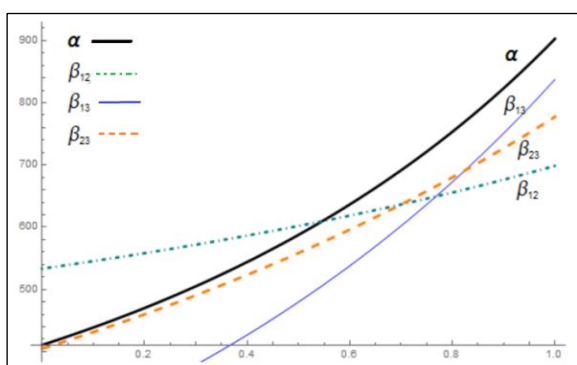


圖 6. 渠道及品牌交叉對品牌 3 製造商的影響

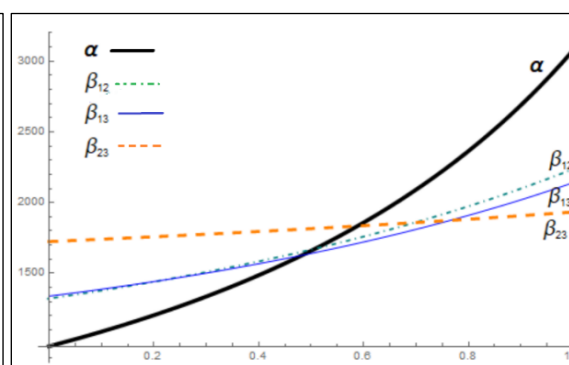


圖 7. 渠道及品牌交叉對供應鏈 SC1 的影響

資料來源：本文自行整理

4.2 集中式決策的參數敏感性分析

集中式決策各參數變化對最優利潤的影響如圖 8~圖 9。由圖 8~圖 9 可知，渠道交叉價格彈性係數 α 及品牌交叉價格彈性係數 β_{12} 、 β_{13} 、 β_{23} 對各供應鏈的最優利潤影響為正，且渠道交叉係數的影響又大於品牌交叉係數。

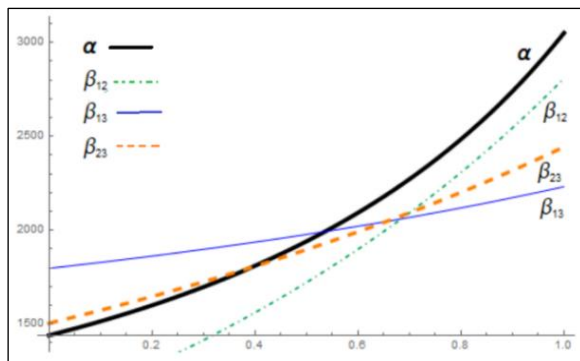


圖 8. 渠道及品牌交叉對供應鏈 SC2 的影響

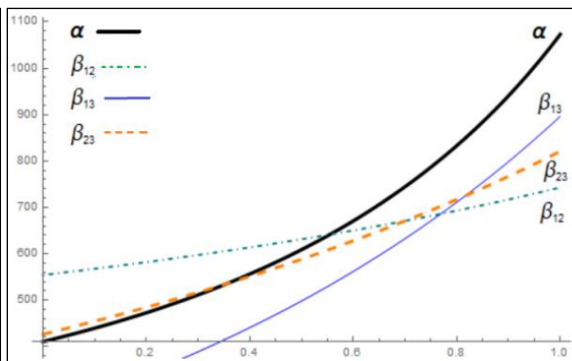


圖 9. 渠道及品牌交叉對供應鏈 SC3 的影響

4.3 分散式與集中式決策的比較與管理上的啟示

分散決策下，供應鏈 SC1、SC2、SC3 的總利潤明顯低於集中決策下的總利潤，這證明了分散式決策的效率低於集中式決策。分散式決策下三個品牌競爭時，各博弈方均以自身利益最大化為目標進行定價，導致了利益的“多重邊際化”，降低了整個供應鏈系統的效率；而當 SC1 的製造商與其零售商、SC2 的製造商與其零售商，各自進行集中決策時，一定程度上改善了“多重邊際化”問題，使 SC1 雙渠道供應鏈的整體利潤及 SC2 供應鏈的利潤都得到了提高。

分散式決策下，各博弈方各自以自身利潤最大化為目標，製造商 M_1 對零售商 T_1 的搭便車行為，造成 M_1 的利潤增加、 T_1 的利潤損失。集中式決策下，當製造商 M_1 和零售商 T_1 共同決策時，製造商 M_1 的搭便車行為，使得一部分需求從 SC1 零售渠道轉移到 SC1 網絡渠道，屬於 SC1 系統內部的需求轉移，因此不影響 SC1 雙渠道供應鏈整體的最優利潤。

不論分散或集中式決策，渠道交叉係數 α 的影響大於品牌交叉係數 β_{12} 、 β_{13} 、 β_{23} 的影響。分散式和集中式決策下，各參數對最優利潤的敏感度分析，各製造商的收益與其自身的搭便車行為正相關，而零售商的收益與各製造商的搭便車行為負相關，因此搭便車行為對於供應鏈各成員可能造成利潤增加，也可能造成利潤損失。

在管理上，對於 SC1 供應鏈網絡渠道，應該採取的策略為：加強渠道建設、擴大廣告投入、增加銷售優惠、完善售後服務等措施來吸引更多的消費者；對於 SC1 供應鏈零售渠道，應該採取的策略為：加強服務以提升零售渠道的忠誠度，並吸引更多的消費者。當 SC2 供應鏈透過 BOPS 將在線消費者分流至線下時，因為線下消費者增加，產生的額外消費將會增多，此時應該採取的策略為：提高務水平以增加因為提供服務產生的額外消費，簡化網絡渠道操作流程以吸引更多的線上消費者分流至線下消費。SC3 供應鏈屬網貨品牌直銷渠道，應該採取的策略為：加大品牌宣傳力度以建立品牌知名度、增加折扣活動吸引消費者注意及購買、加強售後服務增加消費者的忠誠度。

5. 結束語

在多品牌競爭下，市場中不同渠道供應鏈：雙渠道供應鏈、BOPS 模式供應鏈、網絡直銷供應鏈，不論采分散式或集中式決策，品牌忠誠度對各品牌供應鏈利潤的影響為正，渠道交叉價及品牌交叉係數對各供應鏈利潤的影響為正，且品牌忠誠度的影響大於渠道交叉係數，渠道交叉的影響又大於品牌交叉係數；搭便車行為會影響各博弈方的最優利潤。分散式決策下各博弈方均以自身利益最大化為目標，導致了利益的“多重邊際化”，降低了整個供應鏈系統的效率，因此分散式決策的效率低於集中式決策。

參考文獻

1. 易觀國際 (2020)。電商行業數字化進程分析-易觀：2020 年第 1 季度中國網絡零售 B2C 市場交易規模達 12522.6 億元疫情引起增速下滑，各平臺紛紛推行抗疫舉措。<https://www.analysys.cn/article/detail/20019768>
2. 孔慶山、邢偉、石曉梅 (2012)。具有服務策略的雙渠道供應鏈定價問題研究。商業研究，2，114-118。
3. 李景峰、張文靜、毋江波 (2017)。傳統品牌與網貨品牌競爭下的多渠道供應鏈定價研究。工業技術經濟，36(3)，107-115。
4. 馬鵬，王海燕 (2015)。促銷努力競爭情形下雙渠道供應鏈協調策略。工業工程，18(4)，85-91。
5. Banker, R. D., Khosla, I., & Sinha, K. K. (1998). Quality and competition. *Management Science*, 44(9), 1179-1192.
6. Brynjolfsson, E., Hu, Y. J., & Rahman, M. S. (2013). Competing in the age of omnichannel retailing. *MIT Sloan Management Review*, 54(4), 23-29.
7. Cai, G. (2010). Channel selection and coordination in dual-channel supply chains. *Journal of Retailing*, 86(1), 22-36.
8. Carlton, D. W., & Chevalier, J. A. (2001). Free riding and sales strategies for the Internet. *The Journal of Industrial Economics*, 49(4), 441-461.
9. Chiang, W. K., Chhajed, D., & Hess, J. D. (2003). Direct marketing, indirect profits: A strategic analysis of dual-channel supply chain design. *Management Science*, 49(1), 1-20.
10. Chiu, H. C., Hsieh, Y. C., Roan, J., Tseng, K., & Hsieh, J. K. (2011). The challenge for multichannel services: Cross-channel free-riding behavior. *Electronic Commerce Research and Applications*, 10(2), 268-277.
11. Gallino, S., & Moreno, A. (2014). Integration of online and offline channels in retail: The impact of sharing reliable inventory availability information. *Management Science*, 60(6), 1434-1451.
12. Horn, R. A., & Johnson, C. R. (2012). *Matrix Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.
13. Huang, W., & Swaminathan, J. M. (2007). Introduction of a second channel: Implications for pricing and profits. *European Journal of Operational Research*, 194(1), 258-279.
14. Shin, J. (2007). How does free riding on customer service affect competition? *Marketing Science*, 26(4), 488-503.
15. Wu, D., Ray, G., Geng, X., & Whinston, A. (2004). Implications of reduced search cost and free riding in E-commerce. *Marketing Science*, 23(2), 255-262.

附錄一：命題 1 的證明

證明：對最優化條件 $AX = N$ ，分別求 α 、 β_{12} 、 β_{13} 及 β_{23} 的偏導數可以得到： $AX_\alpha = N_\alpha$ 、 $AX_\beta^{12} = N_\beta^{12}$ 、 $AX_\beta^{13} = N_\beta^{13}$ 、 $AX_\beta^{23} = N_\beta^{23}$ ，其中矩陣

$$X_\alpha = \begin{bmatrix} \frac{\partial p_1^*}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial \bar{p}_1^*}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial p_2^*}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial \bar{p}_2^*}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial p_3^*}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial \bar{p}_3^*}{\partial \alpha} \end{bmatrix}, \quad X_\beta^{12} = \begin{bmatrix} \frac{\partial p_1^*}{\partial \beta_{12}} \\ \frac{\partial \bar{p}_1^*}{\partial \beta_{12}} \\ \frac{\partial p_2^*}{\partial \beta_{12}} \\ \frac{\partial \bar{p}_2^*}{\partial \beta_{12}} \\ \frac{\partial p_3^*}{\partial \beta_{12}} \\ \frac{\partial \bar{p}_3^*}{\partial \beta_{12}} \end{bmatrix}, \quad X_\beta^{13} = \begin{bmatrix} \frac{\partial p_1^*}{\partial \beta_{13}} \\ \frac{\partial \bar{p}_1^*}{\partial \beta_{13}} \\ \frac{\partial p_2^*}{\partial \beta_{13}} \\ \frac{\partial \bar{p}_2^*}{\partial \beta_{13}} \\ \frac{\partial p_3^*}{\partial \beta_{13}} \\ \frac{\partial \bar{p}_3^*}{\partial \beta_{13}} \end{bmatrix}, \quad X_\beta^{23} = \begin{bmatrix} \frac{\partial p_1^*}{\partial \beta_{23}} \\ \frac{\partial \bar{p}_1^*}{\partial \beta_{23}} \\ \frac{\partial p_2^*}{\partial \beta_{23}} \\ \frac{\partial \bar{p}_2^*}{\partial \beta_{23}} \\ \frac{\partial p_3^*}{\partial \beta_{23}} \\ \frac{\partial \bar{p}_3^*}{\partial \beta_{23}} \end{bmatrix},$$

$$N_\alpha = \begin{bmatrix} \bar{p}_1^* + \beta_{12} p_2^* + \beta_{13} \bar{p}_3^* \\ p_1^* \\ \beta_{12} p_1^* \\ \beta_{13} p_1^* \end{bmatrix}, \quad N_\beta^{12} = \begin{bmatrix} \alpha p_2^* \\ p_2^* \\ \alpha p_1^* + \bar{p}_1^* \\ 0 \end{bmatrix}, \quad N_\beta^{13} = \begin{bmatrix} \alpha \bar{p}_3^* \\ \bar{p}_3^* \\ 0 \\ \alpha p_1^* + \bar{p}_1^* \end{bmatrix}, \quad N_\beta^{23} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \bar{p}_3^* \\ p_2^* \end{bmatrix},$$

在定理1成立下，因為矩陣 A 為嚴格對角優勢矩陣， N_α 、 N_β^{12} 、 N_β^{13} 、 N_β^{23} 的元素非負，由輔理2可得 $AX_\alpha = N_\alpha$ 、 $AX_\beta^{12} = N_\beta^{12}$ 、 $AX_\beta^{13} = N_\beta^{13}$ 、 $AX_\beta^{23} = N_\beta^{23}$ 有非負解。因此 $\frac{\partial f}{\partial \alpha} \geq 0$ 、 $\frac{\partial f}{\partial \beta_{12}} \geq 0$ 、 $\frac{\partial f}{\partial \beta_{13}} \geq 0$ 、 $\frac{\partial f}{\partial \beta_{23}} \geq 0$ ，其中 f 為最優定價 p_1^* 、 $\bar{p}_1^*$ 、 p_2^* 、 $\bar{p}_3^*$ 。

附錄二：命題2的證明

證明：以 π_2 為例。因為 π_2 是 p_2 的函數， p_1 、 $\bar{p}_1$ 、 $\bar{p}_3$ 間接受 α 、 β_{12} 、 β_{13} 及 β_{23} 影響。根據包絡定理及命題1，因為 $p_2^* + \omega_2 - 2c_2 - \Gamma^* \geq 0$ ，可以得到：

$$\frac{\partial \pi_2^*}{\partial \alpha} = (p_2^* + \omega_2 - 2c_2 - \Gamma^*) \left[\beta_{12} p_1^* + \alpha \beta_{12} \frac{\partial p_1^*}{\partial \alpha} + \beta_{12} \frac{\partial \bar{p}_1^*}{\partial \alpha} + \beta_{23} \frac{\partial \bar{p}_3^*}{\partial \alpha} \right] \geq 0,$$

$$\frac{\partial \pi_2^*}{\partial \beta_{12}} = (p_2^* + \omega_2 - 2c_2 - \Gamma^*) \left[\alpha p_1^* + \alpha \beta_{12} \frac{\partial p_1^*}{\partial \beta_{12}} + \bar{p}_1^* + \beta_{12} \frac{\partial \bar{p}_1^*}{\partial \beta_{12}} + \beta_{23} \frac{\partial \bar{p}_3^*}{\partial \beta_{12}} \right] \geq 0,$$

$$\frac{\partial \pi_2^*}{\partial \beta_{13}} = (p_2^* + \omega_2 - 2c_2 - \Gamma^*) \left[\alpha \beta_{12} \frac{\partial p_1^*}{\partial \beta_{13}} + \beta_{12} \frac{\partial \bar{p}_1^*}{\partial \beta_{13}} + \beta_{23} \frac{\partial \bar{p}_3^*}{\partial \beta_{13}} \right] \geq 0,$$

$$\frac{\partial \pi_2^*}{\partial \beta_{23}} = (p_2^* + \omega_2 - 2c_2 - \Gamma^*) \left[\alpha \beta_{12} \frac{\partial p_1^*}{\partial \beta_{23}} + \beta_{12} \frac{\partial \bar{p}_1^*}{\partial \beta_{23}} + \bar{p}_3^* + \beta_{23} \frac{\partial \bar{p}_3^*}{\partial \beta_{23}} \right] \geq 0.$$

其他證明方法類似，不再贅述。

附錄三：命題 3 的證明

證明：對 $\pi_{T_1}^*$ 、 π_1^* 、 $\pi_{T_2}^*$ 、 π_2^* 、 π_3^* 式分別求 λ_1 、 λ_2 、 μ_1 、 μ_2 、 κ_1 、 κ_2 的導數，因為 $\Gamma^* = \omega_2 - c_2 + \frac{-\mu_1 v_1 + (1-\lambda_2 - 2\mu_2 - \kappa_2 - b_2 \rho) v_2 - (1-2\theta) a_2}{2b_2}$ ，由包絡定理可以得到：

$$\frac{\partial \pi_{T_1}^*}{\partial \lambda_1} = \frac{\partial \pi_{T_1}^*}{\partial \mu_1} = \frac{\partial \pi_{T_1}^*}{\partial \kappa_1} = -v_1(p_1^* - \omega_1) < 0, \quad \frac{\partial \pi_1^*}{\partial \lambda_1} = (\bar{p}_1^* - \omega_1)v_1 > 0,$$

$$\frac{\partial \pi_1^*}{\partial \mu_1} = \frac{\partial \pi_1^*}{\partial \kappa_1} = -v_1(\omega_1 - c_1) < 0, \quad \frac{\partial \pi_1^*}{\partial \lambda_2} = (\bar{p}_1^* - c_1)v_2 > 0,$$

$$\frac{\partial \pi_{T_2}^*}{\partial \lambda_2} = \frac{\partial \pi_{T_2}^*}{\partial \kappa_2} = -v_2(p_2^* - \omega_2 + \frac{\bar{Q}_2^*}{2b_2}) < 0,$$

$$\frac{\partial \pi_{T_2}^*}{\partial \mu_1} = v_1(\Gamma^* + \rho v_2 - \frac{\bar{Q}_2^*}{2b_2}) > 0, \text{ 若 } \Gamma^* + \rho v_2 - \frac{\bar{Q}_2^*}{2b_2} > 0 ;$$

反之，則 $\frac{\partial \pi_{T_2}^*}{\partial \mu_1} < 0$ 。

$$\frac{\partial \pi_{T_2}^*}{\partial \mu_2} = -v_2(p_2^* - \omega_2 - \Gamma^* - \rho v_2 + \frac{\bar{Q}_2^*}{b_2}) < 0, \text{ 若 } p_2^* - \omega_2 - \Gamma^* - \rho v_2 + \frac{\bar{Q}_2^*}{b_2} > 0 ;$$

反之，則 $\frac{\partial \pi_{T_2}^*}{\partial \mu_2} > 0$ 。

$$\frac{\partial \pi_2^*}{\partial \lambda_2} = \frac{\partial \pi_2^*}{\partial \kappa_2} = -v_2(\omega_2 - c_2 - \frac{\bar{Q}_2^*}{2b_2}) < 0, \text{ 若 } \omega_2 - c_2 - \frac{\bar{Q}_2^*}{2b_2} > 0 ;$$

反之，則 $\frac{\partial \pi_2^*}{\partial \lambda_2} = \frac{\partial \pi_2^*}{\partial \kappa_2} > 0$ 。

$$\frac{\partial \pi_2^*}{\partial \mu_1} = v_1(p_2^* - c_2 - \Gamma^* + \frac{\bar{Q}_2^*}{2b_2}) > 0, \text{ 若 } p_2^* - c_2 - \Gamma^* + \frac{\bar{Q}_2^*}{2b_2} > 0 ;$$

反之，則 $\frac{\partial \pi_2^*}{\partial \mu_1} < 0$ 。 $\frac{\partial \pi_2^*}{\partial \mu_2} = v_2(p_2^* - \omega_2 - \Gamma^* + \frac{\bar{Q}_2^*}{b_2}) > 0, \text{ 若 } p_2^* - \omega_2 - \Gamma^* + \frac{\bar{Q}_2^*}{b_2} > 0 ;$

反之，則 $\frac{\partial \pi_2^*}{\partial \mu_2} < 0$ 。

$$\frac{\partial \pi_3^*}{\partial \kappa_1} = (\bar{p}_3^* - c_3)v_1 > 0, \quad \frac{\partial \pi_3^*}{\partial \kappa_2} = (\bar{p}_3^* - c_3)v_2 > 0$$

收稿日期：2021-05-06
責任編輯、校對：江雅軒、劉舒霖