

及時化供應鏈整合批量與運送方法模式之研究

A STUDY OF INTEGRATED LOT-SIZE AND SHIPMENT-MODE MODELS FOR JIT SUPPLY CHAINS

黃浩良 陳新民 羅乾鐘
國立聯合大學經營管理學系

Hau-Lieng Huang Hsin-Min Chen Chien-Chung Lo
National united university
Department of Business Management

摘 要

本文提出兩種買賣方合作模式用來協助及時化（Just-in-time；JIT）供應鏈管理者規劃最佳整合批量與運送方法決策。本研究考慮供應鏈單一製造商（賣方）採用 JIT 系統生產多項物品供應多家實施 JIT 採購的採購商（買方），為了達成同步化物流體系，買賣雙方必須訂定最佳的生產、採購與運送批量排程決策，使得賣方生產計畫以及買方採購與運送計畫在時間上緊密配合。本研究考慮不同運費結構與運送政策，分別建立「直接運送」與「聯合運送」模式，並以成本下限函數搜尋法求解模式。比較兩種運送模式而發現：聯合運送雖可降低買方運送成本，卻導致買賣雙方儲存成本增加。反之，直接運送可降低買賣方的儲存成本，但產生較高的運送成本。為達成整體物流成本最小化，供應鏈管理者須依據實際買賣方成本與運費折扣結構，評估儲存成本與運送成本的抵換效應，決定出最佳批量與運送方法決策。

關鍵字：供應鏈，JIT 採購、JIT 生產、直接運送、聯合運送、整合批量模式。

ABSTRACT

This paper presents two buyer-vendor coordinated models used to determine the optimal integrated lot-size and shipment-mode decisions in just-in-time (JIT) supply chains. In these two models, a single vendor with JIT manufacturing provides multiple items for several buyers who replenish inventory with JIT purchasing. To synchronize material flows in the two-echelon JIT supply chain, the lot-size and scheduling decisions that integrate production, purchasing, and delivery activities should be made through buyer-vendor collaboration. Considering the freight discount scheme and two widely used

shipment policies, we formulate the direct shipment (DS) model and the joint shipment (JS) model. Then, effective searching algorithms based on the lower bound of the objective cost function are derived to solve each model. A comparison analysis between these two models indicated that the JS policy significantly reduces the delivery cost of the buyers but increases the holding cost of the vendor and the buyers due to freight consolidation. By contrast, the DS policy can decrease the buyers' holding cost while resulting in the high delivery cost. Therefore, the supply chain managers should deliberately evaluate the trade-off effect between the holding cost and the delivery cost, which are heavily dependent on the practical freight discount scheme, so as to obtain the advantageous lot-size and shipment-mode decisions with the minimum total cost in the JIT supply chain.

Key words: Supply chain, JIT purchasing, JIT manufacturing, Direct shipment, Joint shipment, Buyer-vendor coordination model.

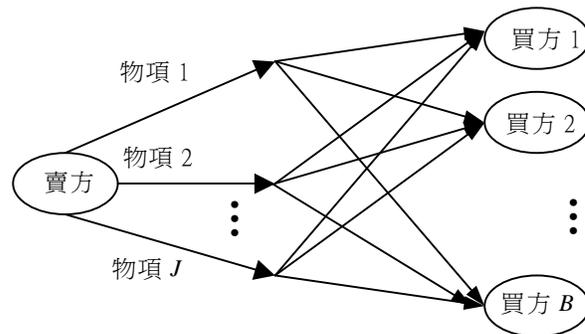
壹、前言

及時化生產與及時化採購已被證實可以大幅降低企業存貨與採購前置時間，然而實施 JIT 系統的成敗關鍵在於賣方與買方的密切協調合作。由於買賣雙方缺乏資訊揭露與整合規劃，早期 JIT 供應體系的賣方生產排程計畫無法配合買方 JIT 採購計畫，因而造成賣方被要求儲存過量的成品並提供頻繁的小批量運送，以預防買方缺貨斷料。然而賣方所產生的高儲存與運輸成本，終將透由供貨的價格轉嫁給買方，導致買方喪失成本競爭優勢。在目前激烈競爭環境下，為了兼具時間與成本競爭優勢，整合規劃買賣雙方生產、採購與運送計畫乃為重要的工作。

有效率的 JIT 運籌系統規劃必須連結賣方生產和買方採購活動，並以買賣雙方立場同時權衡生產、運送、採購與

儲存成本，整合出適當的生產、運送與採購批量與排程決策，使整體物流達成同步化 (Synchronization)，以降低物流成本，縮短採購前置時間，並提昇顧客供應服務。顯然地，此種整合買賣雙方生產、採購與配送批量與 JIT 排程的需求更普遍存在於鋼鐵、電子、機械、汽車等產業中。因此，本研究提出兩種不同運送政策的整合批量與運送方法模式，用來解決兩階層 JIT 供應鏈(如圖 1 所示)買賣雙方所面臨的生產、運送與採購批量與排程問題。

經濟生產批量與排程問題 (Economic lot scheduling problem; ELSP) 之相關研究首見於 1957 年 Eilon (1957, 1958)。該問題主要探討單一生產系統依據產能限制與產品需求，訂定出各項產品的生產批量與製造排程計畫。Hsu (1983) 以及 Gallego and Shaw (1997) 皆指出求解 ELSP 最佳解的程序十分複雜，不但要考慮各產品的經濟生

圖 1 單一賣方生產與運送 J 項物品給 B 名買方

產批量，而且必須兼顧生產時點的可行性。因此，多數研究學者對 ELSP 設定某些限制條件，再運用分析法導出限制版 ELSP 的最佳解。1962 年 Hansmann 提出共同週期 (Common cycle; CC) 法求解 ELSP 問題。CC 法限制各產品的生產活動須在同一週期內進行完成。Jones and Inman (1989) 發現各產品的設置與儲存成本比率大致相當時，運用 CC 法大多可以求得最佳解。但是，當部份產品具有較高或較低的設置或儲存成本時，CC 法無法保證可以獲得最佳解。Bomberger (1966) 另發展基期 (Basic period; BP) 法求解 ELSP。BP 法允許各產品擁有各自的週期時間，但各產品週期時間長度須為基期的整數倍，而且產品總生產時間不可超過基期，顯然，CC 法是 BP 法的一種特例。惟 BP 法不易求得最佳解，乃因基期長度與各產品的週期倍數必須同時決定，成爲一種複雜的組合最佳化問題。Bomberger (1966) 則利用動態規劃 (Dynamic programming) 求解最佳基期政策。Grznar and Riggle (1997) 也利用成本函數交點 (Cusp points) 搜尋 BP 版 ELSP 的最佳解。

上述 ELSP 相關研究著重於賣方生產批量與排程計畫，尙未顧及到生產計畫應與買方採購批量與運送計畫相互配合協調。因此，Blumenfeld, Burns, and Daganzo (1991) 考慮整合生產與運送計畫，即賣方的每一製造批量依據買方送貨排程計畫，以小批量多頻率方式出貨。Hahm and Yano (1995) 進一步將 ELSP 延伸至經濟生產與運送批量排程問題 (Economic lot and delivery scheduling problem; ELDSP)，他們不但規劃各產品的生產排序並且決定經濟生產批量與運送排程計畫。Hahm and Yano (1995) 另以二冪 (Power of two) 函數來規劃最適生產與運送週期，即以運送週期爲基期，並限制各產品的生產週期與運送週期具有二冪整數倍的關係。

ELDSP 模式雖然整合賣方生產與買方運送計畫，但卻未將賣方 JIT 生產與買方 JIT 採購政策納入考量。Aderohunmu, Mobolurin, and Bryson (1995) 探討在 JIT 系統下買賣雙方協調生產與採購政策。他們整合賣方 JIT 生產與買方 JIT 採購建

構出 JIT 整合批量模式。Banerjee and Kim (1995)、Ha and Kim (1997) 以及 Yang and Wee (2001) 等學者亦以整合買賣雙方觀點，共同分享雙方的生產、需求與成本資訊，協同規劃出買賣雙方互利的 JIT 聯合批量政策，其中包括生產、運送與採購批量政策。

上述 JIT 系統買賣雙方整合批量模式均僅探討單一物項，對於多物項的 JIT 供應鏈系統之貨品運費折扣批量決策與運送方法 (Transportation mode) 較少被探討研究。在運費折扣方面，Monahan (1984) 建議可利用價格折扣機制達成買賣雙方密切合作，並使用損益平衡價格 (Break-even price discount) 來設計買賣雙方互利的數量折扣計畫。他們並指出折扣效果引導買方增加訂購量，不但降低本身採購貨品成本，也降低賣方總設置成本。在實務上，運費在物流成本中佔有很高的比率。Barks (1990) 指出運輸成本大約佔銷售金額的 3%，因此 Russell and Krajewski (1991) 建議應將運費納入在經濟採購批量模式中考量。Baumol and Vinod (1970) 更進一步探討運費折扣 (Freight rate) 在物流成本中產生的節省效果。Tersine and Barman (1991) 提出整合價格與運費折扣模式，並分別討論全部數量 (All-units) 與部份數量 (Incremental) 價格折扣模式。Timothy, Dinesh, Kathy, and Melvin (1997) 延伸 Tersine, Larson, and Barman (1989) 之模式，考慮追求利潤極大化下發展最佳產品價格與採購批量政策。

在運送方法選擇方面，Hall (1987) 將貨品合併策略 (Consolidation strategy) 劃分成：(1) 存貨合併，即製成品累積至

某批量才運送；(2) 車輛併貨，即貨車到各製造商處取貨並運送給不同顧客；(3) 轉運站合併，即各製造商將成品送至轉運站，再集中運送。Min (1996) 亦將貨品合併方式分為：(1) 時間合併，即訂單延至某時點一同運輸；(2) 產品合併，即不同產品合併成較大載量運送；(3) 地理區域合併，即合併相同地區顧客並決定運送路徑順序。因此，Higginson and Bookbinder (1994) 指出貨品合併運送時必須考慮：那些顧客貨品可以合併運送、運送批量與時點、轉運站的決定等。此外，Klincewicz and Rosenwein (1997) 考慮不同的運輸方式，如空運、包裹、小量運送 (Less-than-truckload; LTL) 與整車運送 (Truckload; TL)，並納入送貨時窗限制，進而發展出運送數學模式用來決定產品合併決策。Pooley (1992) 提出運輸模式與演算法，用來協助運貨業者選擇小量運送 (LTL) 與整車運送 (TL) 政策，其中分析合併與非合併運送途程所產生的影響。Burns, Hall, Blumenfeld, and Daganzo (1985) 針對兩種基本配送策略，即直接運送 (Direct shipping) 與併貨運送 (Peddling) 提出成本模式，並對此兩運送方法進行分析比較。他們發現當貨品需求量少、運送距離長、顧客地區集中度高將採用併貨運送。但是他們的成本模式並未考慮多產品合併與運費折扣效果。

由上述文獻得知，迄今對於整合生產、運送、採購批量、運送排程與運送方式問題之研究仍為不足。然而，此種整合型問題的解決卻是達成買賣雙方長期合作與建立 JIT 供應鏈的重要關鍵。因此，本研究考慮不同運送方式與運費折扣，針對兩階層多物項 JIT 供應鏈之買賣

方批量與排程整合問題進行分析，並提出兩種運送政策的整合批量與運送模式，即直接運送（Direct Shipment；DS）與聯合運送（Joint Shipment；JS）模式，分別探討其對 JIT 供應鏈批量、排程決策與總聯合成本的影響。

貳、基本符號與問題狀況描述

一、基本符號

下列符號用以建構兩階層 JIT 供應鏈整合批量與運送方法模式。其他符號定義將於文中需要處增列。

決策變數：

T =賣方生產與買方採購之共同週期（CC）的時間長度，單位為年。

N_{bj} =買方 b 採購物項 j 在採購週期內的運送次數， $b=1,2,\dots,B$ ， $j=1,2,\dots,J$ 。

買方相關參數：

d_{bj} =買方 b 對物項 j 的需求率（件/年）； $D_j = \sum_{b=1}^B d_{bj}$ ， $b=1,2,\dots,B$ ， $j=1,2,\dots,J$ 。

Q_{bj} =買方 b 對物項 j 的採購批量（件/次）； $Q_{bj} = d_{bj}T$ ， $b=1,2,\dots,B$ ， $j=1,2,\dots,J$ 。

q_{bj} =每次由賣方處運送物項 j 至買方 b 的運送批量（件/次）； $q_{bj} = d_{bj}T / N_{bj}$ 。

S_{bj} =買方 b 採購物項 j 的訂購成本（\$/次）， $b=1,2,\dots,B$ ， $j=1,2,\dots,J$ 。

f_{bj} =買方 b 直接運送物項 j 的固定運送成本（\$/次）， $b=1,2,\dots,B$ ， $j=1,2,\dots,J$ 。

F_{bj} =買方 b 聯合運送物項 j 的固定運送成本（\$/次）， $b=1,2,\dots,B$ ， $j=1,2,\dots,J$ 。

φ_j =買方 b 採購物項 j 每件物項的購入價格（\$/件）， $j=1,2,\dots,J$ 。

W_j =物項 j 每單位的重量（公斤/件）， $j=1,2,\dots,J$ 。

v_{bk} =給定賣方至買方 b 的送貨路徑距離，物項每單位重量之運費 k （\$/重量單位），運費（ v_{bk} ）具有運輸重量折扣，即運重愈大，單位運費愈低；

$$v_{bk} = \begin{cases} v_{b1}, & \text{if } w_1 \leq q_{bj}W_j < w_2; \\ v_{b2}, & \text{if } w_2 \leq q_{bj}W_j < w_3; \\ \vdots \\ v_{bK}, & \text{if } w_K \leq q_{bj}W_j < w_{K+1}. \end{cases}$$

其中， w_k 是指運費 v_{bk} 所規定的運重下限，即 $w_k \leq q_{bj}W_j$ ， $k=1,2,\dots,K$ ；且 $v_{b1} > v_{b2} > \dots > v_{bK}$ 。

V_k = B 名買方採用貨品合併運送物項，給定 B 名買方聯合送貨路徑距離，物項每單位重量之聯合運送費率 k （\$/重量單位）；

$$V_k = \begin{cases} V_1, & \text{if } w_1 \leq \sum_{b=1}^B q_{bj}W_j < w_2; \\ V_2, & \text{if } w_2 \leq \sum_{b=1}^B q_{bj}W_j < w_3; \\ \vdots \\ V_K, & \text{if } w_K \leq \sum_{b=1}^B q_{bj}W_j < w_{K+1}. \end{cases}$$

其中， V_k 是指聯合運送之折扣費率 k ，其對應的運重下限為

$$w_k \leq \sum_{b=1}^B q_{bj} W_j; \text{ 且 } V_1 > V_2 > \dots > V_K。$$

H_{bj} = 買方 i 儲存物項 j 的單位儲存成本 (\$/(年×件))；其中， H_{bj} = (每件物項 j 購入價格 + 買方 b 的每件物項 j 運費) × 儲存費率 = $(\varphi_j + W_j v_{bk}) \times r$ ，若採用聯合運送政策時， $H_{bj} = (\varphi_j + W_j V_k) \times r$ 。

賣方相關參數：

P_j = 賣方對於物項 j 的生產率 (件/年)， $j=1,2,\dots,J$ 。

Q_{vj} = 賣方生產物項 j 的生產批量 (件/次)； $Q_{vj} = \sum_{b=1}^B d_{bj} T = D_j T$ ， $j=1,2,\dots,J$ 。

t_j = 賣方生產物項 j 的設置時間 (年/次)， $j=1,2,\dots,J$ 。

S_{vj} = 賣方生產物項 j 的設置成本 (\$/次)， $j=1,2,\dots,J$ 。

ζ_j = 賣方生產物項 j 每件物項的生產成本， $j=1,2,\dots,J$ 。

H_{vj} = 賣方儲存物項 j 的單位儲存成本 (\$/(年×件))；其中， H_{vj} = 每件物項 j 生產成本 × 儲存費率 = $\zeta_j \times r$ 。

二、基本假設

本研究建構兩階層 JIT 供應鏈整合批量與運送方法模式之基本假設為：

(一) 買方 b 需求率 (d_{bj})、賣方生產率 (P_j) 與各項成本參數皆為已知且固定。

(二) 賣方製造物項 j 的生產率 (P_j) 必須

大於全體買方對於物項 j 的需求率，即 $P_j > \sum_{b=1}^B d_{bj} = D_j$ 。值得注意的是，當 P_j 值設為趨近無窮大時，為立即補足貨品，此特殊情況為單一倉儲系統與多名零售商之配銷問題。

(三) 買方 b 的物項 j 單位儲存成本 (H_{bj}) 與採購價格 (φ_j) 和運費 (v_{bk}) 具有正比例關係，即 $H_{bj} = (\varphi_j + W_j v_{bk}) \times r$ ，其中 $W_j v_{bk}$ 為買方 b 每件物項 j 之運費成本。

(四) 賣方的物項 j 單位儲存成本 H_{vj} 與其單位生產成本 (ζ_j) 有關，即 $H_{vj} = \zeta_j \times r$ 。

(五) 賣方生產物項 j 的單位時間總生產成本 ($\zeta_j D_j$) 與決策變數 (T 和 N_{bj}) 無關，因此賣方總成本不包括總生產成本。

(六) 賣方至各買方之運送前置時間為確定值且為已知，因為運送前置時間不大，故可忽略在途運送儲存成本。

三、整合批量與運送方法問題之描述

本研究所考慮的兩階層樹狀供應鏈，其由單一賣方與 B 名買方成員所構成，如圖 1 所示。賣方使用 JIT 生產與共同週期 (T) 政策製造 J 種物品銷售給 B 名買方。買方 b 使用 JIT 採購政策與共同週期購買所需物項 j ，即每次採購量為 $Q_{bj} = d_{bj} T$ ，且 Q_{bj} 被等分成 N_{bj} 次運送批，各運送批量為 q_{bj} 。此種採購政策的優點為多名買方可達成共同補貨與小批量營運。賣方每次生產物項 j 之批量為 $Q_{vj} = D_j T$ 。生產批量 Q_{vj} 亦被等分成 N_{bj} 次運送批 q_{bj} 運送給買方 b ，即

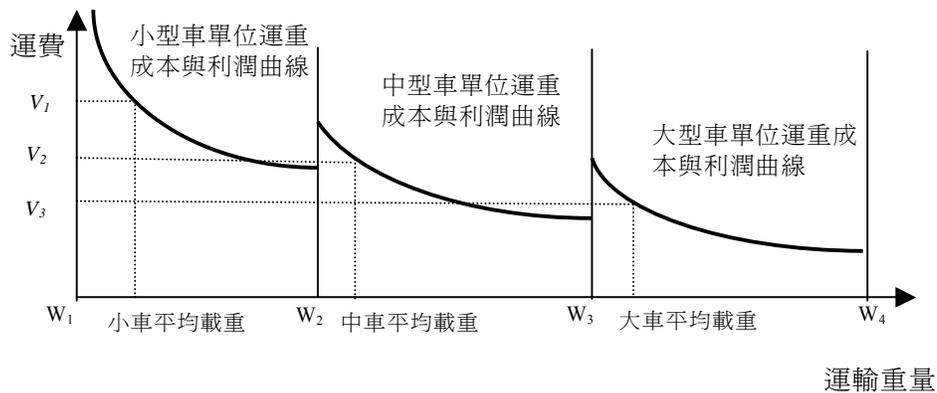


圖 2 不同車種之單位運重成本與利潤曲線

$Q_{vj} = \sum_{b=1}^B N_{bj} q_{bj} = \sum_{b=1}^B Q_{bj}$, $j = 1, 2, \dots, J$ 。因此若能決定出一最佳的共同週期 T^* 與運送次數 N_{bj}^* , 便可得到最佳生產、運送與採購批量。在此 JIT 供應鏈, 賣方專注生產作業, 故將貨品運送工作委託專業貨運業者 (Third party logistics) 負責。當貨品運費由買方所支付, 則賣方貨品售價不包括運費。若運費由賣方支付時, 該運費將透由貨品價格轉嫁至買方。貨運業者依據買方之運送距離與重量, 選擇不同載重貨車進行運送, 以獲得經濟運送規模效果。因此業者提供全量 (All-units) 運費折扣, 即買方的運重 (或體積) 達到所規定的運重限制時, 則可獲得運費折扣。此運費折扣也隱含考慮到實務不同車種的載重限制。例如, 貨運業者擁有小、中、大三種不同載重貨車, 且各貨車的最小與最大運重限制分別為 $[w_1 \leq \text{小車運重}] < w_2$, $[w_2 \leq \text{中車運重} < w_3]$ 與 $[w_3 \leq \text{大車運重} < w_4]$ 。各貨車運輸成本包括: 司機與作

業員薪資、車輛維修、折舊、油料等費用。貨運業者將各貨車運送成本加上利潤再除以各貨車每車平均運量, 可得單位運重價格, 即 V_1, V_2 與 V_3 。最後依據各型貨車的載重限制 $[w_k, w_{k+1}]$ 與運費 V_k , 以規劃出適當的全量運費折扣計畫, 有關此運費結構如圖 2 所示。上述問題包括運送方法抉擇與經濟生產與運送批量排程決策, 其為 JIT 供應鏈廠商所面臨的重要的整合性問題。因此, 買賣雙方與貨運業者須分享生產、需求與運費等重要資訊, 並共同協調規劃出最佳共同週期 (T^*)、運送次數 (N_{bj}^*) 與最佳運送方案, 使整體供應鏈之總聯合成本 (Total joint cost) 達最小化。

參、模式建構

本節將建立直接運送 (買方不合作)

同週期內，物項 j 時間加權之累積運送存貨水準 (A1) 為

$$A1 = \sum_{b=1}^B \left(\sum_{n=1}^{N_{bj}} n \right) q_{bj} \frac{T}{N_{bj}} = \frac{T^2}{2} \left[D_j + \sum_{b=1}^B \frac{d_{bj}}{N_{bj}} \right]. \quad (3)$$

另一方面，在期間 $[0, T + \sum_{b=1}^B q_{bj} / P_j]$ 內，物項 j 時間加權之累積生產存貨數量 (梯形面積 A2) 為

$$\begin{aligned} A2 &= \frac{D_j T}{2} \left[2 \left(T + \frac{1}{P_j} \sum_{b=1}^B q_{bj} \right) - \frac{T D_j}{P_j} \right] \\ &= D_j T^2 \left[1 + \frac{1}{P_j} \left(\sum_{b=1}^B \frac{d_{bj}}{N_{bj}} \right) - \frac{D_j}{2 P_j} \right]. \quad (4) \end{aligned}$$

在單位時間 (每年) 內，賣方生產物項 j 的平均存貨水準 (I_j) 為

$$\begin{aligned} I_j &= \frac{1}{T} [A2 - A1] \\ &= \frac{T}{2} \left[\left(1 - \frac{D_j}{P_j} \right) (D_j - 2 \sum_{b=1}^B \frac{d_{bj}}{N_{bj}}) + \sum_{b=1}^B \frac{d_{bj}}{N_{bj}} \right]. \quad (5) \end{aligned}$$

三、賣方總成本函數

賣方總成本包括設置成本與儲存成本。賣方生產物項 j 每年總成本函數為

$$\begin{aligned} VC_j(T, \mathbf{N}) &= S_{vj} / T + H_{vj} I_j \\ &= \frac{S_{vj}}{T} + \frac{H_{vj} T}{2} \left[\left(1 - \frac{D_j}{P_j} \right) (D_j - 2 \sum_{b=1}^B \frac{d_{bj}}{N_{bj}}) + \sum_{b=1}^B \frac{d_{bj}}{N_{bj}} \right]. \quad (6) \end{aligned}$$

其中， \mathbf{N} 為運送次數 N_{bj} 之集合， $\mathbf{N} = \{[N_{11}, N_{12}, \dots, N_{1J}], [N_{21}, N_{22}, \dots, N_{2J}], \dots, [N_{B1}, N_{B2}, \dots, N_{BJ}]\}$ 。

方程式(6)推廣至多物項狀況，賣方生產 J 種物項之年總成本函數 $VC(T, \mathbf{N})$

為

$$VC(T, \mathbf{N}) = \sum_{j=1}^J VC_j(T, \mathbf{N}). \quad (7)$$

四、買方採購與儲存成本函數

買方 b 使用 JIT 採購政策，在共同週期中每次採購量 Q_{bj} 被等量分割成 N_{bj} 次小批量交貨，因此每次運送量為 $d_{bj} T / N_{bj}$ 。 B 名買方每年採購與儲存物項 j 的總成本函數 $BC_j(T, \mathbf{N})$ 為

$$BC_j(T, \mathbf{N}) = \sum_{b=1}^B \left[\frac{S_{bj}}{T} + \frac{H_{bj} d_{bj} T}{2 N_{bj}} \right]. \quad (8)$$

五、買方運送成本函數

運送成本與運送政策具有密切關連。在運送政策方面，買方將依據不同的生產環境與運費折扣計畫，適當地選擇「直接運送」或「聯合運送」以運輸貨品。所謂直接運送 (DS) 是指各買方獨自決定其運送排程計畫，即各買方的運送時點可以不一致，且其所需貨品直接由賣方處運送至各買方處。相對地，聯合運送 (JS) 則是整合規劃多名買方運送排程計畫，即決定出共同運貨時點，並合併各買方之運送批量，再依循事前所規劃之車輛途程 (Vehicle Route)，使用一趟貨車由賣方處依序地運送至多名買方處。顯然地，採用聯合運送政策則將可合併各買方的小運送量，以獲得較高之運費折扣，進而降低運送成本。

當 B 名買方採用直接運送方式，在單位時間內物項 j 運送至買方 b 的總運送次數為 N_{bj} / T ，每次時買方 b 須支付與

包裝、裝卸、和接收活動有關之固定運送費用 (f_{bj})。每年買方採購物項 j 的直接運送成本 (DSC_j) 為

$$DSC_j(T, \mathbf{N}) = \sum_{b=1}^B \left[\frac{N_{bj} f_{bj}}{T} + d_{bj} W_j v_{bk} \right]. \quad (9)$$

方程式(9)之 v_{bk} 必須符合運費折扣 k 所規定重量限制, 即 $w_k \leq q_{bj} W_j, k=1, 2, \dots, K$ 。

在另一方面, 若 B 名買方採用聯合運送方式, 則各買方在共同週期內的運送次數 (或週期) 必須相同一致, 即 $N_{1j} = N_{2j} = \dots = N_{Bj}, j=1, 2, \dots, J$, 如此賣方才能在同一時點對每位買方出貨, 進行併貨運送。因此, 令 $N_{bj} = N_j, b=1, 2, \dots, B$, 使得各買方在採購物項 j 的運送頻率皆相同。另外, 貨運業者與買方必須規劃出一條聯合運送的車輛路徑, 貨運業者並依據此送貨距離決定聯合運送費率折扣 (V_k)。買方 b 聯合運送物項 j 之固定運送費率為 F_{bj} 。由於某些固定運送費用可以由 B 名買方共同分攤, 故 $F_{bj} \leq f_{bj}, b=1, 2, \dots, B; j=1, 2, \dots, J$ 。因此, B 名買方採購物項 j 的每年聯合運送成本 (JSC_j) 為

$$JSC_j(T, \mathbf{N}) = \frac{N_j \sum_{b=1}^B F_{bj}}{T} + D_j W_j V_k. \quad (10)$$

方程式(10)之 V_k 乃取決於合併運輸重量須滿足運費折扣重量區間, 即 $w_k \leq \sum_{b=1}^B q_{bj} W_j < w_{k+1}, k=1, 2, \dots, K$ 。

六、買方總成本函數

買方每年總成本函數包括採購、儲存與運送成本。推廣至多物項狀況, B

名買方採用直接運送 (DS) 政策的每年總成本函數為

$$BC_{DS}(T, \mathbf{N}) = \sum_{j=1}^J [BC_j(T, \mathbf{N}) + DSC_j(T, \mathbf{N})]. \quad (11)$$

另外, B 名買方採用聯合運送 (JS) 的每年總成本函數為

$$BC_{JS}(T, \mathbf{N}) = \sum_{j=1}^J [BC_j(T, \mathbf{N}) + JSC_j(T, \mathbf{N})]. \quad (12)$$

七、直接運送模式

若買賣雙方同意採用直接運送, 則將賣方總成本函數 $VC(T, \mathbf{N})$ 與買方總成本函數 $BC_{DS}(T, \mathbf{N})$ 予以合併, 再考慮到共同週期與運費折扣之重量限制, 得到直接運送 (DS) 模式, 其為

$$\text{Min: } C_{DS}(T, \mathbf{N}) = \sum_{j=1}^J [VC_j(T, \mathbf{N}) + BC_j(T, \mathbf{N}) + DSC_j(T, \mathbf{N})]; \quad (13)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j=1}^J t_j / \left[1 - \sum_{j=1}^J (D_j / P_j) \right] \leq T; \quad (14)$$

$$\text{Min: } \{ v_{bk} \mid w_k \leq q_{bj} W_j < w_{k+1}, k=1, 2, \dots, K \} \\ , b=1, 2, \dots, B, j=1, 2, \dots, J; \quad (15)$$

$$N_{bj} = 1, 2, \dots, d_{bj} T, b=1, 2, \dots, B, j=1, 2, \dots, J. \quad (16)$$

八、聯合運送模式

當買賣雙方實施聯合運送時, 則將賣方總成本函數 $VC(T, \mathbf{N})$ 與買方聯合運送總成本函數 $BC_{JS}(T, \mathbf{N})$ 予以合併, 並加入週期與重量限制。兩階層供應鏈聯合運送 (JS) 模式為

$$Min: C_{JS}(T, \mathbf{N}) = \sum_{j=1}^J [VC_j(T, \mathbf{N}) + BC_j(T, \mathbf{N}) + JSC_j(T, \mathbf{N})]; \quad (17)$$

$$s.t. \sum_{j=1}^J t_j / \left[1 - \sum_{j=1}^J (D_j / P_j) \right] \leq T; \quad (18)$$

$$Min: \{V_k | w_k \leq \sum_{b=1}^B q_{bj} W_j < w_{k+1}, k = 1, 2, \dots, K\}, \\ j = 1, 2, \dots, J; \quad (19)$$

$$N_j = 1, 2, \dots, D_j T, \quad j = 1, 2, \dots, J. \quad (20)$$

$$\theta_j = \frac{D_j H_{vj}}{2} \left(1 - \frac{D_j}{P_j} \right), \quad j = 1, 2, \dots, J; \quad (22)$$

$$\phi_{bj} = \frac{d_{bj}}{2} \left[H_{bj} + H_{vj} - 2H_{vj} \left(1 - \frac{D_j}{P_j} \right) \right], \quad b=1, \dots, B, j=1, \dots, J. \quad (23)$$

給定 N_{bj} 與 v_{bk} 特定值，由 $\partial C_{DS} / \partial T = 0$ ，可得

$$T^2 = \frac{\sum_{j=1}^J S_{vj} + \sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J (S_{bj} + N_{bj} f_{bj})}{\sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J (\phi_{bj} / N_{bj}) + \sum_{j=1}^J \theta_j}. \quad (24)$$

肆、模式求解

本節提出以成本下限函數為基礎之搜尋法，用來求解 DS 模式與 JS 模式的最佳週期時間與運送次數決策。DS 模式與 JS 模式的搜尋程序大致相同，兩者主要差異之處在於運送次數計算與運費折扣判斷。DS 模式是使用個別買方 b 的每批運送重量 ($q_{bj} W_j$) 來決定直接運送最低運費 (v_{bk})。相對的，JS 模式是根據 B 名買方的合併貨品運輸重量 ($\sum_{b=1}^B q_{bj} W_j$) 來決定其聯合運費 (V_k)。

一、 T 與 N_{ij} 之啓發解

首先將目標函數簡化以利推導與分析，經參數簡化後，可得到

$$C_{DS}(T, \mathbf{N}) = \sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J \left[\frac{S_{bj} + N_{bj} f_{bj}}{T} + \frac{T \phi_{bj}}{N_{bj}} + d_{bj} W_j V_{bj} \right] + \sum_{j=1}^J \left[T \theta_j + \frac{S_{vj}}{T} \right]. \quad (21)$$

其中，

另外，解除 N_{bj} 為整數的限制，並令 $\partial C_{DS} / \partial N_{bj} = 0$ ，可得到

$$N_{bj}^2 = \frac{\phi_{bj} T^2}{f_{bj}}, \quad b=1, 2, \dots, B; \quad j=1, 2, \dots, J. \quad (25)$$

由方程式(25)得

$$\sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J N_{bj}^2 f_{bj} = \sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J T^2 \phi_{bj}. \quad (26)$$

當 \mathbf{N} 被釋放為實數，則將式(26)代入式(24)整理，可求得使 $C_{DS}(T, \mathbf{N})$ 達最小化之 \hat{T} ， \hat{T} 為

$$\hat{T} = \left[\frac{\sum_{j=1}^J S_{vj} + \sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J S_{bj}}{\sum_{j=1}^J \theta_j} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (27)$$

另外， $C_{DS}(T, \mathbf{N})$ 與運送次數 N_{bj} 及運費 v_{bk} 兩成本項目攸關的成本函數為

$$\eta_k(N_{bj}) = \frac{N_{bj} f_{bj}}{T} + \frac{T \phi_{bj}}{N_{bj}} + d_{bj} W_j v_{bk}, \quad b=1, 2, \dots, B; \quad j=1, 2, \dots, J; \quad k=1, 2, \dots, K. \quad (28)$$

利用差分法可求解使 $\eta_k(N_{bj})$ 達到

最小化的最佳整數值 \hat{N}_{bj} ，故 \hat{N}_{bj} 須滿足下列兩式

$$\eta_k(\hat{N}_{bj}) \leq \eta_k(\hat{N}_{bj} - 1); \quad (29)$$

和

$$\eta_k(\hat{N}_{bj}) \leq \eta_k(\hat{N}_{bj} + 1). \quad (30)$$

將式(29)與(30)予以整理， \hat{N}_{bj} 為

$$\hat{N}_{bj} (\hat{N}_{bj} - 1) \leq \frac{\phi_{bj} T^2}{f_{bj}} \leq \hat{N}_{bj} (\hat{N}_{bj} + 1), \quad b=1,2,\dots,B; j=1,2,\dots,J. \quad (31)$$

二、建立成本下限函數

推導 $C_{DS}(T, \mathbf{N})$ 對應於 T 的成本下限函數 ($LB_1(T)$) 時，先將 N_{bj} 的整數限制放寬為實數，並分別令 N_{bj} 與 v_{bk} 為

$$N_{bj} = \left[\frac{\phi_{bj} T^2}{f_{bj}} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad b=1,2,\dots,B; j=1,2,\dots,J, \quad (32)$$

$$v_{bk} = v_{bK}, \quad b=1,2,\dots,B. \quad (33)$$

其中， $v_{bk} = \text{Min}\{v_{bk} | k=1,2,\dots,K\}$ 。將式(32)與(33)代入 $C_{DS}(T, \mathbf{N})$ 中，即得 $C_{DS}(T, \mathbf{N})$ 對應於 T 的成本下限函數，其為

$$LB_1(T) = \sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J \left[\frac{S_{bj}}{T} + (\phi_{bj} f_{bj})^{\frac{1}{2}} + \left(\frac{f_{bj}}{\phi_{bj}} \right)^{\frac{1}{2}} + d_{bj} W_j v_{bK} \right] + \sum_{j=1}^n \left[T \theta_j + \frac{S_{vj}}{T} \right]. \quad (34)$$

$LB_1(T)$ 具有二項重要性質。第一， $LB_1(T)$ 對應於 T 為一連續凸函數，其最

小點發生在 \hat{T} ，即 $LB_1(T)$ 在 $[0, \hat{T}]$ 區間為遞減函數，在 $[\hat{T}, \infty]$ 區間為遞增函數。第二， $LB_1(T)$ 是總成本函數 $C_{DS}(T, \mathbf{N})$ 之下限函數，即對於任何 T 值， $C_{DS}(T, \mathbf{N}) - LB_1(T) \geq 0$ 。本研究運用此二項性質，發展出有效率的成本下限函數搜尋法。

三、成本下限函數為基礎之搜尋法

運費 (v_{bk}) 與運送次數 (N_{bj}) 之間具有相互影響效果，根據式(31)得知運費會經由 ϕ_{bj} 影響最佳運送次數 \hat{N}_{bj} ，然而 \hat{N}_{bj} 亦會透過 $q_{bj} W_j$ 來影響 v_{bj} 。Tersine (1994) 曾提出全量 (All-units) 數量折扣求解程序，來解決價格折扣與採購批量之間相互影響的最佳決策問題。本研究修改 Tersine 之演算流程，以同時決定出最佳運送次數 (N_{bj}^*) 與最佳運費折扣 (v_{bk})。有關此最佳運送次數與折扣運費搜尋程序，可參考圖 4 之演算流程。另外，本研究再運用式(34)之成本下限函數找出最佳共同週期 (T^*)。本研究合併以上二種求解程序，而發展以成本下限函數為基礎之搜尋法，求解最佳共同週期與運送次數。有關成本下限函數搜尋法之詳細求解程序說明如下：

步驟 1：初始化

- 1.1 訂定共同週期時間之最小精確位數，令 $\Delta T = 0.0001$ 。
- 1.2 利用式(2)得 T_{LB} ，式(27)得到 \hat{T} 。
- 1.3 若 $T_{LB} < \hat{T}$ ，則將 \hat{T} 代入「最佳運費與運送次數搜尋程序」(見圖 4) 求出在某共同週期時間下最佳運送次數 $\bar{\mathbf{N}}$ 。令目前求得最佳解值為 $C_{DS}^*(T^*, \mathbf{N}^*) = C_{DS}(\hat{T}, \bar{\mathbf{N}})$ ，並移至步

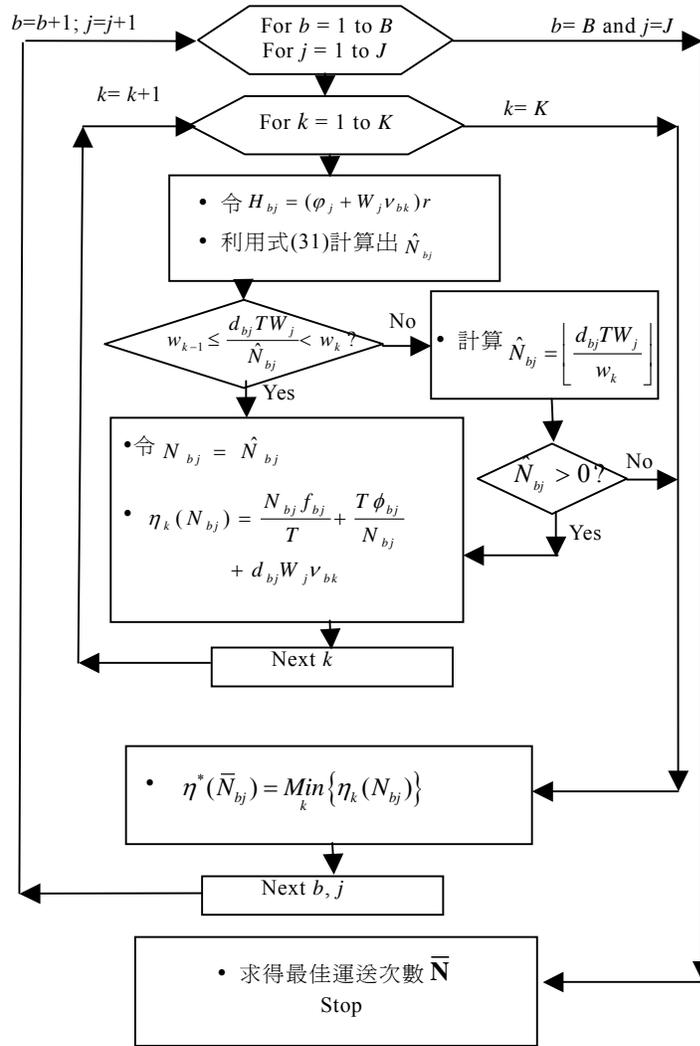


圖 4 最佳運費與運送次數之搜尋程序

驟 2 繼續搜尋最佳 T 值。

- 1.4 若 $T_{LB} \geq \hat{T}$ ，則令 $\hat{T} = T_{LB}$ ，將 \hat{T} 代入「最佳運費與運送次數搜尋程序」求得在某共同週期時間下最佳運送次數 \bar{N} 。令目前最佳解值為 $C_{DS}^*(T^*, N^*) = C_{DS}(\hat{T}, \bar{N})$ ，並移至步驟 3 搜尋最佳 T 值。

步驟 2：在 $[T_{LB}, \hat{T}]$ 區間左移搜尋最佳解 T^* 。

- 2.1 令 $T = \hat{T} - \Delta T$ ，將 T 代入「最佳運費與運送次數搜尋程序」求得 \bar{N} ，計算 $C_{DS}(T, \bar{N})$ 。

- 2.2 若 $C_{DS}(T, \bar{N}) < C_{DS}^*(T^*, N^*)$ ，則令 $C_{DS}^*(T^*, N^*) = C_{DS}(T, \bar{N})$ 。

- 2.3 若 $LB_1(T) < C_{DS}^*(T^*, N^*)$ ，則移至步驟 2.1 重覆執行上述搜尋程序；否則，移至步驟 3 繼續搜尋最佳 T 值。

步驟 3：在 $[\hat{T}, \infty]$ 區間右移搜尋最佳解 T^* 。

- 3.1 令 $T = \hat{T} + \Delta T$ ，將 T 代入「最佳運費與運送次數搜尋程序」求得 \bar{N} ，計算 $C_{DS}(T, \bar{N})$ 。
- 3.2 若 $C_{DS}(T, \bar{N}) < C_{DS}^*(T^*, N^*)$ ，則令 $C_{DS}^*(T^*, N^*) = C_{DS}(T, \bar{N})$ 。
- 3.3 若 $LB_1(T) < C_{DS}^*(T^*, N^*)$ ，則移至步驟 3.1 重覆執行上述搜尋程序；否則，移至步驟 4。

步驟 4：搜尋出最佳解 T^* ， N^* 與 $C_{DS}^*(T^*, N^*)$ ，停止搜尋程序。

JS 模式之求解程序與 DS 模式大致相同，僅須修改 DS 模式求解程序的三個方程式，即運送次數 \hat{N}_j 、成本下限函數 $LB_2(T)$ 與攸關成本函數 $\eta_k(N_j)$ ；其中，攸關成本 $\eta_k(N_j)$ 是指在總聯合成本中與決策變數 (N_j) 與運費 (V_k) 有關之成本項。因此，在給定 T 特定值下， \hat{N}_j 的整數最佳解值為

$$\hat{N}_j(\hat{N}_j - 1) \leq \frac{\sum_{b=1}^B \phi_{bj} T^2}{\sum_{b=1}^B F_{bj}} \leq \hat{N}_j(\hat{N}_j + 1). \quad (35)$$

另外， $LB_2(T)$ 與 $\eta_k(N_j)$ 分別為

$$LB_2(T) = \sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J \left[\frac{S_{bj}}{T} + \left(\phi_{bj} \sum_{b=1}^B F_{bj} \right)^{\frac{1}{2}} + \left(\frac{\sum_{b=1}^B F_{bj}}{\phi_{bj}} \right)^{\frac{1}{2}} + d_{bj} W_j V_k \right] + \sum_{j=1}^J \left[T \theta_j + \frac{S_{vj}}{T} \right]. \quad (36)$$

$$\eta_k(N_j) = \frac{N_j \sum_{b=1}^B F_{bj}}{T} + \frac{T \sum_{b=1}^B \phi_{bj}}{N_j} + D_j W_j V_k. \quad (37)$$

伍、數值範例說明與分析

本研究考慮之個案為賣方生產 5 種物項，並委託專業貨運業者配送給 3 名地理位置相近之買方。表 1 顯示買賣雙方的相關資料，包括：產品重量、價格、需求率、訂購成本、固定運送成本、生產率、設置時間、生產成本與設置成本；其中，賣方的產能利用率為 80% (即 $\sum_{j=1}^5 D_j / P_j = 0.8$)。

貨運業者所訂定之直接和聯合運送運輸費率以及載重資料彙總在表 2，其中買方 1 與 2 的運輸距離大致相當，所以運送費率一致，但買方 3 之運送距離較短故運費較低。相對的，由於聯合運送每次運輸距離較長，因此在運輸費率上較高。本例題平均每件運送成本 ($W_j V_{b1}$) 與物項 j 價格 (ϕ_j) 的比值大致為 4%。另外， F_{bj} 與 f_{bj} 之比值為 90%，以及單位儲存成本率 (r) 為 10%。

首先考慮採用直接運送，運用 DS 模式擬定生產、採購與運送之批量排程計畫。使用式(27)與(31)求解 \hat{T} 與 \hat{N}_{bj} ，得到 $T_{LB} = 0.0563$ 年， $\hat{T} = 0.1246$ 年與初始解 $\hat{N} = \{ [\hat{N}_{11}, \dots, \hat{N}_{15}], [\hat{N}_{21}, \dots, \hat{N}_{25}], [\hat{N}_{31}, \dots, \hat{N}_{35}] \} = \{ [2, 2, 2, 3, 3], [2, 2, 1, 4, 2], [1, 1, 2, 2, 3] \}$ ，此初始方案的總聯合成本為 $C_{DS}(\hat{T}, \hat{N}) = \$84,333$ 。再進一步考慮運費折扣之最適批量決策，將 \hat{t} 代入「最佳運費與運送次數搜尋程序」求解 \bar{N} ，故求得 $\bar{N} = \{ [\bar{N}_{11}, \dots, \bar{N}_{15}], [\bar{N}_{21}, \dots, \bar{N}_{25}], [\bar{N}_{31}, \dots, \bar{N}_{35}] \} = \{ [2, 2, 2, 1, 1], [2, 1, 1, 1, 2], [1, 1, 1, 1, 1] \}$ ，此運費折扣方案之總

表 1 數值範例之廠商基本資料

模式參數		物項				
		$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$
單位重量	W_j	2.0	1.5	1.0	2.0	1.0
單位價格	ϕ_j	40	35	30	45	25
買方 1 $b=1$	d_{1j}	1,200	1,800	2,700	3,600	8,000
	S_{1j}	20	18	19	18	20
	f_{1j}	5	7	7	7	9
	F_{1j}	4.5	6.3	6.3	6.3	8.1
買方 2 $b=2$	d_{2j}	1,200	3,000	1,800	6,000	3,200
	S_{2j}	22	20	21	20	22
	f_{2j}	5	9	7	8	6
	F_{2j}	4.5	8.1	6.3	7.2	5.4
買方 3 $b=3$	d_{3j}	600	1,200	4,500	2,400	4,800
	S_{3j}	20	18	19	18	20
	f_{3j}	5	8	8	7	6
	F_{3j}	4.5	7.2	7.2	6.3	5.4
賣方	P_j	15,000	60,000	90,000	60,000	80,000
	t_j	0.00125	0.00125	0.00250	0.00250	0.00375
	ζ_j	36	32	27	41	22
	S_{vj}	100	80	120	160	140

表 2 產品運輸之重量與運費對應表

重量等級與運費			直接運送			聯合運送
			買方 1	買方 2	買方 3	
$w_{k-1} \leq$	運重	$< w_k$	v_{1k}	v_{2k}	v_{3k}	V_k
$0 \leq$	運重	< 500	\$ 1.05	\$ 1.05	\$ 1.00	\$1.10
$500 \leq$	運重	< 1000	\$ 0.90	\$ 0.90	\$ 0.85	\$0.95
$1000 \leq$	運重	< 2000	\$ 0.80	\$ 0.80	\$ 0.75	\$0.85
$2000 \leq$	運重	< 4000	\$ 0.75	\$ 0.75	\$ 0.70	\$0.80
$4000 \leq$	運重	< 10000	\$ 0.70	\$ 0.70	\$ 0.65	\$0.75

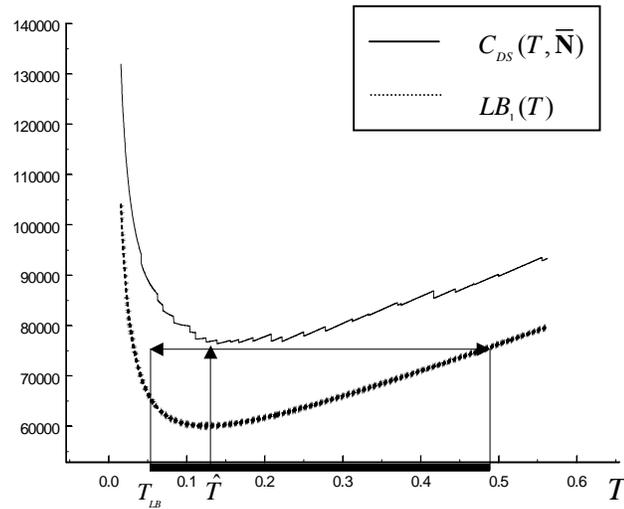


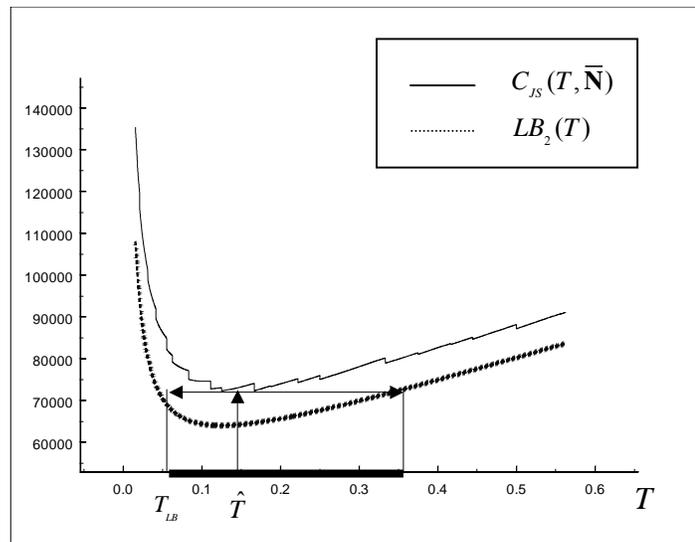
圖 5 DS 模式之搜尋 T 值過程

成本為 $C_{DS}(\hat{T}, \bar{\mathbf{N}}) = \$77,526$ 。接下來應用「成本下限函數搜尋法」求解最佳之共同週期與運送次數，其求解結果為 $T^* = 0.1389$ 年， $\mathbf{N}^* = \{ [N_{11}^*, \dots, N_{15}^*], [N_{21}^*, \dots, N_{25}^*], [N_{31}^*, \dots, N_{35}^*] \} = \{ [2, 2, 2, 1, 1], [2, 1, 2, 1, 3], [2, 1, 1, 1, 1] \}$ ，採用直接運送政策之最佳總聯合成本為 $C_{DS}(T^*, \mathbf{N}^*) = \$76,388$ 。

運用成本下限函數搜尋法搜索最佳週期時間與最佳運送次數，需分成二個方向搜尋。其一，由 \hat{T} 開始遞減 T 值向左移搜尋（步驟 2），其二，由 \hat{T} 遞增 T 值向右移搜尋（步驟 3），在各搜尋程序中一旦發現成本下限函數 $LB_1(T)$ 超過或等於目前最佳總成本時，則立即中止搜尋。此乃因為任何週期時間所對應的最佳成本值是不可能低於成本下限值，當搜尋區域所對應的 $LB_1(T)$ 值過大時，表示該區域不存在最佳解值，故可停止搜

索。此一縮減搜索空間的機制，可以使得本搜尋法節省大量的電腦執行時間。例如，本範例之求解程序在 Pentium III-600 之個人電腦上執行，一共產生 4,702 次迭代搜尋，其搜尋程序僅需 10.2 秒，有關詳細 T 值搜尋程序以及成本函數 $C_{DS}(T, \bar{\mathbf{N}})$ 與下限函數 $LB_1(T)$ 變化情況如圖 5 表示。

反之，若貨運業者結合賣方與三名買方採用聯合運送，則使用 JS 模式進行規劃，以發展出適當的生產與運送批量排程計畫。使用式(27)與(34)求解 \hat{T} 與值 $\hat{\mathbf{N}}$ 。可得到 $\hat{T} = 0.1246$ 年與 $\hat{\mathbf{N}} = [\hat{N}_1, \hat{N}_2, \hat{N}_3, \hat{N}_4, \hat{N}_5] = [2, 2, 2, 3, 3]$ ，根據 $N_{bj} = N_j$ ， $b = 1, 2, 3$ ， $\hat{\mathbf{N}}$ 亦可表示為： $\hat{\mathbf{N}} = \{ [\hat{N}_{11}, \dots, \hat{N}_{15}], [\hat{N}_{21}, \dots, \hat{N}_{25}], [\hat{N}_{31}, \dots, \hat{N}_{35}] \} = \{ [2, 2, 2, 3, 3], [2, 2, 2, 3, 3], [2, 2, 2, 3, 3] \}$ ，此方案之總聯合成本

圖 6 JS 模式之搜尋 T 值過程

為 $C_{JS}(\hat{T}, \hat{\mathbf{N}}) = \$79,516$ 。再考慮運費折扣政策，將 $\hat{T}=0.1246$ 代入「最佳運費與運送次數搜尋程序」求解 $\bar{\mathbf{N}}$ ，求得 $\bar{\mathbf{N}} = [\bar{N}_1, \bar{N}_2, \bar{N}_3, \bar{N}_4, \bar{N}_5] = [1, 1, 1, 1, 1]$ ，此方案之總成本為 $C_{JS}(\hat{T}, \bar{\mathbf{N}}) = \$73,121$ 。再應用「成本下限函數搜尋法」求解最佳之共同週期與運送次數，搜尋結果為 $T^* = 0.1250$ 年， $\mathbf{N}^* = [N_1^*, N_2^*, N_3^*, N_4^*, N_5^*] = [1, 1, 1, 1, 1]$ ，最佳總聯合成本為 $C_{JS}(T^*, \mathbf{N}^*) = \$72,328$ ，詳細搜尋程序如圖 6 表示。

觀察圖 5 與 6 可得知初始解 (\hat{T}) 與最佳解 (T^*) 差異不大。例如 DS 模式與 JS 模式之 T^* 皆與 \hat{T} 大致相當。此因 \hat{T} 為鬆弛 \mathbf{N} 的整數限制之最佳解。但本模式之最佳運送次數必須限制為整數並且考慮運費折扣政策，導致 T^* 與 \hat{T} 有所差異。據此，本研究得以 \hat{T} 值作為搜索 T^* 之起始值，以提昇本演算法之求解效率。

依本範例之數據，進一步分析運費折扣對於直接、聯合運送政策與買賣雙方成本所造成之影響。本研究運用折扣變動率 (α) 來改變運費折扣之幅度，經變動後的直接與聯合運送運費可以分別表示為： $v'_{bk} = v_{b1} - \alpha(v_{b1} - v_{bk})$ 與 $V'_k = V_1 - \alpha(V_1 - V_k)$ ， $k = 1, 2, \dots, K$ ， $0 \leq \alpha \leq 1$ 。例如，當 $\alpha = 1.0$ 時，表示採用目前運費折扣。 $\alpha = 0.8$ 時，其折扣幅度縮小，新的聯合運送運費為 $[V'_1, V'_2, V'_3, V'_4, V'_5] = [1.1, 0.98, 0.90, 0.86, 0.82]$ 。若 $\alpha = 0$ 時，則表示貨運業者的運費不提供任何重量折扣。在此運費折扣分析中， α 值設定六個水準，即 $\alpha \in [1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2, 0]$ 。在不同的運送費率 (v'_{bk} 與 V'_k)，直接與聯合運送政策下買賣雙方各項成本彙總於表 3，觀察表 3 可獲得以下重要概念：

1. 當運費折扣變動率 (α) 較大時，聯合運送政策的最佳共同週期較短、運送

表 3 運送費率對於運送政策與成本之影響

α^\dagger	模式	決策變數		買方			賣方			總聯合成本	
		共同週期	平均運送次數	運送成本	儲存成本	訂購成本	買方總成本	儲存成本	設置成本		賣方總成本
1.0	DS	0.1389	1.53	57,849	9,555	2,123	69,527	2,543	4,318	6,861	76,388
	JS	0.1250	1.00	53,749	9,960	2,359	66,068	1,462	4,798	6,260	72,328
0.8	DS	0.1389	1.53	59,767	9,568	2,123	71,458	2,543	4,318	6,861	78,319
	JS	0.1250	1.00	57,229	9,982	2,359	69,570	1,462	4,798	6,260	75,830
0.6	DS	0.1389	1.53	61,685	9,581	2,123	73,389	2,543	4,318	6,861	80,250
	JS	0.1250	1.60	62,376	6,367	2,359	71,102	3,353	4,798	8,151	79,253
0.4	DS	0.1250	1.33	63,869	8,977	2,359	75,205	2,083	4,798	6,881	82,086
	JS	0.1250	1.60	65,456	6,379	2,359	74,194	3,353	4,798	8,151	82,345
0.2	DS	0.1250	1.80	66,810	5,939	2,359	75,108	3,662	4,798	8,460	83,568
	JS	0.1250	1.60	68,536	6,391	2,359	77,286	3,353	4,798	8,151	85,437
0.0	DS	0.1254	2.20	68,202	4,343	2,352	74,897	4,653	4,783	9,436	84,333
	JS	0.1256	2.40	72,198	4,028	2,348	78,574	4,887	4,775	9,662	88,236

†: $v'_{bk} = v_{b1} - \alpha(v_{b1} - v_{bk})$, $V'_k = V_1 - \alpha(V_1 - V_k)$, $k = 1, 2, \dots, K$.

次數較少、但運送週期 (T/N_{bj}) 較長。相反地，當 α 值較小時，兩種運送政策的共同週期大致趨為一致，且兩者的運送次數皆變大。此因當運費折扣幅度縮小時，買方不再延長運送週期來增加每次運送批量。

2. 當運費折扣變動率 (α) 大於 0.4 時，聯合運送政策的總成本低於直接運送總成本。兩者成本相差主要的部份在於聯合運送政策的買方運送成本與賣方儲存成本皆較低。主要原因為：(1) 聯合運送對於固定運送成本具有分攤效果，進而降低各買方運送成本。(2) 聯合運送容易達到重量折扣門檻，使得買方可獲得較低的運費，而大幅降低買方運送成本。(3) 聯合運送亦導致賣方可提早將存貨運出，使賣方存貨水準與儲存成本降低。

3. 當運費折扣變動率 (α) 小於或等於 0.4 時，直接運送政策的總成本低於聯

合運送總成本。造成此結果的主因在於：直接運送模式的買方運送成本低於聯合運送模式的運送成本。當運費降幅縮減時，聯合運送增加其運送次數來降低買方儲存成本，但由於 $V_k > v_{bk}$ ，故使得聯合運送模式的運送成本較大。顯然地，買賣雙方必須根據實際運費折扣，才能選擇出適合的運送政策，並據此訂定出最佳共同週期與運送次數決策。

本研究再對賣方設置成本 (S_{vj}) 進行分析，探討 S_{vj} 對於直接和聯合運送以及買方和賣方成本所造成之影響。本研究利用設置成本變動率 (β) 來改變設置成本。新的設置成本設為 $S'_{vj} = \beta S_{vj}$, $j = 1, 2, \dots, J$ ，其中 β 值被設定 5 個水準，即 $\beta \in [1.5, 1.25, 1, 0.75, 0.5]$ 。表 4 列出不同 β 值所求得各項決策與成本，經分析表 4 可得到下列結論：

1. 賣方設置成本 (S_{vj}) 增加時，最佳週

表 4 設置成本對於運送政策與成本之影響

β^\dagger	模式	決策變數		買方				賣方			總聯合成本
		共同週期	平均運送次數	運送成本	儲存成本	訂購成本	買方總成本	儲存成本	設置成本	賣方總成本	
5.0	DS	0.2501	1.53	53,529	15,346	1,180	70,055	5,439	11,997	17,436	87,491
	JS	0.2501	1.60	52,108	12,657	1,180	65,945	6,706	11,997	18,703	84,648
4.0	DS	0.2223	1.40	53,533	15,303	1,327	70,163	3,974	10,799	14,773	84,936
	JS	0.2501	1.60	52,108	12,656	1,180	65,944	6,705	9,598	16,303	82,247
3.0	DS	0.2223	1.40	53,533	15,304	1,327	70,164	3,974	8,099	12,073	82,237
	JS	0.1668	1.00	51,761	13,267	1,769	66,797	1,950	10,794	12,744	79,541
2.0	DS	0.2223	1.40	53,533	15,304	1,327	70,164	3,974	5,399	9,373	79,537
	JS	0.1668	1.00	51,761	13,267	1,769	66,797	1,950	7,196	9,146	75,943
1.0	DS	0.1389	1.53	57,849	9,555	2,123	69,527	2,543	4,318	6,861	76,388
	JS	0.1250	1.00	53,749	9,960	2,359	66,068	1,462	4,798	6,260	72,328
0.5	DS	0.1389	1.53	57,849	9,551	2,124	69,524	2,543	2,160	4,703	74,227
	JS	0.1251	1.00	53,748	9,964	2,358	66,070	1,463	2,398	3,861	69,931

$$\dagger: S'_{vj} = \beta S_{vj}, \quad j = 1, 2, \dots, J.$$

期時間、賣方總成本與總聯合成本顯著變高，但買方總成本卻微幅變動。由式(27)得知 S_{vj} 與共同週期時間 (T) 具有正比關係，當週期時間 T 變長時，賣方因為貨品合併運送，造成儲存成本大幅增加。

2. 比較兩運送政策之成本績效，當 β 值大於等於 3 時，聯合運送的賣方總成本高於直接運送之賣方總成本。但不論 β 值如何增加，聯合運送的總成本皆低於直接運送之總成本。此乃意味當賣方設置成本大時，實施聯合運送政策會使賣方發生較高成本，故應合理將買方總成本節省之部份回饋給賣方，此乃為供應鏈業者長期互利合作之基礎。

本研究對買方需求率 (d_{bj}) 進行分析，探討 d_{bj} 對於直接和聯合運送政策以及買方和賣方成本所造成之影響。本研

究使用變動率 (λ) 來改變需求率水準。新的需求率設為 $d'_{bj} = \lambda d_{bj}$ ， $b = 1, 2, \dots, B$ ， $j = 1, 2, \dots, J$ 。鑑於總需求率必須小於生產率，故 λ 值被設定為 [0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2]，當 $\lambda > 1.0$ 時，表示需求率增加。至於運費折扣則與範例數據相同。分析表 5 可得到下列結論：

1. 由於本範例的運費折扣是多重折扣結構，因此當買方需求率 (d_{bj}) 增加，聯合運送亦可合併三名買方的運送批量，而取得一更低的運費。此種折扣結構使得聯合運送政策所產生的買方運送成本與總成本皆比直接運送的成本為低。
2. 當需求率大時，即 $\lambda > 1.0$ ，聯合運送的買方儲存成本皆低於直接運送的儲存成本。反之， $\lambda \leq 1.0$ 時，聯合運送的買方儲存成本卻高於直接運送的儲存成本。此乃因為直接運送為了取得較

表 5 需求率對於運送政策與成本之影響

λ^\dagger	模式	決策變數		買方			賣方			總聯合成本	
		共同週期	平均運送次數	運送成本	儲存成本	訂購成本	買方總成本	儲存成本	設置成本		賣方總成本
1.2	DS	0.1852	1.27	64,175	15,455	1,593	81,223	4,260	3,239	7,499	88,722
	JS	0.1389	1.00	62,114	13,264	2,123	77,501	2,340	4,319	6,659	84,160
1.1	DS	0.2021	1.27	58,827	15,458	1,460	75,745	4,070	2,969	7,039	82,784
	JS	0.1516	1.00	56,937	13,268	1,946	72,151	2,145	3,958	6,103	78,254
1.0	DS	0.1389	1.53	57,849	9,555	2,123	69,527	2,543	4,318	6,861	76,388
	JS	0.1250	1.00	53,749	9,960	2,359	66,068	1,462	4,798	6,260	72,328
0.9	DS	0.1544	1.53	52,064	9,556	1,911	63,531	2,422	3,886	6,308	69,839
	JS	0.1389	1.00	48,374	9,957	2,124	60,455	1,316	4,319	5,635	66,090
0.8	DS	0.1736	1.53	46,279	9,552	1,699	57,530	2,299	3,455	5,754	63,284
	JS	0.1563	1.00	42,999	9,962	1,887	54,848	1,170	3,838	5,008	59,856

†: $d'_{bj} = \lambda d_{bj}$, $b=1,2,\dots,B$, $j=1,2,\dots,J$.

低之運費，而增加各買方運送批量，導致買方儲存成本增加。

- 當賣方設置成本不大時，不論需求率增加或減少，聯合運送的賣方儲存成本與賣方總成本皆低於直接運送的成本。此意味若運費折扣規劃適宜時，買賣雙方皆會有意願實施聯合運送政策。然而，仍有些非成本因素會影響管理者選擇運送政策；例如，當廠商考慮高價值貨品被竊與運送不確定的風險時，則可能會採用直接運送，而接受較高的存貨與運送成本。另外，不同企業規模亦會影響運送策略之選擇；例如，小規模企業所採用運輸方式多以成本最小為考量，而規模較大之企業若考慮商情外洩與運送安全性，則多以直接運送為主。

陸、結論與建議

過去供應鏈強調上下游垂直整合，然而，同業間共同併貨、聯合運送之水平式合作亦受到業者重視，但是必須解決(1)那些顧客貨品需要合併，那些需要直接運送？(2)何時進行運送？(3)運送批量為何？(4)使用何種運輸工具？等問題。本文建立「直接運送」與「聯合運送」兩種整合批量與運送方法模式，用來協助供應鏈業者決定適當的運送方法，以及規劃賣方生產、買方採購、運送批量與排程決策。本研究主要貢獻在於：針對兩階層 JIT 供應鏈環境，發展兩種整合批量與運輸模式，用來決定買賣方總成本最低的運送方案以及生產、運送與採購批量與排程計畫。其中，考慮之特性包括：JIT 生產與採購方式、產能限制、多名買方與多物項需求、貨車載量限制與運費折扣等。本研究並發展以成本下限函數為基礎之搜尋法，有效率地搜尋最佳週期時間、運送次數與折扣運費方案。雖然本研究模式已考慮許多特性因素，但是，仍有許多實務上面

臨的重要因素卻未能納入考量，例如，企業規模、需求變異、運送時窗限制、運送不確定風險、運送時間變異、商情外洩與貨品價值性等因素。因此，未來可逐漸放寬本研究的假設限制，以延伸至更具實務特性模式。

本研究比較兩種運送模式之成本績效發現：直接運送政策會導致較高的運送成本，但可快速反應顧客需求與降低買方儲存成本。聯合運送政策可由合併運貨方式降低買方運送成本，卻會造成某些買方或賣方儲存成本增加。兩種運送方式在不同運費折扣結構下各具優劣，當運費折扣幅度較小時，直接運送優於聯合運送。另外，當賣方設置成本較高時，則聯合運送的賣方成本會高於直接運送之成本。在多重運費折扣結構下，若折扣幅度適當，則不論需求率增加或減少，聯合運送的總成本均較直接運送成本為低。供應鏈業者必須慎重地分析這些成本的抵換效應，並依據實際買賣方成本結構與運費折扣，選擇最佳運送政策，以降低物流成本。此外，某些重要非成本性因素，例如貨品價值、運送準時、運送安全、廠商規模、商情保密與廠商合作意願等因素亦須一併考量，以求得供應鏈整體最佳化。

未來後續研究議題可探討當買方的地理位置較遠、儲存空間不足或運送頻率要求很高時，而難以達成全部買方成員聯合運送，應可發展一種更具彈性的混合直接與聯合運送政策，或是以二幕函數來發展最佳生產與運送週期。再者，亦可依據不同地理區域劃分買方群，設置集貨站，並與車輛途程問題結合，以縮短聯合運送運輸距離並降低運送費率，發展完整生產、採購、運送之

批量排程規劃。另外，機率性或隨時間變動之買方需求型態亦是未來重要的研究課題。

參考文獻

1. Aderohunmu, R., Mobolurin, A., & Bryson, N. (1995). Joint vendor-buyer policy in JIT manufacturing. Journal of the Operational Research Society, 46(3), 375-385.
2. Banerjee, A., & Kim, S. L. (1995). An integrated JIT inventory model. International Journal Operation and Production Management, 15(9), 237-244.
3. Barks, J. V. (1990). Distribution costs: a hard road back. Distribution, 89, 30-35.
4. Baumol, W. J., & Vinod, H. D. (1970). An inventory theoretic model of freight transport demand. Management science, 16(7), 413-421.
5. Blumenfeld D., Burns, L., & Daganzo, C. F. (1991). Synchronizing production and transportation schedules. Transportation Research, 25B(1), 23-37.
6. Bomberger, E. (1966). A dynamic programming approach to a lot size scheduling problem. Management Science, 12(11), 778-784.
7. Burns, L. D., Hall, R. W., Blumenfeld, D. E., & Daganzo, C. F. (1985). Distribution strategies that minimize

- transportation and inventory costs. Operations Research, 33(3), 469-490.
8. Eilon, S. (1957). Scheduling for batch production. Industry Production Engineering Journal, 36(1), 549-579.
9. Eilon, S. (1958). Economic batch size determination of multi-product scheduling. Operational Research Quarterly, 4(1), 217-227.
10. Gallego, G., & Shaw, D. X. (1997). Complexity of the ELSP with general cyclic schedules. IIE Transactions, 29(2), 109-113.
11. Grznar, J., & Riggle, C. (1997). An optimal algorithm for the basic period approach to the economic lot scheduling problem. Omega, 25(3), 355-364.
12. Ha, D., & Kim, S. L. (1997). Implementation for JIT purchasing: an integrated approach. Production Planning & Control, 8(2), 152-157.
13. Hall, R. W. (1987). Consolidation strategy: inventory, vehicles and terminals. Journal of Business Logistics, 8(2), 57-73.
14. Hahm, J., & Yano, C. A. (1995). Economic lot and delivery scheduling problem: the common cycle case. IIE Transactions, 27(2), 113-125.
15. Hahm, J., & Yano, C. A. (1995). The economic lot and delivery scheduling problem: powers of two policies. Transportation science, 29(2), 222-241.
16. Hanssmann, F. (1962). Operations Research in Production and Inventory (pp. 158-160), John Wiley & Sons, New York.
17. Higginson, J. K., & Bookbinder, J. H. (1994). Policy recommendations for a shipment-consolidation program. Journal of Business Logistics, 15(1), 87-112.
18. Hsu, W. (1983). On the general feasibility test of scheduling lot sizes for several products on one machine. Management Science, 29(1), 93-105.
19. Jones, P. C., & Inman, R. R. (1989). When is the economic lot scheduling problem easy. IIE Transactions, 21(1), 11-20.
20. Klineciewicz, J. G., & Rosenwein, M. B. (1997). Planning and consolidation shipment from a warehouse. Journal of the Operation Research Society, 48, 241-246.
21. Min, H. (1996). Consolidation terminal location-allocation and consolidated routing problems. Journal of Business Logistics, 17(2), 235-263.
22. Monahan, J. P. (1984). A quantity discount pricing model to increase vendor profits. Management Science, 30(6), 720-726.
23. Pooley, J. (1992). A vehicle routing algorithm for the less-than-truckload vs. multiple-stop truckload problem. Journal of Business Logistics, 13(1), 239-258.

24. Russell, R. M., & Krajewski, K. J. (1991). Optimal purchase and transportation cost lot sizing for a single item. Decision Science(22), 940-951.
25. Tersine, R. J. (1994). Principles of Inventory and Materials Management (pp. 108-109). PTR prentice Hall, New Jersey.
26. Tersine, R. J., & Barman, S. (1991). Economic inventory/transport lot sizing with quantity and freight rate discounts. Decision Sciences, 22, 1171-1179.
27. Tersine, R. J., Larson, P. D., & Barman, S. (1989). An economic inventory/transport model with freight discount. The Logistics and Transportation Review, 35(4), 1-5.
28. Timothy, H. B., Dinesh, S. D., Kathy, E. F., & Melvin, R. R. (1997). Economic lot size model for price-dependent demand under quantity and freight discounts. International Journal Production Economics, 48(2), 141-155.
29. Yang, P. C., & Wee, H. M. (2001). An arborescent inventory model in a supply chain. Production Planning & Control, 12(8) 728-733.

2003 年 12 月 05 日收稿

2003 年 12 月 24 日初審

2004 年 12 月 13 日複審

2004 年 01 月 26 日接受