

以貝氏隨機前緣分析法估計參數 與廠商績效

ESTIMATING PARAMETERS AND COMMERCIAL PERFORMANCE BY USING BAYESIAN STOCHASTIC FRONTIER ANALYSIS METHOD

林村基 Erwin T. J. Lin¹

(101 年 9 月 17 日收稿，101 年 12 月 25 日第一次修改，
102 年 1 月 24 日第二次修改，102 年 6 月 10 日定稿)

摘 要

常用的廠商績效評估方法可歸納為兩種，其一為資料包絡分析法，其二為隨機前緣分析法，後者必須先宣告函數型式，再以最大概似法校估參數，並進一步估計各廠商之效率值，但以最大概似法校估之最大缺失，是所估計之參數常因符號不正確而違反生產經濟學之正規條件，導致奇怪的結論。為改正此一缺失，本研究嘗試改以貝氏隨機前緣分析法來校估參數及廠商之效率值，按貝氏之優點是得以強加限制條件於隨機前緣模型上，校估之結果符合經濟學之正規條件。在實證方面，本研究以 24 家歐盟國家的鐵路公司 2006 至 2008 年的營運資料，並宣告產出距離函數以估計廠商之營運績效。實證結果顯示，貝氏隨機前緣分析法確實能得到較為令人滿意之結果，根據實證分析結果，本研究提出若干結論與建議，以供後續研究之參考。

關鍵詞：最大概似法；貝氏分析法；產出距離函數

1. 明道大學國際行銷與物流學系助理教授（聯絡地址：52345 彰化縣埤頭鄉文化路 369 號明道大學國際行銷與物流學系；聯絡電話：0937-893807；E-mail:erwintjlin@mdu.edu.tw）。

ABSTRACT

The most commonly applied commercial performance evaluation methods comprise the data envelopment analysis (DEA) method and the stochastic frontier analysis (SFA) method. Of these methods, the SFA method sequentially requires the researcher to establish functional forms, calibrate and estimate relevant parameters using the maximum likelihood (ML) method, and estimate the efficiency values of the various businesses. However, the estimation of parameters using the ML method often yields incorrect signs, which consequently violates the regularity conditions and results in convoluted conclusions. To rectify this drawback, this study endeavors to employ an alternative Bayesian SFA method to calibrate and estimate relevant parameters and efficiency values of the businesses. The advantage of Bayesian methods is that conditions are restricted to the SFA model. This facilitates the calibration and estimation results to comply with economic regularity conditions. For the empirical research, this study collected the operational data (2006 to 2008) of 24 railway companies located in countries that were members of the European Union. Subsequently, this study established output functions to estimate the operational performance of businesses. The results suggested that the proposed Bayesian SFA method successfully yielded results that were more satisfactory. This study further provided relevant conclusions and suggestions based on these results, which can be used as a reference for future research.

Key Words: *Maximum likelihood; Bayesian analysis; Output distance function*

一、前言

鐵路運輸對於國家之經濟發展與人民行的便利均扮演極其重要的角色，其產值歷年來均占各該國家之國內生產毛額 (GDP) 甚高之比重，此不僅臺灣如此，世界各國皆然，以臺灣地區而言，高鐵及臺鐵均為臺灣本島內陸運輸大動脈，不僅肩負長程運輸重任，同時也兼具短途運輸服務之功能。根據交通部運輸研究所的統計資料顯示，2008 年臺灣地區的鐵路客運運輸係數為 28.74，同一期間公路客運運輸係數為 45.95，依據該統計資料的說明，所謂運輸係數是指客運量與總人口的比率，係數之大小在於反映國人對於交通運輸需求之程度，意即臺灣地區人民該年度平均每人搭乘鐵路 28.74 次，搭乘公路 45.95 次，由此可見鐵路運輸在整體內陸運輸市場之重要性。

然而近二、三十年來，隨著公路與航運的迅速發展，內陸運輸工具逐漸發達後，消費者選擇也更多元化，鐵路運輸在整體運輸市場之占有率遂呈現逐年衰退之景況，根據歐盟的一份報告指出 (European Communities^[1])，歐盟的貨物運輸市場，鐵路運輸的占有率從 1970 年的 32% (EU-15)，衰退到 2006 年的 16.7% (EU-27)；同一期間鐵路客運的市場占有率則從 10% 降至 6.9%。在市場占有率大幅衰退的情況下，部分鐵路公司更面臨財務虧損，

按企業虧損在某種程度上來說即為無效率，故有必要對鐵路運輸之績效進行評估，並探討其績效不佳之原因，以期找出問題，再針對問題尋求改善對策。

過去衡量鐵路績效的文獻非常多，例如 Gathon 與 Perelman^[2]，Gathon 與 Pestieau^[3]，Coelli 與 Perelman^[4]，Cantos 與 Maudos^[5]，Loizides 與 Tsionas^[6]，Graham 等人^[7]，Lan 與 Lin^[8]，Yu 與 Lin^[9] 及 Couto 與 Graham^[10]等，上述鐵路運輸績效評估的文獻中，大部分著重於鐵路之生產效率或技術效率的衡量，近年來雖有部分學者，例如 Lan 與 Lin^[8]，Yu 與 Lin^[9] 鑒於運輸服務具有不可貯存性，於是加入了服務效果構面之績效評估，補足了部分之缺漏，但誠如 Lin^[11] 所敘，鐵路運輸之績效評估固可分成「技術效率」與「服務效果」兩個構面，但在分析「技術效率」時若以列車公里為產出，將產生偏誤之結果，蓋因各鐵路公司、各車次列車長度（或節數）有異，且每節車廂座位數亦不同，也就是說各鐵路公司之列車公里存在相當大的差異，並非相同之產出，而在分析「服務效果」時，若以列車公里為投入，同樣將產生偏誤之結果，比較合理的作法應該以「座位公里」取代，但因現行各鐵路公司之統計年報尚乏「座位公里」及「噸公里（運能）」資料，以致於評估的結果仍尚未盡理想，本文改以「延人公里」與「延噸公里」為產出，也就是鐵路運輸實際的顧客消費資料，此即 Fielding 等人^[12]所稱的成本效果，但因跨國的比較不易取得投入要素之價格資料，本文改以實際使用之要素量，來評估鐵路運輸之績效，為免誤導本研究稱之為技術效果，評估之架構如圖 1 所示，因限於篇幅，本文探討範圍僅限於技術效果部分，也就是鐵路公司的銷售（顧客消費）相對於投入之比較評估。

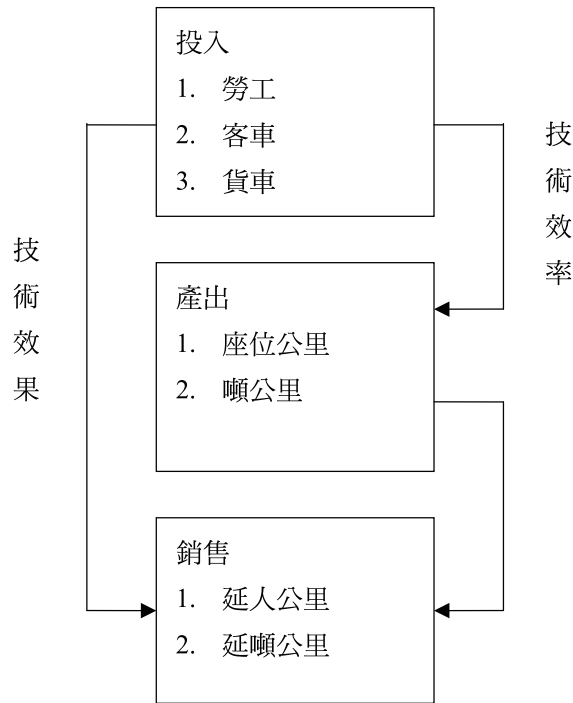


圖 1 服務不具可貯存性廠商績效評估之架構

欲評估企業之績效，必先掌握評估之方法，文獻上對於決策單位 (decision making unit, DMU) 效率或生產力的衡量，可歸納為 4 種方法，其一為指數法 (index number)，又可分為偏要素生產力指數 (partial factor productivity) 和總要素生產力指數 (total factor productivity)，其二為最小平方法 (least squares)，其三為資料包絡分析法 (data envelopment analysis, DEA)，其四為隨機前緣分析法 (stochastic frontier analysis, SFA)，有關此 4 種方法更詳細的說明可參閱 Coelli 等人^[13]。由於在古典經濟學中第 1 種與第 2 種方法衡量生產力時假設廠商都是有效率，忽略了無效率的事實，因此近年來學術界與實務界分析廠商之績效，以 DEA 及 SFA 為主流。DEA 法固具有若干優點，例如不需事先設定函數型態、可應用於多投入、多產出之企業、不需價格資料等，廣為效率評估研究學者所採用，但最常被經濟計量學派批評者，不外乎 DEA 係確定性效率前緣法 (deterministic frontier methods)，也就是將觀測點直接與實務最佳者 (best practice) 比較，從而得出其效率值，並未考慮到統計誤差，亦不能進行假設檢定。至於以 SFA 法分析廠商之效率，必須先宣告一預設的函數型式 (functional form)，再校估參數及廠商之效率值，因具有複合殘差項，傳統的參數校估方法係以最大概似法 (maximum likelihood method, ML) 來校估，然而 ML 法在校估參數時卻忽略了正規條件 (regularity condition) 的限制，校估結果常違反生產經濟學的原理，導致很奇怪的結論，為改善此一缺失，本研究改以貝氏隨機前緣分析法 (Bayesian stochastic frontier analysis) 來校估參數及廠商之技術效果。在實證方面，本研究以 24 家歐盟國家的鐵路公司 2006 至 2008 年的營運資料，並宣告產出距離函數以估計廠商之營運績效。實證結果顯示，貝氏隨機前緣分析法確實能得到較為令人滿意之結果，根據實證分析結果，本研究提出結論與建議，以供後續研究參考。

本文其餘章節安排如下：第 2 節回顧鐵路績效評估之相關文獻，第 3 節說明本研究採用之分析方法，包括貝氏分析方法、SFA 法、產出距離函數等，第 4 節說明變數定義、資料分析與實證結果，第 5 節提出本研究之結論及未來研究之建議。

二、文獻回顧

過去評估鐵路運輸績效的文獻頗多，大部分採用 DEA 法或 SFA 法，因本研究採用 SFA 法，茲舉數篇以 SFA 法評估鐵路公司績效之文獻，說明其使用之投入、產出變數、分析方法及其重要結論。

Gathon 與 Perelman^[2]以 SFA 法分析 19 家歐洲鐵路公司 1961 至 1988 年之效率，產出變數為客運列車公里 (passenger-train-kilometer) 及貨運列車公里 (freight-train-kilometer) 兩項，投入變數為平均載運距離、路線長、載客率、勞動、電氣化比率及自主權等 6 項，實證結果發現，影響鐵路公司之技術效率與營運管理自主權密切相關。Gathon 與 Pestieau^[3]亦以 SFA 法評估 19 家歐洲鐵路公司 1961 至 1988 年之效率，其選取之投入變數為機車頭加車廂數、勞動人力數、未電氣化之路線長、已電氣化之路線長，產出變數則為延人公里

(passenger-kilometer) 與延噸公里 (ton-kilometer); 研究結果顯示, 荷蘭的鐵路公司 (NS) 最有效率 (0.95), 而丹麥的鐵路公司 (DSB) 效率值為最低 (0.73), 研究結果亦指出, 政府的干預影響鐵路公司之經營, 因此績效欠佳之鐵路公司可藉由提升自主權而改善。

Coelli 與 Perelman^[4] 以參數化線性規劃法 (parametric linear programming)、修正最小平方方法 (corrected ordinary least squares) 及 DEA 等 3 種方法, 評估 1988 至 1993 年歐洲 17 家鐵路公司之營運效率, 在評估模式中, 勞動人力數、車輛數 (機車頭加車廂數)、資本 (路線長) 等 3 項為投入變數, 產出變數則為延人公里與延噸公里兩項; 研究結果顯示各個鐵路公司之效率值, 因採用的分析方法不同而有差異, 作者因此建議重要的政策最好採用多重評估方法, 以免評估結果有偏誤而影響決策品質。Cantos 與 Maudos^[5] 亦以 SFA 法衡量歐洲 16 家鐵路公司 1970 至 1990 年之成本效率與營收效率, 其宣告之函數型式為超越對數成本函數與營收函數, 模式中以客運營收與貨運營收為 2 項產出變數, 投入變數則選取勞動成本、油料與能源及材料的支出及外包之服務支出等 3 項; 實證結果顯示, 造成鐵路公司營收顯著短少, 主要係政府政策干預致之, 因此如欲消除財務赤字, 採企業化經營並充分回應市場的需求, 已成為各鐵路公司必須採取之對策。

Loizides 與 Tsionas^[6] 建立技術變動的一般化指標模式來代表鐵路公司之成本結構, 並以之校估 1969 至 1992 年歐鐵之成本結構及生產力的變動。其選取之產出變數為延人公里與延噸公里兩項, 投入變數以資本 (土地、固定設備、運輸股與其他設備)、員工、能源 (電力、柴油與潤滑劑) 等 3 項。研究方法係以 Cobb-Douglas 函數為評估基礎, 另外亦發展技術變動指數 (technical change index)。研究結果顯示, 歐洲鐵路技術呈遞減之趨勢, 只有德、英兩國之鐵路公司的技術變動呈現正值, 絕大多數的鐵路公司在提高生產力方面, 仍有相當大的改善空間。Graham 等人^[7] 亦建立 Cobb-Douglas 生產函數, 評估 1994 至 1998 年世界 17 個城市鐵路運輸之規模經濟與密度經濟。其選取投入變數為勞工、車輛數、路線長、車站數, 至於產出變數為乘客旅程數與車公里。實證結果顯示, 此 17 家城市鐵路呈規模報酬固定及密度報酬遞增之現象; 同時, 分析結果也證實勞動生產力之於整體生產力和技術變動的重要性, 也就是說, 廠商欲提高整體生產力, 設法提升勞動生產力為一主要之途徑。

Lan 與 Lin^[8] 建立超越對數的投入與產出之隨機前緣距離函數, 評估 1996 年至 2002 年 39 家鐵路公司之技術效率與服務效果, 並以 ML 法校估其參數及效率與效果, 其投入變數為勞力、車輛、路線等 3 項, 產出變數為客車公里、貨車公里等 2 項, 至於運輸消費則為延人公里、延噸公里等 2 項, 研究結果指出, 鐵路技術無效率與服務效果不彰, 主要是受到國民所得、電氣化比率及營運路線密度的影響, 整體而言, 西歐地區鐵路公司之營運績效, 包括效率與效果, 均較東歐與其他地區之鐵路公司高。

Couto 與 Graham^[10] 以 SFA 法分析配置效率與技術效率對於生產力的影響, 並建立超越對數成本函數來評估 1972 至 1999 年歐洲鐵路公司之成本結構, 其投入變數為勞動成本、能源與設備支出, 並以延人公里、延噸公里為產出變數。透過校估成本函數與成本份額的聯立方程式, 作者發現歐洲鐵路的營運成本顯著增加主要原因是效率低落, 平均而

言此部分增加了成本約 15% 左右，但與過去研究歸因於技術無效率不同，實證研究發現成本無效率主要原因是配置效率低下。Graham^[14] 亦建立超越對數生產函數，用以衡量 1995 年與 1996 年 89 家城市鐵路之總要素生產力，將其分解為效率變動與技術進步，並採 DEA 法來評估跨年的生產力變動，以比較參數法與非參數法的差異。實證結果顯示，雖然以兩種方法所估計之規模報酬不同，但其效率的排名則大致相同。

綜合上述之文獻回顧，可歸納以下 3 點結論，首先，鐵路績效評估主要應用 DEA 及 SFA 兩種方法，相較之下 DEA 法並未考慮到統計誤差，亦不能進行假設檢定。至於 SFA 法則考慮隨機因素，也就是假設廠商所面對的效率前緣為隨機變動，此可能較為符合鐵路運輸之營運特性，因為鐵路運輸之運量，不論是客運或是貨運，其可能受到外在因素，例如：天候、罷工與量測誤差等影響，較具不確定性之因素，因此 SFA 法容或較為適合。第二，在應用 SFA 法評估廠商之績效時，必須事先宣告函數，然後進行參數校估與假設檢定，對於多投入多產出之產業，生產函數有其受侷限之處，成本函數雖可適用於多投入多產出之產業，但缺點是必須要有總成本及投入要素的價格資料，因事涉廠商業務機密，價格資料常常難以取得，為避開資料難以獲得之困境，可改用距離函數。最後，在校估參數時，文獻上常採用 ML 法，但此法有其缺點，誠如 O'Donnell 與 Coelli^[15] 指出，ML 法所校估的參數常違反經濟學的正規條件，也就是違反單調性 (monotonicity)、準凸性 (quasi-convexity) 與凸性 (convexity) 之條件限制，此將會使得估計之參數偏誤，導致所估計的彈性 (estimated elasticities) 和影子價格 (shadow price) 的不正確，當然偏誤的參數也連帶使得效率 (或效果) 的估計結果不可靠。校估生產函數、成本函數或距離函數時，必須考慮經濟學的正規條件，其重要性已如上述，然而，文獻中並未對正規條件加以重視，前述 7 篇評估鐵路運輸績效之文獻，並未論及函數的正規性。為了解決此一問題，本研究試圖以貝氏分析法來校估鐵路運輸之績效，此一方法的詳細內容，將於下一節敘述。

三、研究方法

本節主要係說明本研究採用之分析方法，包括模型設定及參數校估方法。3.1 說明貝氏分析方法，3.2 說明 SFA 法，3.3 說明產出距離函數及其限制條件，3.4 為超越對數產出距離函數之推導，3.5 介紹強加正規條件於產出距離函數。

3.1 貝氏分析法

貝氏分析法係貝氏定理 (Bayes theory) 之應用，並結合馬可夫鏈蒙地卡羅 (Markov Chain Monte Carlo, MCMC) 之重複抽樣及運算，以獲致收斂之結果。欲了解貝氏方法應用於參數校估，必須先談貝氏定理，貝氏定理可寫成如下數學式：

$$p(A, B) = p(A|B)p(B), \text{ 或是:}$$

$$p(A, B) = p(B|A)p(A)$$

上述兩式中， $p(A, B)$ 表示 A, B 兩事件的聯合機率， $p(A|B)$ 表在 B 事件已發生的條件下 A 事件發生的機率。令上述兩式的右側相等，則可得貝氏定理如下：

$$p(B|A) = \frac{p(A|B)p(B)}{p(A)} \quad (1)$$

上式中的 $p(\bullet)$ 可以為一特定的機率值，當然也可以為機率密度函數 (probability density function, pdf)。因為我們的目標是應用貝氏定理來校估參數 β ，於是將 B 換成 β ，將 A 換成 y ，於是貝氏定理成為：

$$p(\beta|y) = \frac{p(y|\beta)p(\beta)}{p(y)}, \text{ 因為 } p(y) \text{ 並未包含 } \beta, \text{ 因此可忽略, 上式改寫為:}$$

$$p(\beta|y) \propto p(y|\beta)p(\beta) \quad (2)$$

或是加上 σ ，成為：

$$p(\beta, \sigma|y) \propto L(y|\beta, \sigma) \cdot p(\beta, \sigma) \quad (3)$$

(3)式中 β 與 σ 為待校估的參數， $L(y|\beta, \sigma)$ 稱為概似函數 (likelihood function)， $p(\beta, \sigma)$ 為先驗機率密度函數 (prior probability density function)， $p(\beta, \sigma|y)$ 稱為事後機率密度函數 (posterior probability density function)，(3)式的意義即為事後機率密度函數比例於概似函數與先驗機率密度函數的乘積。此三者分別再進一步說明如下。

3.1.1 概似函數

概似函數與吾人所宣告的預設函數有關，例如宣告的預設函數為線性，則在線性計量迴歸模式 $y_i = \beta x_i + \varepsilon_i$ 中，基本假設為 ε_i 呈常態分配，平均數為 0，變異數為 σ^2 ，且 ε_i 與 ε_j 彼此獨立 ($i \neq j$)，概似函數的隱函數可寫成：

$$p(y, x|\beta, \sigma^2) = p(y|x, \beta, \sigma^2)p(x) \quad (4)$$

式中 $p(y_i|\beta, \sigma^2)$ 呈常態分配，其平均數為 $E(y_i|\beta, \sigma^2) = \beta x_i$ ，變異數為 $\text{var}(y_i|\beta, \sigma^2) = \sigma^2$ ， $p(y_i|\beta, \sigma^2)$ 既為常態分配，其機率密度函數可寫為：

$$p(y_i|\beta, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \exp \left[-\frac{(y_i - \beta x_i)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (5)$$

因為 ε_i 與 ε_j 彼此獨立，故 y_i 與 y_j 亦彼此獨立，故其聯合機率密度函數為個別機率密度函數的連乘積，如下式：

$$L(y | \beta, \sigma^2) = \prod_{i=1}^N p(y_i | \beta, \sigma^2) = \frac{1}{(2\pi)^{N/2} \cdot \sigma^N} \exp \left[-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N (y_i - \beta x_i)^2 \right] \quad (6)$$

3.1.2 先驗機率密度函數

所謂先驗機率密度函數，顧名思義即為事前的假設，研究者開始進行校估之前，可對函數型式及其係數進行假設，假設的基礎為先前的經驗，故稱為先驗，目的在於與概似函數結合，以導出事後機率密度函數，假設的型式不拘，但通常分為有訊息的 (informative) 與無訊息的 (non-informative) 兩大類，無訊息的先驗機率密度函數顧名思義即是忽略了參數 (無參數的訊息)，例如在標準的線性迴歸模式中，若忽略參數 (β)，則可宣告先驗 pdf 如下：

$$p(\beta, \sigma) \propto \frac{1}{\sigma} \quad (7)$$

相反地，有訊息的先驗機率密度函數，則包含了若干 (至少 1 個) 有關參數的訊息，例如，若參數 (β) 必須為正，方符合經濟學理論，則可宣告如下：

$$p(\beta, \sigma) \propto \frac{I(\beta)}{\sigma} \quad (8)$$

此處的 $I(\beta)$ 稱為指標函數 (indicator function)，函數內可加入限制條件，若 β 滿足限制條件，則 $I(\beta)$ 為 1，否則 $I(\beta) = 0$ 。通常情況下吾人若將 pdf 積分，可得到積分值為 1，但對上述兩式積分，並不能得到 1，因此不是一般的 pdf，但在貝式方法中，不正確的先驗 pdf 並不會影響後驗 pdf 的正確性，只要將上述兩式的任一式與概似函數結合，即可逐步推導得到正確的機率密度函數。

3.1.3 後驗機率密度函數

將概似函數 (6) 乘上無訊息的先驗 pdf，也就是式 (7)，即可得後驗機率密度函數如下式 (略去常數 2π)：

$$p(\beta, \sigma | y) \propto \frac{1}{\sigma^{N+1}} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N (y_i - X_i' \beta)^2 \right\} \quad (9)$$

此一後驗 pdf 歸納了所有 β 與 σ^2 的訊息，因為吾人對 β 較有興趣，因此將此一後驗 pdf 對 σ^2 積分 (稍後說明積分的方法)，即可得到邊際後驗 pdf 如下：

$$p(\beta | y) \propto \left[v s^2 + (\beta - b)' \left(\sum_{i=1}^N X_i X_i' \right) (\beta - b) \right]^{-N/2} \quad (10)$$

此處 b 是 β 的估計子 (estimator)， $\nu = N - k$ 為自由度， s^2 為 σ^2 的估計子，且：

$$s^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - X_i' b)^2 / \nu$$

積分後的邊際後驗 pdf 為一多變量之 t 分配，進一步對 β_k 以外之 β 積分，最終可得到呈現 t 分配之單變量的 pdf，記為 $p(\beta_k | y)$ ，其平均數為第 k 個 b 的不偏估計式。若將概似函數與有訊息之先驗 pdf 結合，可得到相同的結果，唯一不同是乘上 $I(\beta)$ ，此時邊際後驗 pdf 呈截斷型之 t 分配，不幸的是加入 $I(\beta)$ 後使得積分困難，此時吾人可用模擬的方法 (simulation method) 來處理困難的積分式。

3.1.4 模擬方法

貝氏方法最主要的困難是複雜的積分，此在過去形成學術界難以跨越的鴻溝，但隨著電腦科技的進步，應用電腦模擬的方法克服了此一障礙，茲將此一模擬方法說明如下：

令 θ 為待估計的參數向量，任何吾人想要應用貝氏方法來計算的參數均可寫成下式：

$$E\{h(\theta) | y\} = \int_{-\infty}^{\infty} h(\theta) p(\theta | y) d\theta \quad (11)$$

此處 $h(\theta)$ 為 θ 的函數， $p(\theta | y)$ 為 θ 在給定 y 之條件下之 pdf，例如，若 $\theta = (\beta, \sigma)$ ，欲求 σ^2 之點估計時，吾人可令 $h(\theta) = \sigma^2$ ，若欲求 β_k 被包含在某一特定區間的機率，則令 $h(\theta) =$ 指標函數 (包含=1，否則=0)，但積分式 (11) 很難求出，實際計算時，雖不能求出積分式，但只要重複計算積分子 (積分內的式子) 的值，也就是重複抽樣，然後計算樣本平均數即可，若令 $\theta^1, \theta^2, \dots, \theta^S$ 為從 $p(\theta | y)$ 所抽出的隨機樣本，則在樣本夠大的情況下，我們可以用樣本平均數作為積分的估計式，如下：

$$\hat{h}(\theta) = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S h(\theta^s) \quad (12)$$

例如欲得到 σ^2 的點估計，只要從為數甚多的 σ^2 的觀測點計算其平均數即可，同樣地欲求區間估計，只要計算樣本被包含於某一特定區間 (例如 95%) 的機率即可。這種對積分子重複隨機取樣的方法，稱為蒙地卡羅積分法 (Monte Carlo integration)。

3.1.5 MCMC 方法

應用蒙地卡羅積分時的一個主要困難，在於從複雜的機率分配中抽取樣本，欲解決此一困難於是研究發展一種新的方法，將馬可夫鏈與蒙地卡羅方法結合，以處理更複雜的問題，稱為馬可夫鏈蒙地卡羅方法，簡稱 MCMC 法。最著名的 MCMC 方法有二，其一為 Metropolis-Hastings 法 (以下簡稱 M-H 法)，第二方法稱為 Gibbs sampler，因為本研究所使用的電腦程式—WinBUGS 係採用 Gibbs sampler，茲將此一方法說明如下。

因為 Gibbs sampler 僅考慮單變數的條件機率分配，因此為 M-H 法的特例。正因為只

考慮單變數的條件機率分配 $p(x|y)$ 及 $p(y|x)$ ，故遠比聯合機率密度函數（例如： $p(x) = \int p(x, y)$ ）容易處理。考慮一個雙元隨機變數 (x, y) ，吾人想要計算 $p(x)$ 及 $p(y)$ ，步驟如下：

1. 先由研究人員任意假設 y 的起始值 y_0 ，然後從條件分配 $p(x|y=y_0)$ 中產生一隨機變數 x_0 。
2. 以 x_0 為基礎，從條件分配 $p(y|x=x_0)$ 中產生一隨機變數 y_1 ，再以 y_1 為基礎得到 x_1 。
3. 上述兩步驟重複做 k 遍，可得到長度為 k 的數列，稱為 Gibbs 序列，寫成通式如下：

$$x_i \sim p(x|y=y_{i-1})$$

$$y_i \sim p(y|x=x_i)$$

此處子集點 (x_j, y_j) , $(1 \leq j \leq k)$ 為取自聯合分配的模擬抽樣，一次模擬抽樣可得一子集點，為得到總長度 m 個樣本點，吾人首先必須要有足夠長度的融入點 (Burn-in)，以完全消除起始值的影響，接續融入點之後，設定一採認點，例如每隔 n 個樣本始採計第 $n+1$ 個抽樣點。一開始所抽出之樣本會高度依賴起始值，但此一依賴性會隨著數列長度增加而逐漸式微，Gibbs 序列最終會收斂至一與起始值無關之穩定分配 (stationary distribution)，構建此一穩定分配即為吾人模擬的目標，上述宣告先驗 pdf 從而推導的後驗 pdf，不論其函數型式為何，均可利用長度為 m 的 Gibbs 序列來得到平均數，具體言之，若函數為 $f(x)$ ，則其期望值近似於下式：

$$E[f(x)]_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m f(x_i) \quad (13)$$

此式即為 $f(x)$ 的 MC 估計式，當 m 趨近於無窮大， $E[f(x)]_m \rightarrow E[f(x)]$ 。依同法可推廣至通例，任何含有 n 個變數的函數 $(\theta = (\theta^1, \theta^2, \dots, \theta^n))$ ，也可以透過抽樣得到 Gibbs 序列，再由下式得到近似值：

$$E[f(\theta^1, \theta^2, \dots, \theta^n)]_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m f(\theta_i^1, \theta_i^2, \dots, \theta_i^n) \quad (14)$$

上述的抽樣要抽幾次才會收斂至穩定分配呢？Gibbs sampler 既是 M-H 法的特例，其檢查收斂的方法與 M-H 法相同，茲舉一種檢查收斂的方法說明之。吾人預期序列中兩相鄰的數應該是正相關，可用自我相關函數將相關性予以量化，例如在長度為 n 的序列 $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ 中，若 $\rho(\theta_i, \theta_{i+1}) \neq 0$ ，則稱兩者具有相關性，推而廣之，若相隔更遠的兩者， $\rho(\theta_i, \theta_{i+k}) \neq 0$ 亦然。 K 階的自我相關係數估計可由下式得出：

$$\rho = \frac{\hat{Cov}(\theta_t, \theta_{t+k})}{\text{Var}(\theta_t)} = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (\theta_t - \bar{\theta})(\theta_{t+k} - \bar{\theta})}{\sum_{t=1}^{n-k} (\theta_t - \bar{\theta})^2}, \bar{\theta} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \theta_t \quad (15)$$

時間序列分析的定理告訴我們，若樣本夠大，則即便 θ_t 是從穩定且相關 (stationary 與 correlated) 的過程中得出，仍可得到不偏的分配。從一階自我相關過程 (first-order autoregressive process, AR₁) 的理論中可求得所需的樣本數。亦即， $\theta_t = \mu + \alpha(\theta_{t-1} - \mu) + \varepsilon$ ，此處 ε 為白雜訊 (white noise)，亦即 $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ ，在此， $\rho_1 = \alpha$ ，第 k 階的自我相關則為 $\rho_k = \rho_1^k$ ，在此過程中可得 $E(\bar{\theta}) = \mu$ ，且其標準誤等於：

$$SE(\bar{\theta}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{1+\rho}{1-\rho}} \quad (16)$$

上式中，等號右邊第 1 個比值為白雜訊的標準誤，第 2 部分 ($\sqrt{1+\rho/1-\rho}$) 稱為樣本膨脹因子 (sample size inflation factor, SSIF)，例如， $\rho = 0.5, 0.9, 0.95, 0.99$ ，則 SSIF 分別為 3, 19, 39, 199，因此若自我相關係數 $\rho = 0.95$ ，則欲得到與無自我相關 ($\rho = 0$) 相同的標準誤 (SE)，樣本必須增大約 40 倍。

欲消除自我相關可採行稀薄化的作法，也就是在融入點之後每隔 m 點才採計，例如在自我相關係數 $\rho = 0.99$ 時，若採計每隔 50 個樣本點，則相關係數衰減為 $0.605 (= 0.99^{50})$ ，若採計每隔 100 個樣本點，則為 0.366，500 個樣本點則為 0.007，稀薄化的作法除可使相關係數衰減，亦可減少電腦之記憶容量被占用。

至於測試收斂的方法有很多種，此處因限於篇幅，僅介紹兩種，其他方法可參閱相關書籍或期刊文章。第 1 種方法稱為 Geweke test，作法是將電腦隨機抽出的樣本中刪除融入點之前抽出者，所餘樣本點分成兩組，例如前 10% 與後 50%，若 Chain 已穩定，則兩組樣本的平均數應該無顯著差異，第 2 種方法吾人亦可利用修正 z-test 來比較兩組樣本的平均數，修正 z-test 得到的統計量稱為 Geweke z-score，若其值大於 2，表示其平均數尚未穩定，也就是尚未收斂，因此需要更長的融入點。

貝氏分析法可藉由圖 2 進一步說明，首先預設一函數型式，例如生產函數、成本函數、或是距離函數，並據以推導其概似函數，本研究擬以鐵路運輸之服務效果來說明，因為鐵路運輸為一多投入、多產出之產業，參考以往之研究，以宣告產出距離函數較為適當，有關距離函數與其概似函數將於下兩個小節中說明。另外，如前所述，貝氏方法的優點之一是研究者可強加正規條件，此一強加之限制式稱為前預測機率密度函數，在加入資料後，即可應用第 (10) 式求得後推測機率密度函數，經檢定其是否收斂，如若，則將所得之後推測機率密度函數作為下一階段之前預測機率密度函數，再次應用貝氏定理以求得下一階段之後推測機率密度函數，重複此一動作，直到收斂為止。

3.2 SFA 法

假設產出 y 係由 i 個投入要素 (x_i) 所生產，由於廠商在實際的生產過程中面臨許多不確定性因素，例如罷工、天候、運氣等，Aigner 等人^[16] 定義隨機前緣之生產函數下：

$$y_i = f(x_i; \beta) \times \exp(v_i) \times \exp(-u_i) = f(x_i; \beta) \times \exp(v_i) \times TE_i \quad (17)$$

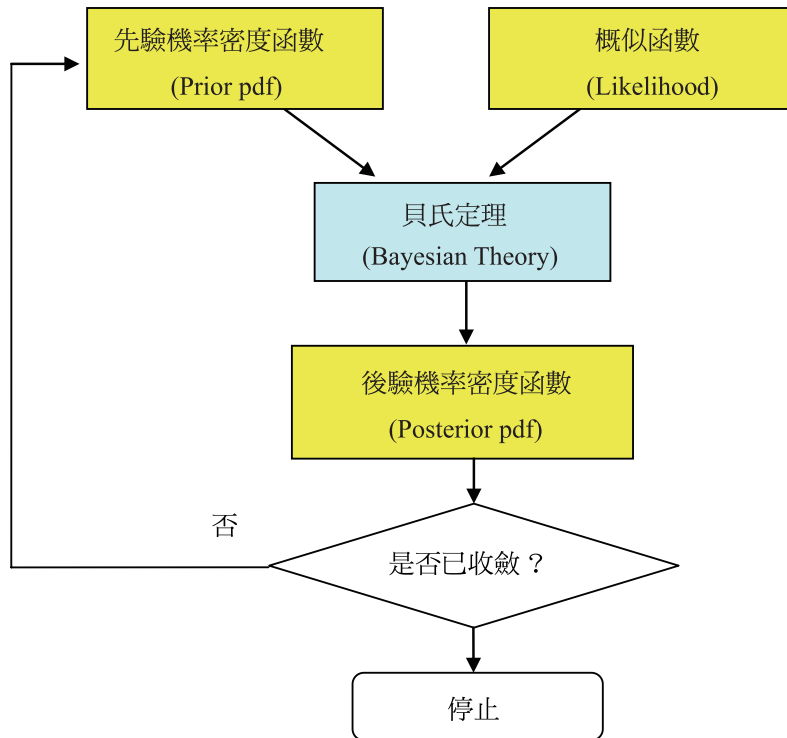


圖 2 貝氏分析法之流程

此處 v_i 為隨機誤差項，假設呈常態分配，平均數為 0，變異數為常數，用以代表量測誤差及其他不確定因素，而 u_i 為一非負之隨機變數，用以衡量廠商生產之技術無效率。為校估 $TE(u_i)$ 的值，必須先假設其分配型態，因其為非負，文獻上常採用之分配型態有半常態分配 (half-normal distribution, HN)、截斷型常態分配 (truncated normal distribution, TN) 或是指數分配 (exponential distribution)。因為半常態分配截斷於 0，截斷型常態分配截斷於 μ ，也就是說半常態分配係截斷型常態分配之特例，為求一般化，本研究假設 u_i 為服從截斷型常態分配，截斷於 μ ，也就是 SFA 模式有下列 3 點假設²：

² 詳細可參考 Kumbhakar 與 Lovell^[17]。

(1) $v_i \sim iid N(0, \sigma_v^2)$;

(2) $u_i \sim iid N^+(\mu, \sigma_u^2)$;

(3) v_i 與 u_i 互相獨立，且與各解釋變數間亦互為獨立。

在這些假設之下， v_i 與 u_i 的機率密度函數 $f(v)$ 與 $f(u)$ 如下：

$$f(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_v} \exp\left[-\frac{v^2}{2\sigma_v^2}\right], \quad f(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_u \cdot \Phi(-\mu/\sigma_u)} \exp\left[-\frac{(u-\mu)^2}{2\sigma_u^2}\right], \quad \text{此處 } \Phi(\cdot) \text{ 為}$$

標準常態分配之累積分配函數 (standard normal cumulative distribution function)。因為 v_i 與 u_i 互相獨立，故其聯合機率密度函數為個別機率密度函數 $f(v)$ 與 $f(u)$ 的乘積，如下式所示：

$$f(u, v) = \frac{1}{2\pi\sigma_u\sigma_v\Phi(-\mu/\sigma_u)} \exp\left[-\frac{(u-\mu)^2}{2\sigma_u^2} - \frac{v^2}{2\sigma_v^2}\right] \quad (18)$$

令 $v = \varepsilon + u$ ，則 u 與 ε 的聯合機率密度函數如下式所示：

$$f(u, \varepsilon) = \frac{1}{2\pi\sigma_u\sigma_v\Phi(-\mu/\sigma_u)} \exp\left[-\frac{(u-\mu)^2}{2\sigma_u^2} - \frac{(\varepsilon+u)^2}{2\sigma_v^2}\right] \quad (19)$$

ε 的邊際機率密度函數 (marginal probability density function) 可透過積分導出，如下式所示：

$$\begin{aligned} f(\varepsilon) &= \int_0^\infty f(u, \varepsilon) du = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot \Phi(-\mu/\sigma_u)} \cdot \Phi\left(\frac{\mu}{\sigma\lambda} - \frac{\varepsilon\lambda}{\sigma}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(\varepsilon+\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \\ &= \frac{1}{\sigma} \cdot \varphi\left(\frac{\varepsilon+\mu}{\sigma}\right) \cdot \Phi\left(\frac{\mu}{\sigma\lambda} - \frac{\varepsilon\lambda}{\sigma}\right) \cdot \left(\Phi\left(-\frac{\mu}{\sigma_u}\right)\right)^{-1} \end{aligned} \quad (20)$$

式中 $\sigma = (\sigma_u^2 + \sigma_v^2)^{1/2}$, $\varepsilon = v - u$, $\lambda = \sigma_u/\sigma_v$, $\phi(\cdot)$, 且 $\phi(\cdot)$, $\Phi(\cdot)$ 分別代表標準常態分配之密度函數及累積分配函數，又邊際密度函數 $f(\varepsilon)$ 的對數概似函數 (log likelihood function) 如下：

$$\ln L = \text{const} - N \ln \sigma - N \ln \Phi\left(-\frac{\mu}{\sigma_u}\right) + \sum_{i=1}^N \ln \Phi\left(\frac{\mu}{\sigma\lambda} - \frac{\varepsilon_i\lambda}{\sigma}\right) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\varepsilon_i + \mu}{\sigma}\right)^2 \quad (21)$$

$f(\varepsilon)$ 的對數概似函數導出後，利用下列關係式，即可以最大概似法求解。

$$f(u|\varepsilon) = \frac{f(u, \varepsilon)}{f(\varepsilon)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_* \left[1 - \Phi(-\mu/\sigma_*)\right]} \cdot \exp\left\{-\frac{(u-\tilde{\mu})^2}{2\sigma_*^2}\right\} \quad (22)$$

此處 $f(u|\varepsilon)$ 為服從 $N^+(\tilde{\mu}, \sigma_*^2)$ 的常態分配，且 $\tilde{\mu}_i = (-\sigma_u^2 \varepsilon_i + \mu \sigma_v^2) / \sigma^2$ ，同時 $\sigma_*^2 = \sigma_u^2 \sigma_v^2 / \sigma^2$ ，在 u_i 條件於 ε 的期望值已知後，即可校估廠商之技術效率 TE_i 如式 (23)，詳見 Battese 與 Coelli^[18]。

$$TE_i = E \left[\exp \langle -u_i | \varepsilon_i \rangle \right] = \left[\frac{1 - \Phi \left(\sigma_* - \tilde{\mu}_i / \sigma_* \right)}{1 - \Phi \left(-\tilde{\mu}_i / \sigma_* \right)} \right] \exp \left(-\mu_{*i} + \frac{1}{2} \sigma_*^2 \right) \quad (23)$$

3.3 產出距離函數 (Output distance function)

在經濟學中生產技術可以用集合的概念來描述，假設之技術集合如下：

$$S = \{ (x, y) : x \text{ 能生產 } y \} \quad (24)$$

此處的生產技術滿足標準集合的公理 (Färe 與 Primont^[19])，包括凸性 (convexity)、強可拋性 (strong disposability)、密合性 (closeness) 及有界 (boundedness)。Färe 與 Primont^[19] 證明此一生產技術亦可用產出距離函數來描繪，如下：

$$D(x, y) = \min \{ \delta : \delta > 0, (x, y / \delta) \in S \} \quad (25)$$

加諸於生產集合的上述假設，隱含產出距離函數為產出量 y 的非遞減 (non-decreasing)、線性同質 (linearly homogeneous)、凸性的函數，同時也是投入量 x 的非遞增 (non-increasing) 和準凸性的函數。若集合 (x, y) 屬於生產集合 S ，則 $D(x, y) \leq 1$ ，進一步來說，若集合 (x, y) 屬於生產集合 S 的前緣，則 $D(x, y) = 1$ 。此一距離的量度，也就是距離函數 $D(x, y)$ ，其倒數可用來表達在給定投入量的情況下，產出的可行擴增量，所謂可行意即不超出生產可能集合的前緣。

距離函數不僅可用以估計效率和生產力的改變，也可用來量度影子價格 (shadow prices) 與技術替代性 (substitution properties of the technology)，相關的研究例如：Grosskopf 等人^[20] 觀察到如果產出集合是凸性，則產出距離函數與收益函數 (revenue function) 間的對偶關係可用以導出產出的影子價格。更進一步具體地說，將產出距離函數對第 m 個產出偏微分，即可得到經以收益平減的影子價格。影子價格比會影響生產可能曲線的斜率，也就是影響邊際轉換率，且此一影子價格比除以該兩種產出的數量比，即得產出替代性 (output substitutability)。

綜上所述，影子價格在實證生產經濟學的用途非常廣泛，因此若研究者欲藉由校估距離函數而推導彈性和影子價格，首先必須確保所校估的距離函數能滿足前述的單調性和曲率特性，即每一觀測的樣本點都要滿足，違反單調性會使彈性的符號不正確，導致莫名其妙的政策意涵。

3.4 超越對數產出距離函數 (Translog output distance function)

由於超越對數函數可提供任意函數的二階逼近，為一具有彈性之函數型式，因此廣為學術界採用，例如鐵路領域 (Coelli 與 Perelman^[4])，本研究亦將宣告產出距離函數，以衡量廠商之技術效果，茲將超越對數型式的產出距離函數說明如下，假設廠商使用 R 種投入以生產 M 種產出，則產出距離函數可寫如下：

$$\begin{aligned} \ln D = & \alpha_0 + \sum_{m=1}^M \alpha_m \ln y_m + 0.5 \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M \alpha_{mn} \ln y_m \ln y_n + \sum_{r=1}^R \beta_r \ln x_r \\ & + 0.5 \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^R \beta_{rs} \ln x_r \ln x_s + \sum_{r=1}^R \sum_{m=1}^M \delta_{rm} \ln x_r \ln y_m \end{aligned} \quad (26)$$

此處 $\alpha_0, \alpha_m, \alpha_{mn}, \beta_r, \beta_{rs}$, 及 δ_{rm} 為待校估的參數，其必須滿足特定的限制， $\alpha_{mn} = \alpha_{nm}$ 及 $\beta_{rs} = \beta_{sr}$ 對所有的 m, n, r 及 s 。此外，必須再加上均質性的限制，並加上一統計殘差項。根據尤拉定理 (Euler's theorem) 產出的一階均質性隱含的限制如下：

$$\sum_{m=1}^M \alpha_m + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M \alpha_{mn} \ln y_n + \sum_{r=1}^R \sum_{m=1}^M \delta_{rm} \ln x_r = 1 \quad (27)$$

若下式成立，則 (27) 式即可滿足。

$$\sum_{m=1}^M \alpha_m = 1, \sum_{m=1}^M \alpha_{mn} = 0, \text{ for all } n, \text{ and } \sum_{m=1}^M \delta_{rm} = 0, \text{ for all } r, \quad (28)$$

將這些限制式代入產出距離函數，相當於將等式左右兩邊遍除以任一產出，假定除以第 M 種產出，則 (26) 成為：

$$\begin{aligned} \ln(D / y_M) = & \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M-1} \alpha_m \ln(y_m / y_M) + 0.5 \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{n=1}^{M-1} \alpha_{mn} \ln(y_m / y_M) \ln(y_n / y_M) + \\ & \sum_{r=1}^R \beta_r \ln x_r + 0.5 \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^R \beta_{rs} \ln x_r \ln x_s + \sum_{r=1}^R \sum_{m=1}^{M-1} \delta_{rm} \ln x_r \ln(y_m / y_M) \end{aligned} \quad (29)$$

為期簡化，以 $TL(*)$ 代表超越對數函數， β 代表待校估的參數，(29) 式改寫如下：

$$\ln(D / y_M) = TL(\mathbf{x}, \mathbf{y} / y_M, \beta), \quad (30)$$

(30) 式可改寫如 (31) 式：

$$-\ln y_M = TL(\mathbf{x}, \mathbf{y} / y_M, \beta) + u, \quad (31)$$

此處 $u = -\ln D$ ，為一非負項 (亦即 $\ln D$ 為負值)，用以代表廠商的無效率，若於 (29) 式

中再加入隨機誤差項 v ，即可成為 (32) 式，即是 Aigner 等人^[16] 所建議的隨機前緣模式，此為本研究用以估計廠商服務效果的實證模式：

$$-\ln y_M = TL(\mathbf{x}, \mathbf{y} / y_M, \boldsymbol{\beta}) + v + u. \quad (32)$$

3.5 強加正規條件於產出距離函數

文獻上對於生產函數、成本函數、距離函數等必須滿足正規條件的論述甚多，經參考 Lau^[21]，Chiang^[22] 及 O'Donnell 與 Coelli^[15] 等，整理歸納說明正規條件之限制如下，單調性與曲率條件包括距離函數偏微分的限制，主要的偏微分式為距離 (D) 對投入或產出的彈性，分別敘述如下：

$$\varepsilon_r = \frac{\partial \ln D}{\partial \ln x_r} = \beta_r + \sum_{s=1}^R \beta_{rs} \ln x_s + \sum_{m=1}^M \delta_{rm} \ln y_m \quad (33)$$

$$\varepsilon_m = \frac{\partial \ln D}{\partial \ln y_m} = \alpha_m + \sum_{n=1}^M \alpha_{mn} \ln y_n + \sum_{r=1}^R \delta_{rm} \ln x_r \quad (34)$$

D 為 x 的非遞增函數，則下式必須滿足：

$$f_r = \frac{\partial D}{\partial x_r} = \frac{\partial \ln D}{\partial \ln x_r} \cdot \frac{D}{x_r} = \varepsilon_r \cdot \frac{D}{x_r} \leq 0, \Leftrightarrow \varepsilon_r \leq 0 \quad (35)$$

D 為 y 的非遞減函數，則下式必須滿足：

$$h_m = \frac{\partial D}{\partial y_m} = \frac{\partial \ln D}{\partial \ln y_m} \cdot \frac{D}{y_m} = \varepsilon_m \cdot \frac{D}{y_m} \geq 0, \Leftrightarrow \varepsilon_m \geq 0 \quad (36)$$

針對距離函數 D 必須準凸性於 x ，則以 D 的一階微分與二階微分構成廣義的黑生矩陣 (bordered Hessian matrix) 如下：

$$F = \begin{bmatrix} 0 & f_1 & \cdots & f_R \\ f_1 & f_{11} & \cdots & f_{1R} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ f_R & f_{R1} & \cdots & f_{RR} \end{bmatrix} \quad (37)$$

此處

$$f_{rs} = \frac{\partial^2 D}{\partial x_r \partial x_s} = \frac{\partial f_r}{\partial x_s} = \frac{\partial(\varepsilon_r D / x_r)}{\partial x_s} = (\beta_{rs} + \varepsilon_r \varepsilon_s - \delta_{rs} \varepsilon_r)(D / x_r x_s) \quad (38)$$

若 $r=s$ 則 $\delta_{rs} = 1$ ，其餘則 $\delta_{rs} = 0$ ，距離函數 D 在非負的正交面上必須準凸性於 x ，其充分條件為 F 主要分項 (principal minors) 必須為負。對於距離函數 D 於 y 為凸性，必須建構黑生矩陣 (Hessian matrix) 如下：

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1M} \\ h_{12} & h_{22} & \dots & h_{2M} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ h_{1M} & h_{2M} & \dots & h_{MM} \end{bmatrix} \quad (39)$$

此處

$$h_{mn} = \frac{\partial^2 D}{\partial y_m \partial y_n} = \frac{\partial h_m}{\partial y_n} = \frac{\partial(\varepsilon_m D / y_m)}{\partial y_n} = (\alpha_{mn} + \varepsilon_m \varepsilon_n - \delta_{mn} \varepsilon_m)(D / y_m y_n) \quad (40)$$

距離函數 D 將會在非負的正交面上凸於 y ，若且唯若 H 是正半定 (即 $H \geq 0$)，在鐵路績效的實證研究中，因為有兩項產出 ($M=2$)，黑生矩陣為正半定，若且唯若 $\alpha_{11} \geq \varepsilon_1 \varepsilon_2 (\leq 0.25)$ 。此係因要滿足齊一性條件，必須 $\alpha_{11} = -\alpha_{12} = -\alpha_{21} = \alpha_{22}$ ，同時 $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 1$ ，合併這些條件即可證明 $|H| = 0$ ，故 H 為正半定，若且唯若 $(\alpha_{11} + \varepsilon_1 \varepsilon_2 - \varepsilon_1)(D / y_1 y_2) \geq 0$ 或是 $(\alpha_{11} \geq \varepsilon_1 \varepsilon_2)$ ，單調性加上齊一性即得 $\varepsilon_1 \varepsilon_2 \geq 0.25$ 。

四、實證分析

4.1 資料

本研究實證分析之資料取自國際鐵路聯盟 (International Union of Railways, UIC) 的統計年報，考慮受評估之單位應具有均質性 (homogeneity)，也就是各鐵路公司應使用相同的投入，生產相同的運輸服務，以使績效評估具有意義，因為歐陸各鐵路公司具有互通路網的特性，部分鐵路公司所使用的動力車 (power car) 具有變壓器，可適用於不同國家之多重電源，此即為可轉換電壓式動力裝置，備此裝置即可行駛至路網相通的國家，再加上各會員國在歐盟統一的指令下經營，根據 EU91/440 政策指令開放，及其隨後修正或附加的指令，例如 EU2001/12 指令，各會員國鐵路公司逐漸形成歐陸大路網，經營條件更是日趨一致，為跨國比較鐵路公司營運績效中最具有同質性者。在此特別需要說明的是，雖 EU 已有車路分離指令，但各國執行進度不一，就以法國、西班牙與德國來說，法國為車路分

離國家，SNCF 並不擁有基礎設施，由 RFF 擁有，但實際上基礎設施的維護，仍由 SNCF 負責；西班牙亦是車路分離國家，RENFE 只管鐵路營運，由 ADIF 負責基礎設施的維護；而在德國，DB AG 需要經營鐵路營運與維護基礎設施。在這樣不同的國情情況下，為避免造成評估不公平的現象，本研究將各國的基礎設施與營運單位合起來當作某一國的代表。另外，因各鐵路公司的路線長度，可能會有單線與雙線的不同，本研究已考慮到單、雙線的差異，評估時將雙線的哩程乘以 2，用以反映投入項的增加。

鐵路運輸具有多元產出之特性，其投入之生產要素為勞力、客運車輛、貨運車輛及營運路線等，產出（運輸服務）則為延人公里（ y_p ）、延噸公里（ y_f ）兩項。經選取歸屬於歐盟會員國的 24 家鐵路公司 2006 年至 2008 年之營運資料，總計有 72 個觀測點。另考慮 24 家鐵路公司之營運規模容有差異，本研究改以單位營運里程之投入及產出資料，也就是將統計年報上之原始投入產出資料，分別除以各該公司之營運路線長，例如將客運的服務延人公里（Pax-km）除以營運路線長度（km），即可得單位營運里程之客運服務變數。表 1 為各項變數之敘述性統計。另外，本研究採用 Pearson 法來計算各變數之相關係數，表 2 為計算結果，從表 2 中可發現，Pax-km/km 與 Ton-km/km 具有負相關，也就是客運服務與貨運服務具有此消彼長的關係，另外，Pax-km/km 與 Fcar/km 也具有負相關。值得一提的是 Pax-km/km 與 Pcar/km 具顯著正相關，相關係數 0.835，但 Ton-km/km 與 Fcar/km 雖具有正相關，但其相關係數不高，也不顯著。

表 1 單位路線長（每公里）之投入、產出變數之敘述統計

敘述統計	Pax-km/km	Ton-km/km	Staff/km	Pcar/km	Fcar/km
最大值	5683.8	10553.0	10.98	1.698	13.949
最小值	231.6	53.7	1.07	0.150	0.415
平均值	1322.9	2740.8	5.20	0.459	2.954
標準差	1101.9	2689.0	2.57	0.313	2.448

註：Pax-km/km 之單位為每公里千延人公里，Ton-km/km 之單位為每公里千延噸公里，投入變數之單位則為每公里的營運哩程使用了若干員工（客車、貨車）。

表 2 各變數之相關係數

	Pax-km/km	Ton-km/km	Pcar/km	Fcar/km	Staff/km
Pax-km/km	1				
Ton-km/km	-0.111	1			
Pcar/km	0.835**	0.128	1		
Fcar/km	-0.059	0.051	0.133	1	
Staff/km	0.432**	0.198	0.596**	0.599**	1

註：**在顯著水準為 0.01 時（雙尾）具顯著性。

4.2 ML 法

經資料蒐集、分析後，接著宣告超越對數產出距離函數（如 (32) 式之模式），並將 u_i 設定為截斷型常態分配（truncated-normal distribution, TN），首先以 ML 法估計參數，並使用 FRONTIER4.1 (Coelli ^[23]) 電腦軟體估計，校估所得之各參數值及 t 值詳如表 3 所示。由表 3 可觀察之結果顯示，4 個一次項中有一個參數是不顯著，且 3 個投入項中有兩個參數符號可能是錯誤的，當然超越對數函數具有自乘項與互乘項（二次項），不似 Cobb-Douglas 函數可直接觀察一次項之係數正負號即可判定符號正確與否，因此，在參數校估後，將係數值代入每一個樣本點，可了解所校估的參數有無違反經濟學的正規條件。也就是經上述 ML 法估算出各係數值後，接著以一次偏微分（即模式 37、38）檢測距離函數是否違反經濟學的正規條件（即單調性），其限制為距離函數 D 為 x 的非遞增函數，必須滿足 $\partial \ln D / \partial \ln x \leq 0$ ，意即效率不致因投入增加而改善，同時，距離 D 為 y 的非遞減函數，也就是說，效率不會因產出增加而劣化，必須滿足 $\partial \ln D / \partial \ln y \geq 0$ 。表 4 顯示檢測之結果，除距離函數對客運產出之彈性所有樣本點均為正，滿足單調性之限制外，其餘之貨運

表 3 ML 法與貝氏法之參數校估結果

參數	ML 法		貝氏法	
	係數	t 值	係數	t 值
β_0	-9.3169	-19.0850*	-9.703	-11.844*
$\beta_1 (\ln y^*)$	0.7819	3.6979*	0.681	2.483*
$\beta_2 (\ln y^*)^2$	0.0700	1.4004	0.070	1.049
$\beta_3 (\ln x_1)$	2.1840	4.1170*	-2.181	-2.468*
$\beta_4 (\ln x_2)$	-2.1844	-4.5629*	-2.261	-2.813*
$\beta_5 (\ln x_3)$	0.0765	0.1689	-0.887	-2.009*
$B_6 (\ln^2 x_1)$	-1.5661	-4.6591*	-1.613	-3.051*
$\beta_7 (\ln^2 x_2)$	-0.4548	-2.0137*	-0.211	-0.625
$\beta_8 (\ln^2 x_3)$	0.0497	0.2881	0.119	0.612
$\beta_9 (\ln x_1) (\ln x_2)$	0.6382	2.6044*	0.206	0.504
$\beta_{10} (\ln x_2) (\ln x_3)$	0.1359	0.7253	0.109	0.473
$\beta_{11} (\ln x_1) (\ln x_3)$	0.2084	0.7538	0.207	0.656
$\beta_{12} (\ln y^*) (\ln x_1)$	-0.2507	-2.8224*	-0.257	-2.053*
$\beta_{13} (\ln y^*) (\ln x_2)$	-0.2813	-2.6251*	-0.275	-1.990*
$\beta_{14} (\ln y^*) (\ln x_3)$	0.0238	0.5123	0.020	0.329
sigma-squared	0.0395	2.8441*	0.039	4.267*
zeta	0.3217	4.1713*	-0.033	-0.247

註：*表示該參數於 $\alpha = 0.05$ 下顯著異於 0。

產出之彈性、投入彈性，均有或多或少的樣本點違反正規條件限制，此正突顯使用 ML 校估的缺點，其中以投入項 x_3 之係數為正，且將資料代入一次偏微分後有 52 個樣本點（或 $52/72=72\%$ ）違反正規條件最為嚴重。參數校估之結果既有問題，後續之解釋已無意義，估計得到之效率（效果）值亦屬偏誤。經由上述實證，顯有必要針對變數之單調性強加限制於模式，按參數校估時可強加限制於 SFA 模式，正是貝氏分析法的優點，故本研究後續將應用貝氏法來校估，以改正 ML 法之缺失。

表 4 以 ML 法校估所得之單調性檢測結果

項目	$\frac{\partial \ln D}{\partial \ln y_p}$	$\frac{\partial \ln D}{\partial \ln y_f}$	$\frac{\partial \ln D}{\partial \ln x_1}$	$\frac{\partial \ln D}{\partial \ln x_2}$	$\frac{\partial \ln D}{\partial \ln x_3}$
平均值	0.6549	0.3451	-0.2314	-0.5299	0.1457
違反樣本數	0	9	21	12	52

4.3 貝氏分析法

如前 (3.1 節) 所述，貝氏分析法的意義即為事後機率密度函數比例於概似函數與先驗機率密度函數的乘積，因此，應用貝氏分析法之前，必須先宣告一假設之函數型式，據以推導概似函數。參考文獻上既有之研究成果，本研究宣告最具有彈性之超越對數產出距離函數，亦即第 (32) 式，並依 3.2 節所述方法推導其概似函數，同時，基於黑生矩陣必須為正半定，始能滿足生產經濟學的正規條件，本研究強加距離函數分別對兩項產出之偏微分之乘積必須大於或等於 0.25 之限制，也就是宣告強加先驗機率密度函數為 $\varepsilon_1 \varepsilon_2 \geq 0.25$ 。

本研究以 Spiegelhater 等人^[24]研發的免費軟體 WinBUGS，來分析各家鐵路公司之技術效果，該軟體可自網頁上³免費下載，WinBUGS 之程式語法，除可參閱同網頁下載之使用手冊外，亦可參考自 Griffin 與 Steel^[25]。換句話說，研究者仍必須依照使用手冊所敘程式語法，針對個別之狀況自行撰寫程式，若讀者對本文用以校估之程式有興趣，可以電子郵件方式洽作者索取。經以 acer Aspire 4520G 筆記型電腦 (CPU 為 AMD Turion 64x2) 來運算，歷時 2880 秒，經 2,237,700 次運算，始告收斂，校估之結果記錄於表 3 最右兩欄。特須一提的是，以 WinBUGS 校估時，電腦之結果報表並無顯示 t 值，表 3 中的 t 值係將校估所得 β 值除以標準誤即得。

觀察表 3 之結果可以發現，應用貝氏方法所有一次項的參數均顯著，更重要的是符號均正確，例如 β_1 (y 的一次項) 為正且顯著異於 0，正號代表產出越多效率愈高； $\beta_3, \beta_4, \beta_5$ (x 的一次項) 為負且顯著異於 0，負號代表投入越多效率愈差；但 ML 法的結果卻不然，3 個投入的一次項中，有兩項 (β_3, β_5) 符號是錯誤的，誠如本文開宗明義即揭示貝氏方法的優點，此一結果印證本文的揭示，也就是說，貝氏方法可校估獲得正確的參數符號。當然

³ www.mrc-bsu.cam.ac.uk/bugs/winbugs/contents.shtml

直接觀察一次項符號之正確與否，限於所宣告的函數僅有一次項，對於具有包括自乘項與互乘項的二次函數言，必須進一步驗算所有樣本點的 5 個一次偏微分，以驗證所宣告的函數是否符合單調性，同時也必須驗算距離函數的一次偏微分，以檢驗其是否滿足曲率限制，單調性加上曲率限制即為正規條件，經驗算所有樣本點之一次與二次偏微分，發現其值在每個樣本點均符合正規條件限制。於是經參數校估後之產出距離函數成為下列所示，式中 $y^* = (y_p / y_f)$ ：

$$\begin{aligned} \ln D = & -9.703 + 0.681 \ln y_p + 0.319 \ln y_f + 0.070 \ln^2 y^* - 2.181 \ln x_1 - 2.261 \ln x_2 \\ & - 0.887 \ln x_3 - 1.613 \ln^2 x_1 - 0.211 \ln^2 x_2 + 0.119 \ln^2 x_3 + 0.206 (\ln x_1)(\ln x_2) \\ & + 0.109 (\ln x_2)(\ln x_3) + 0.207 (\ln x_1)(\ln x_3) - 0.257 (\ln x_1) \ln y^* - 0.275 (\ln x_2) \ln y^* \\ & + 0.020 (\ln x_3) \ln y^* + v \end{aligned}$$

如前所敘，於估計廠商之效率（或效果）前，必須先確認各參數符號符合正規條件，否則，效率（或效果）也是偏誤的。本研究經驗證參數校估正確無誤後，進一步檢視各廠商各年度之效果值，整理詳如附錄，特須說明的是，由於以 ML 法所得到的函數並未滿足正規條件的限制，因此其效率值並無意義，故不列入。由附錄中可知以貝氏分析之效果值，整體而言，平均數為 0.901，且 3 個觀測年度之平均數相對穩定，標準差為 0.022，其中，西歐鐵路公司 3 年的平均為 0.907，東歐 3 年平均為則 0.894，經 t 檢定兩群組並無顯著差異。此一結果透露的意涵是，樣本的東、西歐各鐵路公司均靠近效率前緣，經營之服務效果趨於成熟、穩定。就個別鐵路公司而言，以德鐵 (DB AG) 3 年平均 0.940 最佳，奧地利 (ÖBB)、義大利 (FS SpA) 次之，3 年平均效果分別為 0.929 與 0.924；比利時 (SNCB)、保加利亞 (BDZ)、克羅地亞 (HZ) 則排名較後，3 年平均效果分別為 0.855, 0.862 與 0.871，經營上必尚有待改進之處。

由於本研究宣告產出距離函數，因此所獲政策意涵是：少數績效欠佳的鐵路公司，應設法提高產出。實證結果亦顯示，客、貨運兩項產出之中，距離函數對客運產出之彈性 (0.681) 大於對貨運產出之彈性 (0.319)，也就是欲求改善績效，其對策首重提升客運的產出，貨運的產出次之，此係因為一般而言貨運列車行駛速度較慢，且未能提供及戶運輸，又貨物運輸裝卸作業耗時，故提升客運的產出比提升貨運的產出更能快速改善經營績效，也就是說本研究所估計之產出距離函數與先驗知識 (underlying theory) 相符合。

五、結 論

本研究以歐盟國家之 24 家鐵路公司 2006 年至 2008 年的營運資料，共計 72 個觀測點，與過去採用 SFA 法研究不同之處，在於以往之研究係利用 ML 校估參數值及效率值，但

ML 法校估之參數值常違反經濟學之正規條件，也就是違反單調性的假設，為改善此一缺失，本研究建議用貝氏前緣法校估。24 家樣本鐵路公司 3 年的資料實證結果顯示，以 ML 法校估的參數確實違反正規條件的限制，經改以貝氏前緣分析法，結果顯示所校估之參數值，在每一個樣本點均滿足正規條件之限制，證明貝氏前緣分析法的優異性。

相對於之前若干的研究，例如 O'Donnell 與 Coelli^[15] 僅於評估後提出結論，指績效較差的廠商改進之道為設法增加產出，但卻未指明應增加何項產出，本研究根據校估所得之超越對數產出距離函數，進一步明確提出改善績效之方向，此為本研究貢獻之一。至於具體可行的改善方法之一為重新檢討客運列車行駛班次，研擬一更能滿足旅客需求之班表，以提升運量。另外，適時推出促銷方案、針對經常搭乘之忠實顧客，例如通勤、通學之旅客給予折扣優惠、與旅行社等業者合作促銷、結合大型展覽、會議、花博等活動等強力促銷，亦均為強化行銷以提升客運銷售實績的可行對策。此外，由於鐵路運輸通常尚難以提供及戶之運輸，故與其他運輸業，例如公路汽車客運業、計程車等業者合作，例如提供長程旅客轉乘市區公車優惠等，形成運具之間互補的效果，亦為改善經營績效之良策。

如前言所敘，本研究最主要之限制，在於資料的取得困難，以致於評估的結果仍尚未盡理想，未來的研究倘能突破此一限制，取得各鐵路公司「座位公里」及「噸公里（運能）」資料，必能使對於鐵路營運績效的評估更臻完善。此外，本文研究範圍僅及於鐵路運輸之技術效果，因為各鐵路公司所使用的車輛係自有或租用將影響其投入要素之使用成本，因此涉及財務面之成本效率亦為未來值得研究的課題之一。另外，應用貝氏前緣分析法於跨年生產力之衡量，並將生產力成長（或衰退）分解為技術的改變、效率的成長（或衰退），以期對鐵路運輸績效評估更深入、獲得更多的政策意涵，值得後續研究進一步審慎探討。

參考文獻

1. European Communities, *Modern Rail Modern Europe, Toward an Integrated European Railway Area*, European Communities, Belgium, 2008.
2. Gathon, H. J. and Perelman, S., "Measuring Technical Efficiency in European Railways: A Panel Data Approach", *The Journal of Productivity Analysis*, Vol. 3, 1992, pp. 135-151.
3. Gathon, H. J. and Pestieau, P., "Decomposing Efficiency into Its Managerial and Its Regulatory Components: The Case of European Railways", *European Journal of Operational Research*, Vol. 80, 1995, pp. 500-507.
4. Coelli, T. J. and Perelman, S., "A Comparison of Parametric and Non-parametric Distance Functions: With Application to European Railways", *European Journal of Operational Research*, Vol. 117, 1999, pp. 326-329.
5. Cantos, P. and Maudos, J., "Regulation and Efficiency: The Case of European Railways", *Transportation Research Part A*, Vol. 35, 2001, pp. 459-472.
6. Loizides, J. and Tsionas, E. G., "Productivity Growth in European Railways: A New Approach", *Transportation Research Part A*, Vol. 36, 2002, pp. 633-644.

7. Graham, D. J., Couto, A., Adeney, W. E., and Glaister, S., “Economies of Scale and Density in Urban Rail Transport: Effects on Productivity”, *Transportation Research Part E*, Vol. 39, 2003, pp. 443-458.
8. Lan, L. W. and Lin, E. T. J., “Performance Measurement for Railway Transport: Stochastic Distance Functions with Inefficiency and Ineffectiveness Effects”, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 40, 2006, pp. 383-408.
9. Yu, M. M. and Lin, E. T. J., “Efficiency and Effectiveness in Railway Performance Using a Multi-Activity Network DEA Model”, *Omega: The International Journal of Management Science*, Vol. 36, 2008, pp. 1005-1017.
10. Couto, A. and Graham, D. J., “The Contributions of Technical and Allocative Efficiency to the Economic Performance of European Railways”, *Portuguese Economic Journal*, Vol. 7, 2008, pp. 125-153.
11. Lin, E. T. J., “Productive Efficiency, Service Effectiveness, Productivity and Sale Force Measurement for Rail Transport Industry”, Ph. D. Dissertation, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan, 2004.
12. Fielding, G. J., Babitsky, T. T., and Brenner, M. E., “Performance Evaluation for Bus Transit”, *Transportation Research Part A*, Vol. 19, 1985, pp. 73-82.
13. Coelli, T., Prasada Rao, D. S., O'Donnell, C. J., and Battese, G. E., *Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Springer, Boston, 2005.
14. Graham, D. J., “Productivity and Efficiency in Urban Railways: Parametric and Non-Parametric Estimates”, *Transportation Research Part E*, Vol. 45, 2008, pp. 787-794.
15. O'Donnell, C. J. and Coelli, T. J., “A Bayesian Approach to Imposing Curvature on Distance Function”, *Journal of Econometrics*, Vol. 126, 2005, pp. 493-523.
16. Aigner, D. J., Lovell, C. A. K., and Schmidt, P., “Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models”, *Journal of Econometrics*, Vol. 6, 1977, pp. 21-37.
17. Kumbhakar, S. C. and Lovell, C. A. K., *Stochastic Frontier Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge, 2000.
18. Battese, G. E. and Coelli, T. J., “Prediction of Firm-Level Technical Efficiencies with a Generalized Frontier Production Function and Panel Data”, *Journal of Econometrics*, Vol. 38, 1988, pp. 387-399.
19. Färe, R. and Primont, D., *Multi-Output Production and Duality: Theory and Applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 1995.
20. Grosskopf, S., Margaritis, D., and Valdmanis, V., “Estimating Output Substitutability of Hospital Service: A Distance Function Approach”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 80, 1995, pp. 575-587.
21. Lau, L. J., “Testing and Imposing Monotonicity, Convexity and Quasi-Convexity Constraints”, *Production Economics: A Dual Approach to Theory and Applications*, Fuss, M. and McFadden, D. (Eds.), Amsterdam, North Holland, 1978.
22. Chiang, A. C., *Fundamental Methods of Mathematical Economics*, 3rd Edition, McGraw-Hill, Singapore, 1984.

23. Coelli, T. J., “A Guide to FRONTIER Version 4.1: A Computer Program for Stochastic Frontier Production and Cost Function Estimation”, *CEPA Working Papers*, No. 7/96, Department of Econometrics, University of New England, 1996.
24. Spiegelhater, D., Thomas, A., Best, N., and Lunn, D., “WinBUGS User Manual Version 1.4”, <http://www.mrc-bsu.cam.ac.uk/bugs>, 2003.
25. Griffin, J. E. and Steel, M. F., “Bayesian Stochastic Frontier Analysis Using WinBUGS”, *The Journal of Productivity Analysis*, Vol. 27, 2007, pp. 163-176.

附 錄

以貝氏分析法估計樣本鐵路公司之效果值

地區	國家	鐵路公司	2006	2007	2008	平均值	排名
西歐	奧地利	<i>ÖBB</i>	0.924	0.932	0.931	0.929	2
	比利時	<i>SNCB</i>	0.866	0.854	0.845	0.855	24
	芬蘭	<i>VR</i>	0.909	0.918	0.924	0.917	4
	法國	<i>SNCF</i>	0.900	0.927	0.900	0.909	7
	德國	<i>DB AG</i>	0.938	0.940	0.943	0.940	1
	愛爾蘭	<i>CIE</i>	0.900	0.916	0.889	0.902	14
	義大利	<i>FS SpA</i>	0.919	0.924	0.930	0.924	3
	盧森堡	<i>CFL</i>	0.911	0.881	0.894	0.895	18
	葡萄牙	<i>CP</i>	0.895	0.895	0.904	0.898	17
	西班牙	<i>RENFE</i>	0.912	0.906	0.910	0.909	7
	瑞士	<i>BLS</i>	0.926	0.887	0.899	0.904	13
	瑞士	<i>CFF</i>	0.900	0.889	0.927	0.905	11
東歐	保加利亞	<i>BDZ</i>	0.870	0.865	0.850	0.862	23
	克羅地亞	<i>HZ</i>	0.850	0.876	0.888	0.871	22
	捷克	<i>CD</i>	0.875	0.883	0.887	0.882	20
	愛沙尼亞	<i>EVR</i>	0.893	0.927	0.876	0.899	16
	匈牙利	<i>MÁV Rt.</i>	0.870	0.881	0.900	0.883	19
	拉脫維亞	<i>LDZ</i>	0.898	0.906	0.897	0.900	15
	立陶宛	<i>LG</i>	0.904	0.902	0.913	0.906	10
	波蘭	<i>PKP</i>	0.910	0.914	0.912	0.912	6
	羅馬尼亞	<i>CFR</i>	0.920	0.908	0.896	0.908	9
	斯洛維尼亞	<i>SZ</i>	0.908	0.906	0.903	0.905	11
	土耳其	<i>TCDD</i>	0.919	0.918	0.912	0.917	5
	希臘	<i>OSE</i>	0.905	0.878	0.859	0.881	21
平均值			0.901	0.901	0.900	0.901	

貨櫃定期航商珠江三角洲空櫃調度模式 之研究—以某國籍航商之個案為例¹

A STUDY ON AN EMPTY CONTAINER DISPATCH MODEL FOR MERCHANT SHIPS IN THE PEARL RIVER DELTA AREA – THE CASE STUDY ON MERCHANT SHIPS OF SPECIFIC NATIONALITY

趙時樑 Shih-Liang Chao²

涂智凱 Chi-Ki Tu³

(100 年 10 月 4 日收稿，101 年 5 月 28 日第一次修改，101 年 10 月 1 日第二次修改，
101 年 11 月 27 日第三次修改，102 年 2 月 27 日第四次修改，102 年 6 月 12 日定稿)

摘 要

珠江三角洲 (Pearl River Delta, PRD) 是中國經貿活動最繁榮的港口經濟區之一，其以珠江綿密水系為主之獨特貨櫃運輸系統，使得全球廠商可以深入內陸設立生產據點，利用低廉勞工與土地成本取得競爭優勢，生產成品則可透過香港、深圳等國際港口出口至世界主要港口。由於經貿與生產活動相當活絡，此一具龐大貨櫃運輸需求之市場已成為全球主要定期航商積極發展之重點。然由於 PRD 地區獨特的水陸交錯運輸體系，使得其空櫃調度問題更加複雜。本研究旨在從國籍航商之角度，探討 PRD 地區空櫃調度與管理問題，考量重櫃拆空、空櫃調度、貨櫃租賃等因素，以及水、陸運輸系統之特性與限制條件，建立網路研究模式協助分析問題，並以某國籍航商之個案為例，進行淡旺季貨櫃調度最佳策略之案例研究以及各據點需求變動時之敏感性分析。

-
1. 本文為國科會補助研究計畫 H98-2410-H-019-018 之部分研究成果，謹此誌謝。
 2. 國立臺灣海洋大學航運管理學系研究所副教授 (聯絡地址：202 基隆市中正區北寧路 2 號臺灣海洋大學航運管理學系；電話：02-24622192 轉 3422；E-mail: alexchao@ntou.edu.tw)。
 3. 國立臺灣海洋大學航運管理學系研究所碩士 (E-mail: sky94kk@yahoo.com.tw)。

關鍵詞：珠江三角洲；貨櫃調度；定期航運；網路分析

ABSTRACT

The Pearl River Delta (PRD) demonstrates one of the most prosperous trading activities in harbor economies in China. The unique transportation system of the Pearl River stimulates business around the world to establish inland production facilities in China, subsequently utilizing the cheap labor and land costs of China as a competitive advantage. Finished products can then be shipped worldwide via international harbors located in Hong Kong and Shenzhen. Because of the prevalent trade and production activity, the massive requirement for transportation has led the PRD to become an essential stop for merchant ships worldwide. Furthermore, due to the diversity of transportation modes in the PRD, liner carriers must efficiently handle the complicated problem of container management. Thus, this study proposes a mathematical network model in provision of the empty container management problem in the PRD. Considering numerous factors such as heavy container dismantlement, empty container dispatch, and container rental, as well as the characteristics and limitations of the land and water transportation systems in the PRD, this mathematical network model can be used to effectively analyze problems. Subsequently, by using the merchant ships of specific nationalities as an example, this study analyzed the optimal dispatch strategies during peak and off-peak seasons, and further conducted sensitivity analysis of various locations during demand changes.

Key Words: *Pearl River Delta; Container repositioning; Liner shipping; Network analysis*

一、研究背景

珠江三角洲 (Pearl River Delta, 以下簡稱 PRD)、長江三角洲以及環渤海區為中國最繁榮的 3 個港口經濟區，其中 PRD 因腹地遼闊且有香港、鹽田、赤灣與蛇口等國際港口在貨物運輸方面的支援，國際經貿活動最為發達。如表 1 所示，在 2007-2011 年間，廣州、深圳與香港之貨櫃量約占亞洲主要港口總量之四分之一強，也約當於大陸主要港口（含香港）總量之五成左右，經濟實力相當堅強。在這個活絡的經貿體系背後，一個完善的海運貨櫃運輸系統扮演著極為重要的基礎角色。在地理特性上，珠江綿密水系的駁船運輸網路，使得包括臺商在內的全球廠商，可以深入上游內陸腹地設立生產據點，取得勞工與土地的成本優勢。大量生產的成品則可藉由內河水運或卡車拖運等方式先運至香港與深圳等國際級港口，再藉由密集的航線網路運銷至世界各地。值得一提的是，雖然深入上游區域發展可以取得成本優勢，卻也同時提高了原物料、半成品與成品運送問題之複雜度，需要完善的運輸與物流系統支援，才能保持生產運銷活動的順暢。對於在 PRD 區域提供貨櫃運輸服務的航商而言，除了開闢由香港與深圳等港口往來世界主要港口的航線網路並維持準確的船期外，如何利用獨特且多元的複雜運輸系統於分布廣闊的營業據點中，有效地調度與管理貨櫃，實為影響航商營運效率與服務品質之關鍵作業性課題，值得進行深入的探討。

表 1 亞洲主要港口貨櫃處理量

(單位：1,000 TEU)

港口	2007		2008		2009		2010		2011	
	櫃量	百分比	櫃量	百分比	櫃量	百分比	櫃量	百分比	櫃量	百分比
上海	26.11	13.33%	27.98	13.36%	25.00	13.16%	29.00	13.26%	31.50	13.35%
大阪	1.97	1.01%	1.95	0.93%	1.84	0.97%	1.98	0.91%	2.17	0.92%
丹戎不碌	3.90	1.99%	3.98	1.90%	3.80	2.00%	4.71	2.15%	5.80	2.46%
丹戎帕拉帕斯	5.47	2.79%	5.60	2.67%	6.02	3.17%	6.53	2.99%	7.50	3.18%
天津	7.10	3.62%	8.50	4.06%	8.70	4.58%	10.08	4.61%	11.50	4.87%
巴生港	7.12	3.63%	7.97	3.81%	7.31	3.85%	8.87	4.06%	9.76	4.14%
可倫坡	3.38	1.73%	3.69	1.76%	3.46	1.82%	4.12	1.88%	4.26	1.81%
東京	3.82	1.95%	4.16	1.99%	3.74	1.97%	4.28	1.96%	4.55	1.93%
青島	9.46	4.83%	10.32	4.93%	10.26	5.40%	12.01	5.49%	13.02	5.52%
香港	23.94	12.22%	24.49	11.69%	21.04	11.07%	23.53	10.76%	24.40	10.34%
神戶	2.43	1.24%	2.56	1.22%	2.25	1.18%	2.56	1.17%	2.47	1.05%
釜山	13.28	6.78%	13.40	6.40%	11.95	6.29%	14.17	6.48%	16.06	6.80%
馬尼拉	2.80	1.43%	3.00	1.43%	2.88	1.52%	3.26	1.49%	3.25	1.38%
高雄	10.26	5.24%	9.68	4.62%	8.58	4.52%	9.18	4.20%	9.64	4.08%
深圳	20.81	10.62%	21.41	10.22%	18.25	9.61%	22.34	10.21%	22.57	9.56%
新加坡	27.94	14.26%	29.92	14.29%	25.87	13.62%	28.43	13.00%	29.94	12.69%
寧波舟山	9.34	4.77%	11.22	5.36%	10.42	5.48%	13.07	5.98%	14.69	6.22%
廣州	8.89	4.54%	11.00	5.25%	11.19	5.89%	12.49	5.71%	14.40	6.10%
橫濱	3.23	1.65%	3.48	1.66%	2.80	1.47%	3.02	1.38%	2.80	1.19%
藍加邦	4.64	2.37%	5.13	2.45%	4.64	2.44%	5.07	2.32%	5.73	2.43%
總和	195.89	100%	209.44	100%	190.00	100%	218.70	100%	236.01	13.35%
華南港口總量	53.64	27%	56.90	27%	50.48	27%	58.36	27%	61.37	26%
大陸港口總量	105.65	54%	114.92	55%	104.86	55%	122.52	56%	132.08	56%
華南港口總量 占大陸港口之 總量比例	—	51%	—	50%	—	48%	—	48%	—	56%

註：1.華南港口表示廣州港、香港與深圳港。

2.TEU 為 twenty-foot equivalent unit 之縮寫，表示廿呎貨櫃當量。

資料來源：Calrkson Research Services^[1]。

由於全球主要經濟區域存在貿易不平衡的特性，導致貨櫃流動產生不均衡的現象，進而衍生出空櫃調度與管理的問題。以 2007-2011 年為例（表 2），除了越大西洋航線之櫃流維持在均衡狀況外，另兩大市場之櫃流失衡狀況嚴重，越太平洋航線東向之重櫃⁴運輸貨量約為西向運量之兩倍，其中 2007 年甚至達到 2.4 倍；另在遠東至歐洲航線方面則反之，其西向之重櫃運輸貨量約為東向運量之兩倍。此現象迫使航商必須採行貨櫃調度或租賃等策略來平衡貨櫃的存量，以紓解歐美港口空櫃累積壓力，並滿足亞洲各港未來重櫃運送之需求。除了長程跨洋的調運空櫃之外，區域內複雜的貨櫃調度與管理問題，更是航商營運能力的一大考驗。若空櫃存量過多，將虛耗存置成本並降低公司整體貨櫃周轉效率；若存量不足，則無法及時滿足客戶需求而失去商機。

我國為定期航運相當發達之國家，擁有長榮、陽明萬海與德翔等居全球領先地位之定期航商，以及高雄、基隆、臺北及臺中等國際重要貨櫃港口。基於地緣、語言以及臺商人脈等優勢，我國航商在貨櫃運量日益增長的大陸市場中已占有相當重要的地位，尤其在兩岸航運已開放直航的經營環境下，國籍航商預期應有更多發展的商機。然因 PRD 地區據點繁多且運輸系統組成多元，大幅增加了處理貨櫃管理與調度問題之複雜度與困難度。本研究旨在經由專家訪談與文獻回顧探討 PRD 地區貨櫃營運系統現況，並以國籍航商之角度，針對該地區空櫃調度問題進行解析，重點包括貨櫃存放據點之佈署、重櫃與空櫃之流向與運送方式、貨櫃租賃運作現況等。此外，本研究利用多元商品網路構建 PRD 地區貨櫃調度數學模式，並以某國籍航商為例進行實證研究。

本文以下共分 4 節：第 2 節針對研究課題進行分析，並探討 PRD 貨櫃運輸系統與貨櫃調度管理相關文獻；第 3 節說明本研究之研究方法，首先以一概念性模式說明如何利用多元商品網路模式表達國籍航商之 PRD 貨櫃調度特性，其次提出完整之數學規劃模式；第 4 節為案例研究，包含國籍航商營運基本情境分析以及重要參數變動之敏感性分析。有關本研究之結論與建議則整理於最後一節。

二、研究課題分析

珠江綿密廣闊的水系造就了 PRD 獨特的內河航運系統，隨著區域內之道路與內河碼頭改善工程相繼完工，PRD 地區整體交通運輸系統已更臻便捷完善，為貨主與航商從事貨櫃運輸提供了更便利的基礎設施。為深入分析 PRD 地區空櫃調度問題特性，2.1 節先探討 PRD 貨櫃運輸系統相關文獻，2.2 節則回顧貨櫃調度問題相關研究，並歸納國籍航商於 PRD 地區處理貨櫃調度所考慮之因素。

⁴ 實務上常將內含貨物的貨櫃稱為重櫃或實櫃，未裝貨物的貨櫃稱為空櫃。

表 2 全球主要市場貨櫃流量統計

(單位：1,000 TEU)

年度 航線	2007	2008	2009	2010	2011
越太平洋東向	14,644	13,562	11,722	13,819	15,034
越太平洋西向	6,093	6,522	6,459	6,909	7,539
不平衡比例	2.4	2.1	1.8	2	2
遠歐線西向	9,101	8,583	7,327	8,737	9,360
遠歐線東向	4,218	4,021	4,076	3,975	4,175
不平衡比例	2.2	2.1	1.8	2.2	2.2
越大西洋西向	2,387	2,256	1,883	2,188	2,267
越大西洋東向	2,125	2,276	1,748	1,955	2,042
不平衡比例	1.1	1	1.1	1.1	1.1

註：太平洋市場之不平衡比例為東向流量除以西向流量，其他市場之不平衡比例為西向流量除以東向流量。

資料來源：Neylan^[2]。

2.1 PRD 之貨櫃運輸系統

在 PRD 地區貨櫃港口系統的演進方面，Wang 與 Slack^[3] 指出在 1980 年代建立的深圳特別經濟特區，雖擁有良好的深水條件和地理位置，並極力發展國際貿易，然當時大陸港口仍難以與香港直接競爭。即使香港之成本和港口費用相對較高，但其作業效率以及綿密高頻的國際航線網路仍維持了競爭優勢。該研究同時指出在 1980 年代，大約有 95% 的貨櫃經由香港進出中國，在 1986-1996 年間香港貨量呈現倍數的成長，造就香港在 1990 年代貨櫃軸心港的地位。但由於成本競爭、一國兩制政策、全球化與香港腹地狹小的影響，加上深圳港之鹽田、赤灣與蛇口等港區均積極強化軟硬體設施與設備並開闢國際定期航線，華南地區進出口貨量逐漸由香港轉往鄰近港口。另由表 1 可知，深圳港僅以些微差距落後於香港而位居世界第四大港，目前正朝向躋身世界前三大港而積極發展。

值得重視的是，有別於一般僅利用貨櫃卡車運輸方式，PRD 獨特的地理特性造就了其多元化的運輸方式。如 Wong 等人^[4] 利用層級程序分析法，探討託運人在 PRD 區域選擇國際航商的問題，其實證研究的對象為不同類型的託運人，藉由統計歸納出的 7 個準則進行問卷調查，據以評估 8 種不同的運輸方案。在實際貨櫃流向方面，Wang 與 Slack^[3] 指出，1997 年 PRD 地區經由香港之出口及轉運貨物量為 542.4 萬 TEU，其中經由內河航運駁船 (barge) 及沿海駁船 (coastal feeder) 等方式運送至香港之貨櫃達 70.6 萬 TEU，而經由陸路卡車拖運者達 350 萬 TEU，由此可見香港對於 PRD 地區之貨物進出口具相當重要之地位。此外，1997 年 PRD 地區直接出口之貨物中，亞洲區間貨物以深圳西部蛇口港為主要出口港，而出口至美洲與歐洲之貨物則以鹽田及赤灣為主要出口港。基本上，PRD 地

區之貨物運輸系統係由內河航運、陸運卡車及鐵路系統所構成，其特性分述如下：

1. 內河航運方面：在地方政府的積極建設下，近年來 PRD 地區內河航運系統發展相當迅速。根據珠江航務管理局^[5]之統計，珠江水系 2012 年之貨物吞吐量達 3.5 億噸，貨櫃吞吐量達 664.4 萬 TEU，與 2011 年相比各別增長 12.9%和 15.0%，且 2012 年之貨量呈逐月成長之態勢。雖然 PRD 地區內河航運發展快速，然仍存在許多問題，如 10 年以上高齡船舶仍為內河航運主力，可能增加營運風險。而貨櫃船數量短缺以及營運業者削價競爭等現象，亦不利於內河航運之發展。
2. 卡車陸運方面：周祥^[6]指出，深圳區域內之卡車業自 1994 年起進入快速成長期，2008 年深圳港貨櫃量之 86%係以卡車陸運為主，足見卡車為深圳港最主要之貨櫃運送方式。由於進入門檻低，深圳區域內卡車托運業者之營運競爭相當激烈，其中以拖車經營業者眾多導致市場供過於求之情形最為嚴重。以 2007 年深圳港區貨櫃吞吐量與市場卡車數量相比可知，每處理一萬 TEU 貨櫃需使用 1,100 輛拖車，拖車業者間削價競爭激烈。雖然如此，高可及性之卡車仍為 PRD 區域之重要運輸工具。
3. 鐵路運送方面：近年來，全球許多廠商紛紛將生產基地設於中國內陸地區，以降低製造成本，中國內陸地區遂漸形成重要的貨物輸出地。相對於 PRD 之東莞及深圳等地便利的陸運與水運系統，內陸省份貨品輸出多仰賴卡車運輸，然運送時間過長、運量少且單位成本過高是卡車運輸之缺點，故大陸於 2006-2010 年間興建 18 條鐵路系統與物流中心，吸引航商與貨主擴大使用鐵路運輸。然因卡車運輸系統仍為 PRD 地區之貨物主要運輸方式，而貨櫃鐵路運輸的使用相對而言較少^[7]，因此本研究暫不考慮鐵路運輸方式。

2.2 PRD 貨櫃調度課題分析

在全球貨物流向不平衡的情況下，空櫃往往會累積在進口量高於出口量的港口，導致各港空櫃存量與出口需求產生差異，此時航商必須採取適當的空櫃調度措施，來減輕積櫃港的存置成本壓力並滿足缺櫃港的貨櫃需求。由於涉及預測、船期、航線網路與成本控制等決策性課題，空櫃調度已成為許多研究所探討的主題，如 Shen 與 Dhoong^[8]利用網路最佳化模型和啟發法建立一個決策支援系統，來處理空櫃分配不均的問題，該系統首先考量區域內的貨櫃分配，其次為區域間貨櫃調度，最後才考量到貨櫃租賃的問題。Li 等人^[9,10]指出由於不平衡的國際貿易活動，導致航商在某些港口積累了大量的閒置空櫃，而在某些地區則有空櫃需求，並定義貨櫃調度問題是針對未來缺櫃港之進口空櫃與多櫃港需輸出空櫃所需的管理。值得一提的是，Li 等人^[9,10]提出了港口空櫃存貨範圍上下限的概念，即當某港口空櫃數量高於上限時，必須將空櫃運出至其他港口；當某港口空櫃存貨數量低於下限時，必須由其他港口輸入空櫃；當某港口空櫃存貨數量介於上下界之間時，則無須進行空櫃調度。Feng 與 Chang^[11]基於安全庫存管理和地理區域等因素之考量，分兩個階段處理空櫃調度問題：第一階段是確定每一個港口的安全存量，第二階段則是解決運輸航線

規劃的問題。其研究模式是以空櫃調度最小總成本為目標，考量從供應點到需求點空櫃調度的流動，並研提最佳化調度的方法提供給航商作為決策參考。Olivo 等人^[12]指出貨櫃調度須考量貨櫃類型、貨櫃存置場地以及起租貨櫃的時間和地點，據以決定貨櫃之借用、租用或購買的數量，並以最小成本流量為目標建立數學規劃模式，來處理空櫃調度管理問題。值得注意的是，Olivo 等人^[12]以一週為規劃期，並以每小時為階段建立網路規劃模式，此方式將大幅增加決策變數與限制式的數目，並可能影響求解效率。由於 PRD 地區獨特的地理特性與多元的運輸方式，增加了航商空櫃調度之複雜性。本研究考量 PRD 區域內最重要之深圳、東莞、廣州及中山等營運據點之需求，結合香港、鹽田與蛇口等國際港口，建立數學模式協助進行貨櫃調度決策。根據文獻探討與訪談國籍航商之結果，本研究將國籍航商 PRD 地區貨櫃調度重點彙整分述如下：

1. 業務區域與據點：以珠江入海口為界，可將 PRD 地區分成珠東與珠西兩大部分（如圖 1），其中珠東區域包含北側之東莞以及南側之深圳兩大行政區，皆為以出口為導向之大型工業城市；而珠西區域則可沿綿密分支水系而上，腹地相當遼闊，國籍航商常將珠西區域劃分成廣州、中山與順德等業務分域。根據本研究訪談結果，東莞、深圳、廣州、中山與順德等地，為航商於 PRD 地區劃分攬貨業務範圍與設立分支機構之主要據點，而香港與鹽田等國際港口，因需處理母船靠港與配艙等業務，航商通常會設立層級較高且編制較大的分支機構。



資料來源：某國籍航商。

圖 1 PRD 主要港口與國籍定期航商營運據點

2. 貨櫃運輸系統特色：基本上 PRD 區域內之貨櫃運輸系統，係由駁船與拖車兩大主要子系統所構成。珠東之東莞市西部因濱臨海岸線，貨櫃可由虎門等國內港口以駁船運往香港、蛇口等國際港口轉運出口；東莞東部則以拖車陸拖貨櫃南下較具經濟效益；位於東

莞下方的深圳市地形扁而狹長，區內貨櫃傳統上以陸拖至香港出口為主，惟近年來因左岸之赤灣、蛇口與右岸之鹽田港積極發展現代化貨櫃碼頭，開闢遠洋定期航線招攬航商，已吸引許多貨物利用深圳本身港口出口，對香港的貨櫃量產生極大的衝擊；珠西方面則以駁船為主要運具，將來自如廣州、中山與順德等地之貨櫃運往香港出口。特殊的是，基於成本與時間等因素，許多由內河駛往香港之駁船並不泊靠碼頭，而是於海面直接與母船直接交接貨櫃，業界稱為中流作業。

3. 空櫃調度特性：根據本研究訪談國籍航商之結果可知，PRD 地區主要包含空櫃補給、空櫃調度、重櫃拆空、貨櫃租賃與新造貨櫃使用等方式，分述如后：
 - (1) 空櫃補給：由於出口需求高，航商於歐美航線回程時，會利用母船艙位載運空櫃卸於香港或鹽田等港口，以供貨主提領裝貨；在珠西方面，由於仰賴駁船調運空櫃，故空櫃運至內河碼頭後，常存於內河碼頭後線櫃場以供貨主提領裝貨。
 - (2) 空櫃調度：當某營運據點發生空櫃存量不足的狀況時，基於時效與成本考量，可向鄰近營運據點請求空櫃支援。此時航商將利用拖車或駁船等運具執行營運據點間空櫃的調度。例如當中山或順德等營運據點缺櫃時，可考量由廣州調運空櫃；而珠東區域各營運據點間亦可進行空櫃調度。
 - (3) 重櫃拆空：各營運據點之進口重櫃經貨主提領拆空後會成為空櫃，可直接供同一貨主再次裝貨出口使用，或歸還於鄰近碼頭或空櫃場集中儲放，以滿足未來其他貨主出口需求。一般而言，前一航次的進口貨櫃經提領拆空後所產生之空櫃，可供下一航次使用，其時間間隔視航商提供之貨櫃免費期 (free time) 而定。
 - (4) 貨櫃租賃：當航商無法以補給或調度自有空櫃滿足業務需求時，常需經由貨櫃租賃來補充短缺的貨櫃需求。貨櫃租賃的方式相當多元，有經規劃簽訂的長期租約，亦有臨時應付急需之短期租約。然不論租約為何形式，當空櫃需求產生時，可依租約於適當地點向租櫃公司提領貨櫃（業界稱為起租），經使用後再依租約條件歸還。
 - (5) 新造貨櫃使用：值得一提的是，PRD 地區內有許多貨櫃生產基地，如位於蛇口的中國國際海運集裝箱股份有限公司即為全球最大之貨櫃製造公司，承接航商之各類貨櫃生產計畫。在某些生產時程配合狀況下，新造貨櫃可供航商直接提領使用，但此方式屬於特殊狀況，並非航商經常性的空櫃調度管理方式，因此本研究暫不考量此空櫃補充方式。

三、研究方法

本研究以數學網路分析為研究方法，先利用多元商品網路為基礎，根據國籍航商 PRD 地區空櫃調度特性建立概念性模式，接著根據概念性模式建立對應之數學規劃模式。以下詳述本研究之方法與程序。

3.1 概念性模式之建立

本小節先說明建立模式前的若干基本假設；其次說明如何以多元商品網路之概念表達 PRD 地區之空櫃調度特性：

1. 模式假設

由於國籍航商 PRD 空櫃調度涉及因素複雜，為利於數學模式之建構，故基於實務之觀點進行以下假設：

- (1) 空櫃調度問題所涉之相關因素很多，如船舶艙位分配、重櫃與空櫃數量以及航線配置等等，若以全球性之貨櫃調度觀點加以探討，將使問題之規模過於龐大，故本文僅以 PRD 核心區域之空櫃調度進行探討。又 PRD 地區為大陸華南之進出口重鎮，除臨近香港及深圳等重要國際大港外，珠江水系尚有許多內河港口，若將所有內河港皆納入考量將導致模式繁複，且許多港口貨量不多。是故，本研究僅針對香港、蛇口、鹽田等重要國際出口大港，以及東莞、廣州、中山、順德等重要內河港口及場站加以考量，其他小型港口與營運據點暫不予考慮。
- (2) 由於距離不長，故模式中暫不考量空櫃調往缺櫃區域之時間差距，或空重櫃之間置時間、航行時間及貨櫃內陸循環時間 (turn around time) 等，即本研究先不探討動態或隨機性之參數，而以規劃性之靜態事前作業為主。
- (3) 本研究係以較長期之規劃觀點來建立研究模式，因此假設各據點前一期之進口重櫃拆空後全部轉為本期可用空櫃，暫不考慮不同時間之空櫃返還百分比。
- (4) 本研究模式中之各項成本參數，如貨櫃裝卸成本、陸上拖運成本、駁船費用、貨櫃起租費以及貨櫃場租等費用，乃以平均運費為基準，不同時間內之運費成本變動暫不予考量。

在模式成本參數設定方面，由於問題涉及港口裝卸、卡車運輸、駁船運輸、空櫃儲存與場租等成本，謹將各項相關成本參數設定之考量方式說明如下：

- (1) 進口空重櫃裝卸及處理費：此為歐、美及亞洲 3 條國際主要航線於每航次承運空重櫃進入 PRD 地區之香港、鹽田與蛇口等主要港口時之貨櫃裝卸及處理成本，此項成本將因港口之不同而有所差異。
- (2) 貨櫃陸拖成本：3 條主要航線進口之空重貨櫃經母船運抵主港後，珠東地區主要以傳統卡車陸拖方式，將空重櫃運抵內陸各需求點。此項陸拖成本將因各需求點間之運輸距離長短及運達便利性而有所差異。
- (3) 駁船運送成本：駁船運輸在 PRD 十分廣泛，特別是在珠西區域。然需考量各需求據點間是否可以駁船方式運輸貨櫃，以及駁船航次容量限制等因素。駁船運輸之成本與陸拖成本設定概念相同，即隨承運之距離及起迄港而定。
- (4) 貨櫃起租成本：起租成本會因起租數量及地點之不同而異，且因並非各需求點皆可起租貨櫃，故起租地點與之成本設定須依合約而定。

(5) 貨櫃場租成本：此成本代表各據點空櫃存放於櫃場期間所應支付之費用，將因各內陸櫃場不同而定。

2. 空櫃調度概念性模式

根據上述空櫃補充及成本參數設定方式，本研究提出 PRD 地區國籍航商貨櫃調度概念性模式網路（詳如圖 2），網路中各節點及節線分別具有不同的意義。在節點方面，網路中共包含以下 6 種節點：

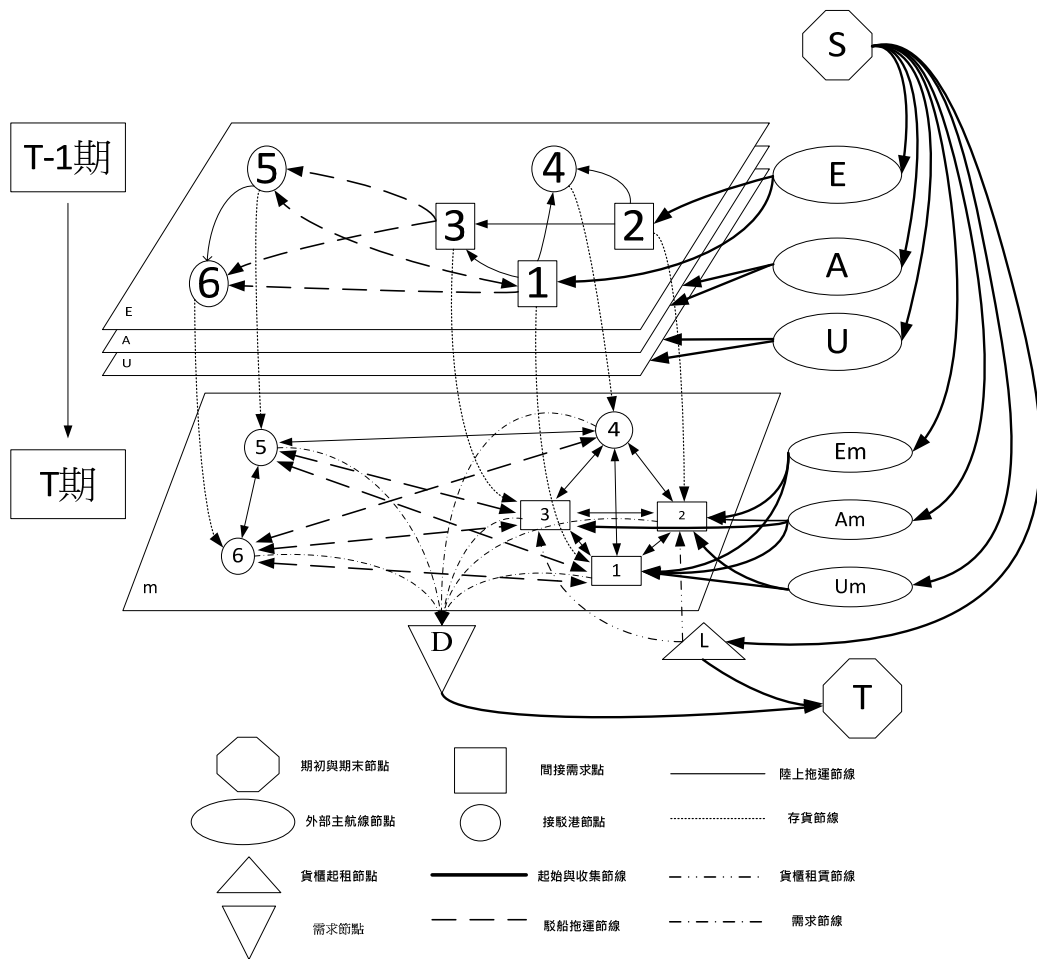


圖 2 PRD 空櫃調度概念性模式網路示意

(1) 外部主航線節點：此節點代表 3 條國際主航線所帶來的重櫃與空櫃。如在圖 2 中，節點 E, A 與 U 分別表歐洲、亞洲與美洲航線母船帶來的重櫃；節點 Em, Am 與 Um 分別表歐洲、亞洲與美洲航線母船帶來的空櫃。而為了區分各航線重櫃流入，重櫃共分成 E, A 與 U 3 個圖層，分別表示歐、亞、美 3 條航線，空櫃則設計於圖層 m 上流動。

- (2) 間接需求點：代表實際航運網路中 3 條主航線靠泊港，主要將母船帶來之貨櫃轉往 PRD 地區，但本身亦有部分的空櫃需求。如在圖 2 中，E 層之節點 1、2、3 分別表示香港、鹽田與蛇口港。
- (3) 需求節點：用以連接各據點，透過節線流量表示各據點本期之需求，如圖 2 之節點 D。
- (4) 接駁節點：用以將主要港口輸入之貨櫃轉運至 PRD 地區之內陸河港與據點。如在圖 2 中，E 層之節點 4、5、6 分別表示東莞、廣州、中山。
- (5) 起租節點：代表提供起租貨櫃之節點，如圖 2 之節點 L。
- (6) 起始節點：表規劃期間之貨櫃流入總量，如圖 2 之節點 S。
- (7) 期末節點：用以收集規劃期末之貨櫃總量，如圖 2 之節點 T。

在節線方面，圖 2 網路中共包含以下 6 種節線，用以表示因卸船、調度、起租等活動所造成的重櫃與空櫃所之流動。以下詳述其意義：

- (1) 起始節線：用以連接起始節點與各外部主航線節點之節線，其流量表示各主航線船舶所帶來的貨櫃，以及貨櫃起租節點可以提供貨櫃的數量，如圖 2 之節線 (S,E)。
- (2) 收集節線：用以連接期末節點與貨櫃起租節點，表示未被租用之貨櫃數量，如圖 2 之節線 (L,T)；亦用以連接期末節點與需求節點，表示當其各據點之貨櫃總需求，如圖 2 之節線 (D,T)。
- (3) 重櫃節線：表由 3 條主航線進口至 PRD 國際港口之重櫃流，以及外部主航線進入 PRD 後，依據其內部各地需求點之位置，分別以駁船與拖車等兩種方式運輸之重櫃流。如在圖 2 之 E 層中，節線 (E,2) 表示經由歐洲主航線流入鹽田港之進口重櫃；節線 (2,4) 表鹽田港經由陸拖運輸至東莞之重櫃；節線 (3,5) 表蛇口港經由駁船運輸至廣州之重櫃。
- (4) 空櫃節線：表由 3 條主航線進口至 PRD 國際港口之空櫃流，以及外部主航線進入 PRD 地區後，依據其內部各地需求點之位置分別以駁船與拖車等兩種方式運輸之空櫃流。如在圖 2 之 m 層中，節線 (Em,2) 表示經由歐洲主航線流入鹽田港之進口空櫃；節線 (3,4) 表蛇口港經由陸拖調度至東莞之空櫃；節線 (3,5) 表蛇口港經由駁船調度至廣州之空櫃。
- (5) 貨櫃起租節線：表由起租節點流入可起租貨櫃據點之節線。如在圖 2 之 m 層中，節線 (L,2) 表示於鹽田港起租之空櫃。
- (6) 存貨節線：表前期進口重櫃經由滿足各點重櫃運輸需求後，由受貨人拆空歸還航商轉為至下期可供再使用之空櫃存貨，即表示 $t-1$ 期之進口重櫃拆空後轉換成為 t 期可用空櫃之節線。如圖 2 中，由 E 層節點 2 流向 m 層節點 2 之節線代表鹽田港進口重櫃使用歸還後，轉為鹽田港可供再使用之空櫃。

本研究模式旨在追求總成本最小化，即考量概念性模式中各成本項目，使各項成本與對應貨櫃流量之乘積總和最小化。具體而言，其目標函數之概念可表示如下：

極小化： $\{(\text{貨櫃陸拖成本} + \text{駁船調度成本} + \text{場租成本} + \text{起租成本})\}$

在限制式方面，本研究主要考量 4 種限制條件：首先，各據點之空櫃需求必須滿足。其次，由於模式係基於網路概念所構建，故各節點之流量必須守衡。接著，在以駁船運輸貨櫃時，各相同起迄對之重空櫃運輸量之和不得超過駁船艙位容量限制；最後，所有決策變數須為整數且非負。

3.2 PRD 貨櫃調度問題數學模式之建構

在建立模式之前，先將決策變數、參數與常用集合定義如下：

1. 決策變數

x_{ij}^k ：表示從節點 i 至節點 j 之第 k 種貨櫃流量。

其中： $k=1$ 表 20 呎貨櫃；

$k=2$ 表 40 呎貨櫃。

2. 參數

b_i^k ：節點 i 第 k 種貨櫃流之淨流量；

c_{ij}^k ：從節點 i 至節點 j 第 k 種貨櫃之相關單位成本；

d_j^k ：節點 j 第 k 種貨櫃之需求；

v_{ij} ：表節線 (i, j) 之駁船容量上限，以 TEU 計算。

E^k ：表示流入網路中第 k 種貨櫃總量。

3. 集合

A ：所有節線之集合；

A_B ：表所有以駁船運輸貨櫃節線之集合；

A_T ：表所有以拖車運輸貨櫃節線之集合；

A_I ：表所有存貨節線之集合；

A_L ：表所有租賃節線之集合；

D ：表所有需求據點之集合；

K ：表所有貨櫃種類之集合；

N ：表所有節點之集合；

根據上述之決策變數、參數與集合之定義，以及前小節所述之概念性模式，PRD 地區貨櫃調度問題模式之目標函數與限制式可列式如下：

1. 目標函數：

$$\text{Min} \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A_B} c_{ij}^k x_{ij}^k + \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A_T} c_{ij}^k x_{ij}^k + \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A_I} c_{ij}^k x_{ij}^k + \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A_L} c_{ij}^k x_{ij}^k \quad (1)$$

2. 限制式：

(1) 需求滿足限制式

$$\sum_{(i,j) \in A_B} x_{ij}^k + \sum_{(i,j) \in A_T} x_{ij}^k + \sum_{(i,j) \in A_I} x_{ij}^k + \sum_{(i,j) \in A_L} x_{ij}^k \geq d_j^k \quad \forall j \in D, k \in K \quad (2)$$

(2) 流量守衡限制式

$$\sum_{(j,i) \in A} x_{ji}^k - \sum_{(i,j) \in A} x_{ij}^k = -E^k \quad i = S, k \in K \quad (3.1)$$

$$\sum_{(j,i) \in A} x_{ji}^k - \sum_{(i,j) \in A} x_{ij}^k = E^k \quad i = T, k \in K \quad (3.2)$$

$$\sum_{(j,i) \in A} x_{ji}^k - \sum_{(i,j) \in A} x_{ij}^k = 0 \quad i = N - S - T, k \in K \quad (3.3)$$

(3) 駁船容量限制

$$x_{ij}^1 + 2x_{ij}^2 \leq v_{ij} \quad \forall (i,j) \in A_B \quad (4)$$

(4) 整數與非負限制式

$$x_{ij}^k \geq 0 \text{ 且 } x_{ij}^k \text{ 為整數}, \forall (i,j), k \quad (5)$$

上述模式中式 (1) 為目標函數，旨在最小化駁船運輸、拖車運輸、貨櫃存置與貨櫃起租 4 項成本之和；式 (2) 為需求滿足限制式，即要求每一需求點之空櫃存貨、拖車與駁船調度空櫃以及起租之空櫃四者之和，必須滿足各據點之需求；由於模式係基於網路所構建，故式 (3) 為流量守衡限制式，其中式 (3.1) 係針對起始節點 S 進行限制，亦即經節點 S 流入網路中之貨櫃總量為一定值 E^k ；式 (3.2) 係針對期末節點 T 進行限制，亦即經節點 T 流出網路之貨櫃總量亦須為 E^k ；式 (3.3) 則限制網路中除 S 與 T 兩節點外之所有節點的流入與流出貨櫃量必須相等；此外，模式中某些節線是以駁船運送，故以式 (4) 限制每航段貨櫃數不得超過駁船艙位限制，其中一個 40 呎貨櫃需占用兩 TEU 艙位；式 (5) 則為決策變數之整數與非負限制式。

四、案例研究

本節利用第 3 節建構之數學模式，針對某大型國籍航商（以下簡稱航商 A）於 PRD 之貨櫃調度情境進行案例研究，並進行敏感性分析。4.1 節以航商 A 之實際營運資料進行數學模式之驗證與分析；4.2 節則針對重要參數進行敏感度分析。

4.1 基本情境分析

航商 A 為一全球性貨櫃航商，經營航線遍及美洲、歐洲及亞洲等 3 個主要市場，因此

本研究於實務訪談⁵後，針對歐、亞、美等3個市場擷取若干重要且具代表性之航線進行分析，美洲線部分擷取美西與美東四條航線；歐洲線部分選取遠歐及地中海計3條航線；亞洲區間線則包括5條航線。在規劃期設定方面，原擬設定一週為分析之規劃期，然在取得相關資料後，發現部分近洋航線船期準確性較低，另有部分航線係以加班船或艙位租用等方式經營，以週為單位不易精確掌握未來船舶到離時間安排調度，故以月為規劃期進行案例分析。

由於定期航運市場淡旺季需求差異明顯，根據訪談結果，本研究分別以2007年1月與7月份之資料代表淡旺季兩種情境進行分析（詳細資料如表C1至C4）。就1月份貨櫃量而言，香港之進口重櫃數量明顯大於本身出口重櫃需求，因此有多餘空櫃可支援其他據點。反觀鹽田空櫃不足現象相當明顯，故鹽田需由其他多櫃據點調入空櫃。另在7月份方面，因已進入航運業傳統旺季，故各據點總出口重櫃量皆上升，其中又以20呎貨櫃需求量上升最多。7月份空重櫃需求比率方面與1月份相較差異不大，香港無論於20呎或40呎貨櫃方面仍明顯為多櫃區域，鹽田仍為缺櫃區且以20呎出口重櫃之需求上升幅度最大。

本研究將航商A之1月份及7月份實際營運資料，分別代入3.2節所建構之數學模式，並利用套裝軟體CPLEX 10.1進行求解。1月份實證研究問題之決策變數數目為226個，限制式383條，在配備Intel Core Duo Processor T230處理器與1GB記憶體之個人電腦上解算耗時0.13秒，目標值為948,684美元；另7月份之實證研究問題決策變數數目為227個，限制式384條，使用同一電腦求解耗時0.12秒，目標值為854,375美元。以下就實證問題之解算結果進行分析。

1. 淡季貨櫃調度策略分析

以1月份資料建立模式並完成求解後，可得淡季貨櫃調度的最佳建議，原則上須先透過香港、鹽田與蛇口等國際港口將進口重櫃轉運至其他據點後，再進行母船空櫃部分的調度，最後再以各據點間之區域調度或起租租賃貨櫃，來補足各據點之需求。以下以調度數量最龐大的香港為例進行說明，其餘港口調度建議列於附錄A。如表3所示，2007年1月份進口重櫃方面，20呎貨櫃以亞洲線之855 TEU為最多，美洲線384 TEU次之，歐洲線78 TEU最少；40呎進口重櫃則以美洲線749 FEU最多，亞洲線445 FEU次之，歐洲線僅有128 FEU。除了香港本地的進口重櫃會留在當地之外，其餘進口重櫃都將轉至東莞、廣州與中山等據點。

在空櫃調度部分，模式建議由香港分別調度132與88個20呎櫃至東莞及中山；40呎櫃則無需調度。香港在調出空櫃後，20呎空櫃剩餘617 TEU，扣除香港出口需求308 TEU後，剩餘309 TEU空櫃可作為下期存貨；40呎空櫃調度後存量為747 FEU，扣除香港出口需求497 FEU後，剩餘250 FEU空櫃可作為下期存貨。在鹽田方面（表A1），總出口需求為690 TEU，其中進口重櫃拆空僅占12%，故仍需以進口空櫃與區域間調度方式補充其餘88%之出口需求；40呎櫃部分共需1,723 FEU，其中以重櫃拆空方式補充者占24%，以進

⁵ 研究調查時間為2009年1月份。

口空櫃補充者比例高達 72%，區域間調度補充方式僅占 4%。航商 A 於蛇口港停靠船舶絕大部分為亞洲航線，無法利用歐美航線母船進口大量重櫃及空櫃，因此蛇口地區之出口貨櫃需求主要仰賴其他據點調度支援；東莞與廣州則因各航線皆有進口重櫃，故此二據點雖無直接進口空櫃，卻可利用進口重櫃拆空方式獲得大量之空櫃，除可滿足其本身出口需求外，可將多餘之空櫃支援蛇口與鹽田兩據點。中山地區 1 月份建議自香港調度入 20 呎空櫃補充需求，40 呎櫃則將多餘之空櫃支援鹽田。就淡季狀況整體而言，經調度後蛇口之空櫃恰好滿足其需求，40 呎櫃部分東莞、廣州與中山在扣除本身需求後，分別剩餘 67、331 與 15 FEU 可供下期使用。

表 3 2007 年 1 月份香港之貨調度最佳策略

(單位：個)

出口 據點	航線別		香港		東莞		廣州		中山		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
香港	美洲至亞洲重櫃	AW1	79	118	60	95	126	206	28	6	293	425
		APN	2	28	2	2	7	19			11	49
		AE3	8	50	6	22	30		6		50	72
		AE5	2	57	3		25	61		26	30	144
	歐洲至亞洲重櫃	E1	13	50	5	1	3	11			21	62
		E2	49	28			6	25		1	55	54
		M1	1	12			1				2	12
	亞洲區間重櫃	I1										
		I2	19	57	18	32					37	89
		I3	98	170	18						116	170
		I4	132	115	36						168	115
		I5	434	62	100	9					534	71
		前期存貨										
		貨櫃租賃										
		總和	837	747								
		區域調度			132				88			
		總空櫃量	20 呎		837132-88=617				40 呎		747	

註：空格表示無貨櫃流量。

進一步觀察各據點淡季之貨櫃處理費用所占總成本之比率，可發現香港所占之 43.6% 為最高，經與實務人員討論後歸納其原因有二：首先，香港為美洲、歐洲與亞洲三大航線船舶主要彎靠港口，PRD 地區大量進口空、重櫃皆需經由香港轉運處理，故香港需負擔進

口貨櫃處理費用。其次，由於香港之空櫃存量較多，故於載滿當地需求後，多餘之空櫃經由區域間調度方式支援 PRD 其他據點之需求，故香港亦須負擔區域間貨櫃調度之成本。貨櫃處理費用次高者為占 37%之鹽田，原因在於鹽田港為美、歐洲及亞洲等主要航線進入 PRD 地區之灣靠港且空櫃需求旺盛，故模式建議利用母船航線由鹽田進口空櫃。鹽田雖無需對其他據點支援空櫃，卻因大量進口之空、重櫃而負擔較多之貨櫃處理與場租成本。值得注意的是鹽田之 40 呎空櫃需求為 PRD 地區中最高者，在 40 呎櫃處理費用較高的情況下，大幅增加了鹽田之貨櫃處理費用。在其他據點方面，基於成本考量，進入廣州與中山之貨櫃應優先由蛇口進入，然礙於實務上國籍航商於蛇口港僅安排亞洲航線船舶彎靠，故美、歐洲航線欲運往廣州與中山等地之貨櫃仍需由香港進入。廣州則因支援其他據點 20 呎空櫃需求，造成區域貨櫃調度費用上升。PRD 內陸據點如東莞、廣州、中山等因場租相對於香港、鹽田及蛇口等港口地區為低，故內陸各據點若無需負擔運輸與調度費用時，則該據點所產生之費用亦相對較低。

表 4 2007 年 1 月份各據點費用比率

據點	櫃種	成本 (美金)	占總成本比率(%)	占 1 月份總成本 比率 (%)	占 20 呎櫃總成本 比率 (%)	占 40 呎櫃總成本 比率 (%)
香港	20 呎	168,773	43.6	17.8	46.4	—
	40 呎	244,626		25.7	—	41.8
鹽田	20 呎	41,625	37.0	4.4	11.4	—
	40 呎	309,598		32.5	—	52.9
蛇口	20 呎	63,959	8.9	6.7	17.6	—
	40 呎	20,742		2.2	—	3.5
東莞	20 呎	17,948	2.8	1.9	4.9	—
	40 呎	9,053		1.0	—	1.5
廣州	20 呎	71,274	7.6	7.5	19.6	—
	40 呎	830		0.1	—	0.2
中山	20 呎	78	0.1	0.1	0.1	—
	40 呎	178		0.1	—	0.1

2. 旺季貨櫃調度策略

因定航市場淡旺季運輸需求差異明顯，本研究以同年 7 月份資料代入模式求解，可得在旺季情境下貨櫃調度之最佳策略，有關香港旺季貨櫃調度之建議策略整理如表 5，其餘據點之貨櫃調度策略列於附錄 B。比較表 5 與表 3 可看出，7 月份所有航線之進口重櫃數量總和較 1 月份低，20 呎進口重櫃以亞洲線之 729 TEU 最多，美洲與歐洲線相似，分別為 311 與 279 TEU；40 呎進口重櫃仍以亞洲線之 510 FEU 最高，美洲線為 395FEU 居次，

歐洲線僅為 149 FEU。以 7 月份與 1 月份相比，香港 7 月份 20 呎進口重櫃僅成長 0.1%，而 40 呎進口重櫃則下降 18%；進口空櫃方面 7 月份 20 呎空櫃共進口 1323 TEU，為 1 月份之 4.5 倍，而 40 呎進口空櫃 7 月份為 1087 FEU 較 1 月份為低，可見旺季需求集中於 20 呎空櫃。

表 5 2007 年 7 月份香港之貨調度最佳策略

(單位：個)

出口據點	航線別		香港		蛇口		東莞		廣州		中山		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
香港	美洲至亞洲重櫃	AW1	72	74			22	58	91	106	12	1	197	239
		APN	3	28			1	10	2	11			6	49
		AE3	9	29			9	16	63		6	2	87	47
		AE5	1	29			6	2	13	29	1		21	60
	歐洲至亞洲重櫃	E1												
		E2	4	24					1		1		6	24
		M1	176	89	4	1	30	13	57	19	6	3	273	125
	亞洲區間重櫃	I1												
		I2	28	13			15	13					43	26
		I3	57	256			20						77	256
		I4	73	124			38						111	124
		I5	419	86			79	18					498	104
	美洲至亞洲空櫃	AW1												
		APN												
		AE3	505										505	
		AE5												
		前期存貨												
		貨櫃租賃												
		總和	1347	752										
		區域調度									189	30		
		總需求	20 呎		1347-189=1158				40 呎		752-30=722			

註：空格表示無貨櫃流量。

在區域間貨櫃調度方面，香港調出 20 呎空櫃 189 TEU 至中山，剩餘 20 呎空櫃 1158 TEU；40 呎空櫃亦輸出 30 FEU 至中山，調度後數量為 722 FEU。鹽田方面值得注意的是，7 月份 20 呎空櫃進口總數較 1 月份增加了近兩倍，而 40 呎進口空櫃卻低於 1 月份，可知鹽田需大量進口 20 呎空櫃以滿足旺季需求。在蛇口方面，由於 7 月份進口空重櫃量均很低，扣除前期存貨 4 TEU 後尚不足 189 TEU，故模式建議分別自東莞與廣州調入 20 呎空櫃 158 與 31 TEU 來滿足出口需求；40 呎空櫃之需求則已滿足。東莞及廣州由於進口重櫃

拆空後所歸還空櫃多於當地之需求，因此建議將多餘空櫃調往鹽田及蛇口。廣州之 20 呎空櫃扣除本身需求以及調出總數後，剩餘 149 TEU 可留供下期使用；40 呎空櫃部分東莞與廣州扣除本身需求後，分別剩餘 21 與 187 FEU 作為存貨，中山之空櫃僅滿足當地之需求而無空櫃保留至下期。表 6 為 PRD 地區 7 月份各據點之費用所占比率，其中香港占總費用之 47.5% 為最高，其次為鹽田之 43.6%。香港 20 呎櫃費用較 1 月份支出為高，其原因為旺季空重櫃數量增加導致香港產生費用隨之提高。鹽田情況亦同，其 20 呎貨櫃處理費用較 1 月份大幅上升。其他值得注意的是，因 1 月份與 7 月份廣州均對蛇口進行空櫃支援，然 7 月份廣州對蛇口之空櫃支援數量大幅下降，故其 20 呎櫃調度費用亦隨之顯著下降。蛇口、東莞及中山則因未對其他據點進行空櫃支援，因此 7 月份費用僅為該地區空櫃存置成本（場租）之變化，對於整體運輸與調度費用無顯著影響。

表 6 2007 年 7 月份各據點費用比率

據點	櫃種	成本 (美金)	占總成本比率(%)	占 1 月份總成本 比率(%)	占 20 呎櫃總成本 比率(%)	占 40 呎櫃總成本 比率(%)
香港	20 呎	212,903	43.6	47.5	22.7	56.7
	40 呎	232,110			24.7	—
鹽田	20 呎	115,440	37.0	43.6	12.3	30.8
	40 呎	292,160			31.2	—
蛇口	20 呎	32,796	8.9	6.1	3.5	8.8
	40 呎	23,992			2.6	—
東莞	20 呎	6,283	2.8	1.9	0.7	1.7
	40 呎	11,245			1.2	—
廣州	20 呎	7,255	7.6	0.8	0.8	1.9
	40 呎	480			0.1	—
中山	20 呎	61	0.1	0.1	0.1	0.1
	40 呎	106			0.1	—

4.2 敏感性分析

為探討貨櫃需求變動對 PRD 地區調櫃決策之影響，本小節針對各據點出口空櫃需求量之變動進行敏感度分析。由 4.1 節實證研究結果可知，7 月份旺季出口空櫃最大需求點為鹽田，而東莞及廣州則有空櫃剩餘，故本小節對此 3 據點之出口重櫃需求進行增量變動後再次進行模式求解，所得結果分析如后：

1. 出口空櫃需求上升 25%

表 7(a) 所示為鹽田、東莞及廣州之需求上升 25% 時之租櫃與區域調度決策建議。由於各據點進口重櫃量不變，故進口重櫃送達各點之路徑不受影響。但進口空櫃因具調度彈性，將首先選擇空櫃需求量較大之據點進入，即大部分進口空櫃會直接卸於鹽田以滿足出口所需。20 呎櫃區域間調度部分因需求上升後，出口櫃之總需求仍小於進口空重櫃之總量，因此區域間調度情況與基本情境差異不大；40 呎櫃部分因出口櫃需求上升後大於進口空重櫃之總數，故產生各據點調度空櫃集中支援鹽田需求的現象。較為特殊的是廣州之空櫃會先進入蛇口再轉運至鹽田，原因在於貨櫃由廣州至蛇口轉運鹽田之總費用較直接由廣州運至鹽田為低，亦即兩段駁船運輸之費用亦低於直接陸拖之費用。經各據點空櫃支援後，鹽田仍缺 40 呎櫃 69 FEU，故模式建議於鹽田起租貨櫃以滿足需求。在需求上升 25% 的情境下，求解結果目標值為 1,114,372 美元，比基本情境目標值上升 30.4%。

2. 出口空櫃需求上升 50%

表 7(b) 所示為鹽田、東莞及廣州之需求上升 50% 時之租櫃與區域調度決策建議。進口重櫃因數量不變且須送達各據點，故流動路徑不受影響，然大部分進口空櫃仍建議直接卸儲鹽田。區域調度部分因需求上升後，20 呎櫃出口需求小於進口空重櫃之總量，故區域間調度與基本情境無顯著差異；40 呎櫃部分以集中支援鹽田需求為主，廣州之空櫃亦先進入蛇口再轉運至鹽田，原有多餘空櫃可補充鹽田之廣州與東莞兩點，因本身空櫃需求上升 50%，故可輸往鹽田之空櫃降低。經各據點支援後，鹽田仍需起租 517 FEU 之 40 呎空櫃。在需求上升 50% 的情境下，最佳解目標值為 2,409,613 美元，較基本情境目標值上升 182%。

表 7 鹽田、東莞及廣州出口需求上升後之貨櫃調度最佳方案

(單位：個)

(a)需求上升 25%								(b)需求上升 50%							
出口 據點	調度方式	鹽田		蛇口		中山		出口 據點	調度方式	鹽田		蛇口		中山	
		20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
香港	貨櫃租賃							香港	貨櫃租賃						
	區域調度		170			189	30		區域調度		170	9		189	30
鹽田	貨櫃租賃		69					鹽田	貨櫃租賃		517				
	區域調度								區域調度						
蛇口	區域調度		157					蛇口	區域調度		143				
東莞	區域調度		112	142				東莞	區域調度	15	109	112			
廣州	區域調度			47	174			廣州	區域調度			68	160		
中山	區域調度							中山	區域調度						

註：空格表示無貨櫃流量。

註：空格表示無貨櫃流量。

五、結論與建議

在全球貨櫃流量不平衡的貿易環境下，空櫃調度是定期航商必須妥善處理的作業性課

題。如何有效利用母船閒置艙位運送空櫃，並搭配區域航線將空櫃運往出口需求據點，更是影響航商成本控制的關鍵因素。因問題複雜龐大，實務上貨櫃調度工作常依需求據點劃分成若干部分交由不同人員負責，並依經驗調度貨櫃以滿足據點需求為原則。本研究以運輸模式多元且複雜的 PRD 區域空櫃調度為主題，以整體問題為考量，建構以極小化總成本為目標之空櫃調度模式，可協助航商從宏觀的角度決定貨櫃調度的最佳策略。本研究採用多元商品網路為架構所構建之某國籍航商 PRD 區域空櫃調度模式，研究結果獲致下列結論：

1. 本研究模式透過網路節線與節點的搭配組合，可以表達 PRD 區域內各需求據點以及航線靠港間之複雜關係，案例分析雖以一家航商實際資料與情境，驗證模式之合理性與適用性，未來應付不同問題時，僅須根據不同情境改變網路中節線與節點的組合，來調整模式結構與參數，即可進行求解應用。
2. 本研究利用多元商品網路為基礎所建模式，係以多層網路區分不同航線與不同櫃種（如空重櫃、20 與 40 呎櫃等），可有效表達實務上主要貨櫃種類的流動狀況。模式輸出結果除產生各櫃種流動路徑建議外，亦可同時分析各據點所產生之費用。由於實務上定期船承運之貨櫃大部分為乾櫃，其中 40 呎乾櫃約占 7 成左右，因此本研究案例分析在參數 k 的設定方面僅先考慮 20 呎與 40 呎乾櫃，未來如需納入冷櫃，平板或高櫃等櫃種之考量時，僅須在模式中再插入若干圖層即可。換言之，本研究模式具有考量更多櫃種的彈性，可進一步處理不同情境的問題。
3. 因本研究模式具有網路結構可於極短時間內完成求解，適合進行重要參數變動之敏感性分析，做為航商承接業務之參考。如在案例分析的第二個情境中，部分重要據點之假設需求增幅達 50%，已遠超過航商自有櫃量之負荷，造成航商需大幅起租空櫃產生高額成本，此為模式根據假設情境所輸出之成本最低的決策建議，理性的航商會衡量此需求產生的收益以及額外增加的成本，以決定是否調度或起租空櫃來滿足此額外的需求，此為敏感性分析之重要目的。

在案例研究方面，由於研究對象礙於業務考量未提供實際空櫃調度相關的資料，僅提供 2007 年重櫃運輸與船期相關資料，故本研究僅能針對該資料藉由基本情境分析與重要參數變動之敏感性分析，來探討模式之求解效率與輸出結果之合理性，以及模式輸出結果在實務上的意義，此為本研究之限制。後續相關研究於進行實證分析時，如有機會應盡可能蒐集較完整之實際資料，並與模式輸出結果進行比較，以提高模式的價值與說服力。

最後，提出以下幾點建議供後續相關研究參考：

1. 由於香港居 PRD 地區核心位置並與各營運據點具高度之相依性，且又有較多的國際航線船舶彎靠，故航商常將香港設為 PRD 地區之貨櫃調度指揮中心，統籌進口空、重櫃與區域間貨櫃調度事宜。後續進行相關研究時，可針對香港之空櫃存貨管理問題進行深入探討。
2. PRD 區域之貨櫃需求據點多且複雜，本研究根據訪談與文獻探討結果，建立涵蓋香港、

鹽田、蛇口等國際港與東莞、廣州與中山等據點之網路模式。雖已具相當高之代表性，然鑑於實務上某些據點又可劃分為若干次據點（如廣州可再分為佛山與花都等區），未來若可取得更完整之相關資料，可利用增加節線與節點的方式，將本研究模式加以延伸，進一步探討更詳盡的貨櫃調度策略。

3. 由於 PRD 地區之運輸基礎建設進步相當快速，如配置新式起重機且水深足夠的赤灣港區已吸引航商國際航線母船彎靠，而居於 PRD 內側之廣州港因水深問題，亦已於珠江西岸近海口處增闢深水南沙港區。此類建設對 PRD 貨櫃調度將有相當程度之影響，建議後續研究可視情況將此二港區納入考量。
4. 本研究假設重櫃拆空卸貨後之空櫃會被歸還於原據點，然為避免空櫃長距離之運輸及方便貨主提領空櫃，PRD 區域已有於較內陸的地區興建大型空櫃儲放場之計畫，其一旦啟用，應會對 PRD 之貨櫃調度實務產生重要的影響，建議後續研究可就此課題進行探討。
5. 實務上受貨人拆空重櫃後返還空櫃之時間不一，由於本研究係以較長期之規劃觀點來建立研究模式，因此假設各據點前一期之進口重櫃拆空後全部轉為本期可用空櫃，暫未考慮不同時間之空櫃返還百分比。然而在處理較即時性的空櫃調度問題時，空櫃返還百分比為相當重要的影響因素，建議未來研究應予考量並進行深入的分析。
6. 本研究所構建之貨櫃調度以調度費用極小化為目標，然對於航商而言，如何獲取最大利潤亦為經營之重要目標，因此建議後續研究可嘗試結合收入與成本等決策考量，以獲取最大利潤為目標建構數學模式。

參考文獻

1. Clarkson Research Services, "Major Container Port Throughput", *Container Intelligence Quarterly 4th Quarter 2012*, 2012, pp. 19.
2. Neylan, P., *Container Forecaster IQ11*, Drewry Maritime Research, London, 2011.
3. Wang, J. J. and Slack, B., "The Evolution of a Regional Container Port System: Pearl River Delta", *Journal of Transport Geography*, Vol. 8, No. 4, 2000, pp. 263-275.
4. Wong, P. C., Yan, H., and Bamford, C., "Evaluation of Factors for Carrier Selection in the China Pearl River Delta", *Maritime Policy and Management*, Vol. 35, No. 1, 2008, pp. 52-57.
5. 珠江航務管理局，「2012 年珠江水運經濟運行分析報告」，http://www.moc.gov.cn/zizhan/zhishuJG/zhuhangju/tongjifenxi/201302/t20130217_1367538.htm 1，民國 102 年。
6. 周祥，「深圳市道路集裝箱運輸業發展現況與對策」，*集裝箱化*，第 210 期，2008，頁 25-28。
7. 黃世明，「珠三角經濟腹地連結」，*航港新知簡訊*，第 116 期，2009，頁 1-5。
8. Shen, W. S. and Dhoong, C. M., "A DSS for Empty Container Distribution Planning", *Decision Support System*, Vol. 15, No. 1, 1995, pp.75-82.

9. Li, J. A., Liu, K., Leung, S. C. H., and Lai, K. K., “Empty Container Management in a Port with Long-run Average Criterion”, *Mathematical and Computer Modeling*, Vol. 40, No. 1-2, 2004, pp. 85-100.
10. Li, J. A., Leung, S. C. H., Wu, Y., and Liu, K., “Allocation of Empty Containers between Multi-ports”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 182, No. 1, 2007, pp. 400-412.
11. Feng, C. M. and Chang, C. H., “Empty Container Reposition Planning for Intra-Asia Liner Shipping”, *Maritime Policy and Management*, Vol. 35, No. 5, 2008, pp. 469-489.
12. Olivo, A., Zuddasi, P., Francesco, M. D., and Manca, A., “An Operational Model for Empty Container Management”, *Maritime Economics and Logistics*, Vol. 7, No. 3, 2005, pp. 199-222.

附錄 A：2007 年 1 月份區域貨櫃調度建議方案

表 A1 鹽田調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口 據點	航線別		鹽田		廣州		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
鹽田	美洲至亞洲重櫃	AW1	23	44			23	44
		APN		27				27
		AE3		166		59		225
		AE5		58				58
	歐洲至亞洲重櫃	E1	11	27			11	27
		E2						
		M1						
	亞洲區間重櫃	I1		27				27
		I2	29				29	
		I3	8	1			8	1
		I4	2	1			2	1
		I5	10	59			10	59
	美洲至亞洲空櫃	AW1	70	371			70	371
		APN		76				76
		AE3	136	772			136	772
		AE5	45				45	
	歐洲至亞洲空櫃	E1	41	2			41	
		E2		16				
		M1						
		前期存貨						
		貨櫃租賃						
		總和	375	1647				
		區域調度	315	76				
		總需求	20 呎	375+315=690		40 呎	1647+76=1723	

註：空格表示無貨櫃流量。

表 A2 蛇口調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口 據點	航線別		鹽田		蛇口		廣州		中山		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
蛇口	亞洲區 間重櫃	I1										
		I2			2		21		2		25	
		I3			22		143	2	23	1	188	3
		I4					80	3	4		84	3
		I5			1		112	29	15	19	128	48
	亞洲區 間空櫃	I1				70						70
		I2										
		I3										
		I4										
		I5										
		前期存貨										
		總和			25	70						
		區域調度	15		320	1						
		總需求	20 呎		25+320-15=330			40 呎		70+1=71		

註：空格表示無貨櫃流量。

表 A3 東莞調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口 據點	航線別		鹽田		東莞		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
東 莞	美洲至亞 洲重櫃	AW1			60	95	60	95
		APN			2	2	2	2
		AE3			6	22	6	22
		AE5			3		3	
	歐洲至亞 洲重櫃	E1			5	1	5	1
		E2					0	
		M1						
	亞洲區 間重櫃	I1						
		I2			18	32	18	32
		I3			18		18	
		I4			36		36	
		I5			100	9	100	9
		前期存貨						
		總和			248	161		
		區域調度	300	76	132			
		總需求	20 呎	248+132-300=80		40 呎		

註：空格表示無貨櫃流量。

表 A4 廣州調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口據點	航線別		蛇口		廣州		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
廣州	美洲至亞洲重櫃	AW1			126	206	126	206
		APN			7	19	7	19
		AE3			30	59	30	59
		AE5			25	61	25	61
	歐洲至亞洲重櫃	E1			3	11	3	11
		E2			6	25	6	25
		M1			1		1	
	亞洲區間重櫃	I1						
		I2			21		21	
		I3			143	2	143	2
		I4			80	3	80	3
		I5			112	29	112	29
		前期存貨						
		總和			554	415		
		區域調度	320					
		總需求	20 呎	554-320=234		40 呎	415	

註：空格表示無貨櫃流量。

表 A5 中山調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口據點	航線別		蛇口		中山		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
中山	美洲至亞洲重櫃	AW1			28	6	28	6
		APN						
		AE3			6		6	
		AE5				26		26
	歐洲至亞洲重櫃	E1						
		E2				1		
		M1						
	亞洲區間重櫃	I1						
		I2			2		2	
		I3			23	1	23	1
		I4			4		4	
		I5			15	19	15	19
		前期存貨						
		總和			78	53		
		區域調度		1				
		總需求	20 呎	78+88=166		40 呎	53-1=52	

註：空格表示無貨櫃流量。

附錄 B：2007 年 7 月份區域貨櫃調度建議方案

表 B1 鹽田調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口 據點	航線別		香港		鹽田		廣州		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
鹽田	美洲至亞洲重櫃	AW1			7	16			7	16
		APN				6				6
		AE3			1	256		28	1	284
		AE5				61				61
	歐洲至亞洲重櫃	E1				3				3
		E2								
		M1			140	4			140	4
	亞洲區間重櫃	I1				25				25
		I2			1	21			1	21
		I3			19				19	
		I4			3	1			3	1
		I5			51	163			51	163
	美洲至亞洲空櫃	AW1			556	155			556	155
		APN			15	29			15	29
		AE3			150	321			150	321
		AE5				80				80
	歐洲至亞洲空櫃	E1								
		E2								
		M1			97	54			97	54
	亞洲區間重櫃	I1				431				431
		I2								
		I3								
		I4								
		I5								
		前期存貨								
		貨櫃租賃								
		總和			1040	1626				
		區域調度				95				
		總需求	20 呎		1040		40 呎		1626+95=1721	

註：空格表示無貨櫃流量。

表 B2 蛇口調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口據點	航線別		蛇口		廣州		中山		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
蛇口	歐洲至亞洲重櫃	E1								
		E2								
		M1	4	1					4	1
	亞洲區間重櫃	I1								
		I2			5	27	5	2	10	29
		I3			38	1	9	1	47	2
		I4			29	1	4	5	33	6
		I5			105	18	17	39	122	57
	亞洲區間空櫃	I1		17						17
		I2								
		I3								
		I4								
		I5								
		前期存貨								
		總和	4	18						
		區域調度	189							
		總需求	20 呎		4+189=193		40 呎		18	

註：空格表示無貨櫃流量。

表 B3 中山調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口據點	航線別		鹽田		蛇口		東莞		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
東莞	美洲至亞洲重櫃	AW1					22	58	22	58
		APN					1	10	1	10
		AE3					9	16	9	16
		AE5					6	2	6	2
	歐洲至亞洲重櫃	E1								
		E2								
		M1					30	13	30	13
	亞洲區間重櫃	I1					15	13	15	13
		I2					20		20	
		I3					38		38	
		I4					79	18	79	18
		前期存貨								
		總和					220	130		
		區域調度		95	158					
		總需求	20 呎		220-158=62		40 呎		130-95=35	

註：空格表示無貨櫃流量。

表 B4 中山調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口 據點	航線別		蛇口		廣州		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
廣州	美洲至亞洲重櫃	AW1			91	106	91	106
		APN			2	11	2	11
		AE3			63	28	63	28
		AE5			13	29	13	29
	歐洲至亞洲重櫃	E1						
		E2			1		1	
		M1			57	19	57	19
	亞洲區間重櫃	I1						
		I2			5	27	5	27
		I3			38	1	38	1
		I4			29	1	29	1
		I5			105	18	105	18
		前期存貨						
		總和			404	240		
		區域調度	31					
		總需求	20 呎 404-31=373					

註：空格表示無貨櫃流量。

表 B5 中山調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口 據點	航線別		中山		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
中山	美洲至亞洲重櫃	AW1	12	1	12	1
		APN		2		
		AE3	6		6	
		AE5	1		1	
	歐洲至亞洲重櫃	E1				
		E2	1		1	
		M1	6	3	6	3
	亞洲區間重櫃	I1				
		I2	5	2	5	2
		I3	9	1	9	1
		I4	4	5	4	5
		I5	17	39	17	39
		前期存貨				
		總和	61	53		
		區域調度	189	30		
		總需求	20 呎 61+189=250		40 呎 53+30=83	

註：空格表示無貨櫃流量。

附錄 C：案例研究相關資料

表 C1 航商 A 2007 年 1 月份 PRD 地區各需求點進出口重櫃需求

(單位：個)

進口重櫃需求	市場	航線	香港		鹽田		蛇口		東莞		廣州		中山		需求總和		
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	
	亞洲至美洲線	AW1	79	118	23	44				60	95	126	206	28	6	316	469
		APN	2	28		27				2	2	7	19			11	76
		AE3	8	50		166				6	22	30	59	6		50	297
		AE5	2	57		58				3		25	61		26	30	202
	亞洲至歐洲線	E1	13	50	11	27				5	1	3	11			32	89
		E2	1	12								1				2	12
		M1	49	28								6	25		1	55	54
	亞洲區間	I1				27											27
		I2	19	57	29		2			18	32	21		2		91	89
		I3	98	170	8	1	22			18		143	2	23	1	312	174
		I4	132	115	2	1				36		80	3	4		254	119
		I5	434	62	10	59	1			100	9	112	29	15	19	672	178
	總和		837	747	83	410	25	0	248	161	554	415	78	53	1825	1786	
	出口空櫃需求			308	497	690	1723	330	71	80	18	234	84	166	37	1808	2430

資料來源：整理自航商 A 資料。

表 C2 航商 A 2007 年 7 月份 PRD 地區各需求點進出口重櫃需求

(單位：個)

進口重櫃需求	市場	航線	香港		鹽田		蛇口		東莞		廣州		中山		需求總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
	亞洲至美洲	AW1	72	74	7	16			22	58	91	106	12	1	204	255
		APN	3	28		6			1	10	2	11			6	55
		AE3	9	29	1	256			9	16	63	28	6	2	88	331
		AE5	1	29		61			6	2	13	29	1		21	121
	亞洲至歐洲	E1				3									0	3
		E2	4	24							1		1		6	24
		M1	176	89	140	4	4	1	30	13	57	19	6	3	413	129
	亞洲區間	I1				25									0	25
		I2	28	13	1	21			15	13	5	27	5	2	54	76
		I3	57	256	19				20		38	1	9	1	143	258
		I4	73	124	3	1			38		29	1	4	5	147	131
I5		419	86	51	163			79	18	105	18	17	39	671	324	
總和		842	752	222	556	4	1	220	130	404	240	61	53	1753	1732	
出口空櫃需求			353	552	1040	1721	193	18	62	14	224	53	250	83	2122	2441

資料來源：整理自航商 A 資料。

表 C3 PRD 地區 20 呎空櫃調度費用

(單位：美金)

據點	香港	鹽田	蛇口	東莞	廣州	中山
香港	—	102	73	36	52	45
鹽田	102	—	60	80	155	185
蛇口	73	60	—	55	51	50
東莞	36	80	55	—	N/A	N/A
廣州	52	N/A	51	N/A	—	N/A
中山	45	N/A	50	N/A	N/A	—

註：「N/A」表兩節點間無運輸服務或需求。

資料來源：整理自航商 A 資料。

表 C4 PRD 地區 40 呎空櫃調度費用

(單位：美金)

據點	香港	鹽田	蛇口	東莞	廣州	中山
香港	—	146	104	52	78	65
鹽田	146	—	85	117	221	260
蛇口	104	85	—	78	78	72
東莞	52	117	78	—	N/A	N/A
廣州	78	N/A	78	N/A	—	N/A
中山	65	N/A	72	N/A	N/A	—

註：「N/A」表兩節點間無運輸服務或需求。

資料來源：整理自航商 A 資料。

鹿特丹規則對海上貨物運送交付遲延 責任及貨損理賠之分析¹

THE LIABILITY OF DELAY IN DELIVERY AND THE ANALYSIS OF ITS APPLICATION IN THE ROTTERDAM RULES IN MARINE CARGO CLAIMS

鍾政棋 Cheng-Chi Chung ²

于惠蓉 Hui-Lung Yu ³

鄭莉穎 Li-Ying Cheng ⁴

(101 年 12 月 6 日收稿，102 年 1 月 23 日第一次修改，102 年 6 月 20 日定稿)

摘 要

海上貨物運送乃國際貿易之重要環節，若未能於契約所定時間及地點為貨物之交付，即構成海上貨物交付遲延之責任。國際海上貨物運送主要受 1924 年海牙規則、1968 年海牙威斯比規則、1978 年漢堡規則或 1980 年聯合國多式聯運公約等國際公約之規範。本文主要探討貨物交付遲延責任之本質，比較各國際海運公約，包含最新 2009 年鹿特丹規則之規範，探討貨物交付遲延責任於國際發展之最新趨勢。本文研究發現，於航運發展趨勢與各國利益權衡下，運送人對貨物交付遲延責任之規範，在國際海運公約規範中缺乏統一性，一般海上貨物航程保險又將遲延責任排除於承保範圍，如此不僅影響託運人亦將損及受貨人或載貨證券持有人之利益。對運

-
1. 本文承蒙國科會專題研究計畫(編號：NSC99-2410-H-019-005-MY3)補助部分研究經費，特此一併致謝。
 2. 國立臺灣海洋大學航運管理學系副教授 (聯絡地址：202 基隆市中正區北寧路 2 號，臺灣海洋大學航運管理學系；電話：02-24622192 轉 3412；E-mail: jackie@mail.ntou.edu.tw)。
 3. 國立高雄海洋科技大學航運管理系副教授 (E-mail: hlyu@webmail.nkmu.edu.tw)。
 4. 國立臺灣海洋大學航運管理研究所碩士。

送人貨物交付遲延之責任，我國海商法規定不足，須適用民法相關規定。有鑒於航運發展趨勢與鹿特丹規則之制定，本文針對海商法提出貨物交付遲延責任之修正建議，研究成果可供我國未來修法之參考。

關鍵詞：貨物運送；交付遲延；貨損理賠；鹿特丹規則；國際海運公約

ABSTRACT

The carriage of goods by sea is an important part of the international trade. If goods are not delivered at the time and place as agreed, freight companies are held liable for the delay in delivery. International seaborne trade is mainly governed by the Hague Rules (1924), the Hague-Visby Rules (1968), the Hamburg Rules (1978), or the United Nations Convention on International Multimodal Transport of Goods (1980). This article mainly explores the nature of the responsibility of delay in delivery, compares the international maritime conventions (incl., the latest Rotterdam Rules of 2009), and examines the latest international trends of the liability for delay in delivery. This study showed that under the balance of shipping developing trend and national interests, the norm of carrier's liability for delay in delivery lacks uniformity in the international maritime convention, and the coverage of general voyage policy excludes the liability of delay. These negative aspects not only affect shippers, but also damage the interest of consignees or bills of lading holders. The regulation of Taiwanese Maritime Law about the liability for delay in delivery is insufficient, and thus applications from the Civil Law are required. In view of the developing shipping trend and the formulation of the Rotterdam Rules, this paper proposed amendment to the liability for delay in delivery in Maritime Law. The research results can be provided as a favorable reference for amending the law.

Key Words: Freight transport; Delay in delivery; Cargo claims; The Rotterdam Rules; International maritime conventions

一、前 言

於國際貿易全球化趨勢下，海上貨物運送實乃重要之環節，貨物運輸業者應提供更為快速且船期緊密之服務，以滿足現今商業環境對即時交貨之需求 (Chung 等人^[1])。有關船期方面，根據 Vernimmen 等人^[2] 研究發現，全球超過 40% 以上貨櫃船抵港時間遲延 1 天或以上。Notteboom^[3] 亦指出，船舶運送遲延導致運送人營運成本增加，對託運人、受貨人或載貨證券持有人 (B/L holders) 亦會增加存貨與產品再製之成本。要言之，船舶在海上若因非預期因素而遲延，對船貨雙方皆會造成重大之影響 (Chung 與 Chiang^[4])。

海上貨物運送具有高度之風險性與不確定性，運送人對受託貨物有其應盡之基本義務與責任。而全球通訊系統與衛星科技發達，縱船舶於海上航行，對海象預測及與航運公司

或港務當局保持聯繫，使貨物於運送途中之安全性大幅提高。現今對快速運送與準時之要求日漸加重，而經常造成遲延之因素，如港口擁擠或天候不佳等，皆可預先得知並研擬因應對策，是故應重視貨物運送交付遲延 (delay in delivery) 之責任，且有加以明確規範之必要 (Ganado 與 Kindred^[5])。

全球現行國際海運公約，主要有 1924 年海牙規則 (The Hague Rules)、1968 年海牙威士比規則 (The Hague-Visby Rules) 及 1978 年漢堡規則 (The Hamburg Rules)。各國際公約締約國不同，於適用上亦未統一 (Minichello^[6])。就貨物運送實務而言，常涉及兩種或以上運送方式。然因各運送階段不同，其運送責任歸屬及管轄權之決定，亦頗受爭紛。前述三大海運公約中，僅漢堡規則對貨物運送交付遲延有明確之規範；相對地，廣泛適用的海牙規則與海牙威士比規則，並未明文規範。

按英國 1906 年海上保險法 (Marine Insurance Act) 第 48 條航程遲延 (delay in voyage) 規定：於航程保險 (voyage policy) 中，航程須以合理航速 (reasonable dispatch) 航行，若無合法理由說明未依合理航速航行，則自航程遲延不合理時始，保險人不負責任；同法第 55 條第 2 項 (b) 款規定：保險人對因遲延主力近因所致船舶或貨物之損失，即使該遲延係承保危險所致者，仍不負責任。綜言之，國際海運公約對貨物交付遲延之損害，並未有一致性之規範，於海上航程保險又將之排除於承保範圍，如此不僅影響託運人之權益，或將損及受貨人或 B/L 持有人之利益。

有鑒於戶到戶運輸方式已為國際運輸物流主要方式，為因應多式聯運之發展，建立國際上統一性與公平性 (鍾政棋等人^[7])，聯合國國際貿易法委員會 (United Nations Commission on International Trade Law, UNCITRAL) 歷經 12 年有餘，在 2008 年決議通過「聯合國全部或部分海上國際貨物運送公約 (United Nations Convention on Contracts for the International Carriage of Goods Wholly or Partly by Sea)」，在 2009 年 9 月 23 日於荷蘭鹿特丹舉行簽署，簡稱 2009 年鹿特丹規則 (The Rotterdam Rules)；相較於前述三大海運公約，鹿特丹規則有許多突破性之規範。

鹿特丹規則參酌漢堡規則之規範，將運送人貨物交付遲延責任納入規範。此新規則之出現，將對航運業帶來重大之影響，有待各界透過協商，以接納與適應才能有效發揮公約之統一性。我國為海運發達國家，須重新審視我海商法律與現行國際航運發展趨勢及實務之落差，探討是否須增修以適應全球航運環境之變化。本文章節方面，第 2 節探討貨物交付遲延問題，第 3 節討論各國際海運公約含鹿特丹規則，對貨物交付遲延責任之規範，第 4 節論述我國海商法與民法對貨物交付遲延責任之規定，並研擬我國海商法之修正建議，最後第 5 節提出結論與建議。

二、貨物交付遲延之探討

本節針對運送人未於契約約定期間，或習慣合理期間內為貨物之交付時，致生貨物交付遲延責任問題進行探討。論述相關學說與案例，探討貨物交付遲延責任之意義、認定及

其立法理由，並提出綜合評析。

2.1 貨物交付遲延之意義

1957 年 William Cable Ltd. v. Trainor⁵ 案件指出，遲延 (delay) 表示「超出某行為或步驟應完成之期間，而延期履行之」。Ganado 與 Kindred^[5] 指出，遲延係指時間上之概念，不合理的遲延則屬違反契約中所約定期間之義務，亦構成契約基本之違反。楊仁壽^[8] 認為，運送物之遲延係指於約定期間或通常應到達目的地之期間，而未達到之情形。Bush^[9] 引用 1999 年 Nippon Yusen Kaisha Ltd. v. Scindia Steam Navigation Co.⁶ 案件，上訴法院援引牛津英語辭典對遲延之定義，包含延緩 (postpone)、延期 (defer)、遲到 (make late)、妨礙 (hinder) 等意思。張新平^[10] 指出，若運送人未於應交付期間內交付者，即為交付遲延；所指「應交付期間」，係指運送契約明定之期間，或契約無明定者依習慣之期間，或無約定亦無習慣之情況下，於相當之期間。按我國民法第 632 條 (運送人之按時運送義務) 規定，運送人應於約定期間內運送之。無約定者，依習慣。無約定亦無習慣者，應於相當期間內運送之。此項「相當期間」之決定，應顧及各該運送之特殊情形；亦即斟酌該運送之一切情況後，所決定之合理期間而言。

貨物運送契約為雙務契約，自契約締結後，運送人即負履行運送之義務，而託運人則有給付運費之義務。因此運送人之運送遲延行為，將造成債務不履行之結果，亦即給付遲延。申言之，若運送人違反契約「時間」上之義務，且造成遲延之原因係屬不合理時，運送人須對因遲延致生之損害負賠償責任。

2.2 貨物交付遲延之認定

於英美普通法中，運送人負有以合理速度運送之義務。若契約中未約定交付期間者，則其應為交付的合理期間之判定，應視運送人於實際運送時，所花費之時間是否相當而論 (陳金池^[11])。若時間為契約之根本時，則契約中所明示約定之期間，應可視為保證⁷。但於一般船期廣告中，運送人通常為明示之保留，或於 B/L 中有自由條款 (liberty clause)，以配合實際營運狀況使船期為適當之調整，船期合理的改變並不涉及契約之違反⁸。Boyd 等人^[12] 亦指出，合理的轉船運送並不違反運送人之注意義務，因此運送人將不負遲延責任；然此僅限於運送契約並未約定交付之日期，而應於合理期間內為交付之情形。

⁵ [1957] N. Z. L. R. 337 (C. A.).

⁶ [1999] 1 Lloyd's Rep. 903 (Q. B.), aff'd, [2000] 1 Lloyd's Rep. 515 (Eng. C. A.).

⁷ Harrison v. Missouri Pacific Ry. Co. (1881) 41 Am. Rep. 318 (Cir. Ct. Mo.); Ganado and Kindred (1990), *op. cit.*, p. 29.

⁸ Squillante and Zimmerman Sales, Inc. v. Puerto Rico Marine Management, Inc. (1981) 516 F. Supp. 1049 (D. C., Puerto Rico).

於早期 1893 年 Hick v. Raymond and Reid⁹ 案件，Watson 法官認為，合理期間 (Reasonable time) 之條件，係指當事人有按時履行運送之義務，即使該遲延係其無法控制者，且其並無過失及不合理之行為。於 1925 年 The Panola¹⁰ 案件，合理期間被定義為足以使其履行運送之期間，且負履行義務之人，應以通常之注意及謹慎履行其義務。Boyd 等人^[12] 則認為，合理期間須考慮實際情況中船東或傭船人能力，以及各港特性、機具設備、作業習慣及其它因素如潮差等，加以衡量之。

貨物交付遲延之損害，施智謀^[13] 指出，係指貨物運送遲延致受貨人受有滅失或毀損以外，其它財產上不利益之情形。於美國法上，因交付遲延致生損害，不論為貨物實體毀損、市價差損或所失利益，均得求償之¹¹。惟求償人須提出表面證據 (prima facie)，以證明該滅失或毀損之數額。此外，澳洲 1998 年海上貨物運送法與中國 1993 年海商法，亦將海上貨物運送人交付遲延責任，明文於國內法 (Tetley^[14])。於法國海商法，雖未明文運送人交付遲延之責任，於普通法則仍可適用之。於日本國際海上物品運送法，運送人對貨物之滅失、毀損或交付遲延之賠償責任，亦均加以明文規定。

綜言之，貨物若未能於契約約定期間內，或一般習慣上合理運送期間內為交付者，係屬交付遲延；若該遲延原因係屬不合理者，則運送人應負交付遲延之損害。再者，合理期間得決定遲延之合理與否，然其影響因素諸如航程中所遭遇之海象、天氣，以及船型、港口裝卸習慣、貨物條件等，是故遲延之合理與否，應視其個案情況而定。

2.3 貨物交付遲延立法理由

運送人交付遲延係屬違反契約上時間之約定，受貨人得就其損害，向運送人提起債務不履行或侵權行為之訴。交付遲延之損害，可分為實質毀損 (physical damages) 與經濟損失 (economic loss)。前者如因運輸時間過長導致貨物腐敗，則此致生貨物之滅失或毀損，其賠償責任之認定較無疑問；後者如貨物市場價值之減損。針對遲延所生單純之經濟損失，其損害賠償責任與範圍之界定，於各國法制中有不同之看法，國際上對此問題亦無統一之規範。

於英國法上，對損害賠償之原則，主要於 1854 年 Hadley v. Baxendale¹² 案件中確立。法院對其所失利益之請求予以拒絕，並建立以下原則 (陳俐文^[15])：(1) 違約之必然損害 (damages which arise naturally)：僅於締約當時運送人已被告知，或其應可合理預期，因貨物交付遲延所造成的「特別損失」或「間接損失」是違約之可能結果時，應予以賠償。(2)

⁹ [1893] A. C. 22.

¹⁰ [1925] A. M. C. 1173 (2nd Cir.).

¹¹ Commercio Transito Internazionale Ltd. v. Lykes Bros. Steamship Co. 243 F. 2d 683 (2 Cir. 1957); Mitsui Marine Fire and Ins. Co. Ltd. v. Direct Container Line, Inc. 192 F. Supp. 2d 412 (2 Cir. 2001); Sunpride Ltd. v. Mediterranean Shipping Co., S. A. 2004 A. M. C. 1 (S. D. N. Y. 2003).

¹² (1854) 9 Ex. C. 341 at pp. 354-5, 156 E. R. 145 at p. 151.

特殊情形之損害(damages which arise from special circumstances):當事人間訂有特約,且運送人於締約時已被告知,貨物因交付遲延產生損害之特殊情形,則對該特殊情形所致生之損害,應予以賠償。

前述2項原則係基於貨物運送之遲延,致貨物價值減損所生爭紛之情況,然此等原則於任何形態之運送,亦可適用(Ganado 與 Kindred^[5])。此原則主要強調損害之可預見性(foreseeable),第1項原則係指通常情況下,契約雙方得預期貨物可能會產生之合理損害;第2項原則係指雙方當事人於締約時,應事先聲明貨物用途或有其它特殊情形,如貨物未能於某特定期間內送達,將致受貨人工廠無法順利運作,對該遲延所受之損害,得向運送人請求賠償。

於早期1877年The Parana¹³案件中,貨物運送遲延導致市場價值下跌之賠償,法院認為從事海上冒險有許多不確定因素,除非是易腐性貨物,否則對時間上履約之責任要求,相較於妥善照料貨物之責任較不嚴格,因此所致經濟上之損失無法求償。然此判決被1925年United States v. Middleton¹⁴案件推翻,法院認為海上航行技術已較進步,可簡單估算航程所需時間,因而主張該判決不適用。於1969年C. Czarnikow Ltd. v. Koufos (The Heron II)¹⁵案件中,法院再度確定Hadley v. Baxendale¹⁶所建立之原則,認為不能因市場價值損失不易估算而免除運送人之責任,且契約雙方於遲延期間有貨物市價波動,為可合理預期之範疇,因此運送人應負不當變更航程(change of voyage),造成交付遲延所生貨物市場價值之損失。不當變更航程運送人自應負責,但若是因合理之偏航(deviation)而造成貨損,運送人自可主張免責。有關貨物市場價值之損失有別於貨物之實體毀損,乃求償人基於侵權行為之訴,因侵權人之侵權或不法之行為,而受利益損失或財務損害(Tetley^[14])。

基於上述,對純經濟損失賠償與否,得視個案情況判定責任歸屬,及其是否適用Hadley v. Baxendale¹⁶所建立之原則。因此對交付遲延責任之明文規範,並求國際上之統一適用,必有助於爭紛之減少,而有其立法之必要性。

2.4 綜合評析

由前述案例與學說可知,貨物交付遲延係指未能於契約約定期間內交付者,或未能於一般習慣上合理期間內交付者,且不合理之遲延將構成契約基本之違反。於英美普通法,一般對遲延之經濟損失,運送人應負賠償之責。楊仁壽^[8]指出,前述損害係指運送物因交付遲延之「金錢損害」,如因遲延而生「物理」或「物質」上之損害,則仍屬貨物滅失或毀損之範疇,其賠償額之計算較無疑慮。

¹³ (1877) 2 P. D. 118 (C. A.); 3 Asp. M. L. C., 220.

¹⁴ [1925] A. M. C. 85 (4th Cir.).

¹⁵ [1969] 1 A. C. 350 (H. L.).

¹⁶ Hadley v. Baxendale (1854) 9 Ex. C. 341 at pp. 354-5, 156 E. R. 145 at p. 151.

相反地，於貨物交付遲延責任確立後，損害賠償額之認定應視個案而論。通常限於契約雙方可預期發生之損害範圍估算，此並不影響運送人主張單位責任限制 (Tetley^[14])。就適用的國際海運公約中，對貨物交付遲延之責任，並未有一致性之規範。有鑒於全球經貿與航運發展變化，本文探討國際海運公約之規範，檢視我國海商法規定是否合乎國際立法趨勢，並針對不足部分提出修正建議。

三、海上貨物交付遲延規範

於國際海運公約中，運送人對貨物交付遲延責任之規範，有明顯差異。本節討論海牙規則、海牙威斯比規則、漢堡規則、聯合國多式聯運公約及鹿特丹規則等之規範，並提出綜合評析。

3.1 1924 年海牙規則

1924 年有關載貨證券統一規則國際公約 (The International Convention for the Unification of Certain Rules of Law Relating to Bills of Lading)，簡稱 1924 年海牙規則(The Hague Rules)，在 1924 年 8 月 25 日布魯塞爾舉行國際海商法外交會議通過，於 1931 年 6 月 2 日生效。海牙規則承襲美國 1893 年哈特法 (The Harter Act) 精神，採取過失責任主義，認為特約免責有違公序良俗 (public policy) 而予以禁止。同時為了平衡運送人之利益，運送人若已提出具有適航能力之船舶時，亦許以特約條款免除船舶航行或管理上之過失所負之責任 (張新平^[10])。

海牙規則第 3 條第 1 項與第 2 項規定，運送人就船舶適航能力應負注意義務。凡運送貨物時，運送人應以相當之注意 (due diligence) 及適當之措施，於發航前及發航時，使船舶具有適航能力，包含配置適當之船員、設備及供應品；使貨艙、冷藏室及所有供載運送貨物之部分，適宜貨物之裝載、運送及保存；於運送中亦應以注意及措置盡裝載、搬移、堆存、運送、保管、看守與卸載之責任。此乃運送人最低限度之責任，不得以特約予以免除或減輕 (曾國雄與徐當仁^[16])。海牙規則第 4 條運送人權義與免責事由中，若運送人已盡公約明定之義務，或於第 4 條第 2 項所列免責事由情形下，若發生貨物之滅失或毀損，始可免除責任。

海牙規則明定對貨物之滅失或毀損，運送人應負賠償責任，但對交付遲延致生損害之規範，極為模糊 (Tetley^[14])。Ganado 與 Kindred^[5]；Treitel 與 Reynolds^[17] 及 Baughen^[18] 等學者根據英美案例指出，海牙規則第 4 條第 5 項(a) 款運送人責任限制，訂有 “... for any loss or damage to or in connection with goods ...” 等文句，不僅指貨物實體滅失或毀損

(physical loss or damage)¹⁷，然因遲延或誤交 (delay or misdelivery) 情況，雖貨物本身並未受損，仍可能造成託運人或受貨人於經濟上之損失，是故亦應包含於其中¹⁸。

綜言之，運送人對貨物交付遲延之責任，海牙規則未有明文。因遲延所致經濟上之損失，得否適用公約中有關貨物滅失或毀損之規定，有待商榷。

3.2 1968 年海牙威斯比規則

有鑒於貨櫃化運送之發展，海牙規則顯有未盡完善，且適用範圍較狹隘等問題，在 1968 年通過統一載貨證券規則國際公約修正議定書 (Protocol to Amend the Unification of Certain Rules of Law Relating to Bills of Lading)，簡稱 1968 年海牙威斯比規則 (The Hague-Visby Rules)，亦稱為布魯塞爾議定書 (The Brussels Protocol)，其後於 1977 年 6 月 23 日生效。

海牙威斯比規則對公約適用範圍、單位責任限額、貨物不當交付的損害賠償責任消滅期間等，加以補充。有關運送人責任基礎 (basis of liability) 之規定，與海牙規則相同；換言之，對運送人交付遲延責任亦未明文，已如前述，於此不再贅述。

3.3 1978 年漢堡規則

1978 年聯合國海上貨物運送公約 (UN Convention on the Carriage of Goods by Sea)，為聯合國海事法外交會議在 1978 年 3 月 31 日於德國漢堡市通過，簡稱 1978 年漢堡規則 (The Hamburg Rules)。除保留部分海牙威斯比規則修訂之外，對海牙規則進行根本性之修改，時至 1992 年 11 月 1 日生效；然其締約國多為開發中國家，並未如海牙規則與海牙威斯比規則被廣泛適用。

貨物交付遲延之損害，於海牙規則與海牙威斯比規則，並無具體之賠償規範。漢堡規則為與其它運具之國際規範具同一性¹⁹，將交付遲延所致經濟損失列入運送人之責任範疇，除非舉證非因運送人本人或受僱人之過失 (Wilson^[19])。漢堡規則第 5 條第 1 項明定運送人責任基礎，於運送人照料期間，若發生貨物之滅失、毀損或交付遲延，應負賠償責任。依同條第 2 項規定，所謂「交付遲延」係指未於運送契約所定期限交付貨物者；若契約未定交付期限，則應與英美法同，未盡一般勤勉運送人 (diligent carrier) 所須合理運送時間內，送達卸貨港交付者 (張東亮^[20])。於航運實務上，為避免交付遲延賠償責任，運送人多不願在契約內明示貨物交付期限。因此對交付遲延之規範，漢堡規則確有必要斟酌「實際情況」及「對勤勉運送人之合理期待」後，判斷是否已構成交付遲延之責任

¹⁷ G. H. Renton and Co. Ltd. v. Palmyra Trading Corporation of Panama [1957] A. C. 149 (H. L.); St. Lawrence Construction Ltd. v. Federal Commerce and Navigation Co. Ltd. [1985] 1 F. C. 767 (C. A.).

¹⁸ Anglo-Saxon Petroleum Co. Ltd. v. Adamastos Shipping Co. Ltd. [1958].

¹⁹ 參見 1929 年華沙公約 (Warsaw Convention) 第 19 條、1956 年國際公路運送公約 (CMR Convention) 第 17 條及 1962 年國際鐵路運送公約 (CIM Convention) 第 27 條。

(Mankabady^[21])。

漢堡規則第 6 條運送人賠償責任限額規範，乃承襲海牙規則與海牙威斯比規則之精神。有鑒於海運事業經營高風險性，運費收入與賠償風險不成比例，建立單位責任限制以避免運送人承擔過重責任（曾國雄與徐當仁^[16]）。漢堡規則除提高單位責任限額，有別於海牙規則與海牙威斯比規則，增列運送人因交付遲延所負賠償責任限額，以交付遲延的貨物所應支付運費之 2.5 倍為限，但不得超過運送契約所定運費總額；按同條(c)款規定，因貨物之滅失、毀損或交付遲延，運送人所負賠償責任，不得超過貨物全損所引起賠償責任所定之限額。

受貨人負損害通知之義務，須於實際收受貨物後 60 日內，將因交付遲延致生損害以書面通知運送人，否則運送人無須負賠償責任。若因交付遲延致生貨物實體滅失或毀損時，應適用第 19 條第 1、2 項通知期間與法律效果；若受貨人未於期間內為通知者，即可作為運送人已依 B/L 記載交付貨物之表面證據，運送人並不因此解除賠償責任（Berlingieri^[22]）。而受貨人基於貨物之滅失、毀損或交付遲延之賠償請求權，並不因未在期間內通知而喪失。受貨人主張所受領之貨物與 B/L 記載不符者，應負舉證責任；若無法證明，則無法請求損害賠償。

綜上可知，運送人對貨物交付遲延之責任，漢堡規則已明文規範，為一重大突破。然因交付遲延損害賠償範圍如何認定，仍未見諸於規則中。於航運實務上，其認定標準不一，且各國互異，仍有待解決（曾國雄與徐當仁^[16]）。

3.4 1980 年聯合國多式聯運公約

自海牙規則至漢堡規則以來，運送人所採責任期間，皆僅限於海上運送段。於多式聯運情況下，貨損發生階段之紛爭，並未明確予以規範（Sturley^[23]）。聯合國貿法會認為，國際貨物多式聯運公約可促進經濟，並提高貨物運送效率，滿足各國貿易需求。1980 年 5 月 24 日由聯合國頒布 1980 年聯合國國際貨物多式聯運公約（UN Convention on International Multimodal Transport of Goods），主要目的在於簡化單據，並使運送責任明確，然而此公約迄今仍未生效。

聯合國多式聯運公約基本條款主要係仿漢堡規則而成，漢堡規則為調整海牙規則與海牙威斯比規則偏袒運送人之缺點，因此對託運人相對較有利，於多式聯運公約亦然。於公約中第 16 條聯運營運人責任基礎規定，若為聯運營運人之過失致生貨物之滅失、毀損或交付遲延，其應負賠償責任。對交付遲延責任，除貨物發生實體滅失或毀損之「物理損害」外，另如市場價格減損之「非物理損害」，或貨物受領權利人未能及時使用之「使用損害」等，均可包括在內（楊仁壽^[24]）；且同條第 2 項指出，若聯運營運人未於約定期間或合理運送期間內交付貨物者，視為交付遲延。其賠償責任與漢堡規則相同，於第 18 條加以規定，以交付遲延的貨物所應支付之運費 2.5 倍為限，但不得超過聯運契約所定之運費總額。

多式聯運公約第 19 條規定，若確知貨損發生階段，而該階段適用之國際公約或國內

法規定限額高於前述規定時，應按國際公約或國家法律之規定。換言之，此規定對貨物所有權人相對有利，但加重聯運營運人之責任；持平論之，應為較公允之責任制度。此公約對受貨人提出交付遲延所致損害通知，於第 24 條第 5 項規定，受貨人負有以書面為損害通知之義務；且須於實際收受貨物後 60 日內，將交付遲延致生之損害通知聯運營運人，否則無須負賠償責任。

綜前所述，多式聯運公約乃依漢堡規則之精神，將運送人對貨物交付遲延責任，予以明定。於此對託運人或受貨人較有利；相對地增加聯運營運人之責任，惟此公約迄今仍未生效。根據黃文龍^[25]指出，對於貨物交付遲延責任限額，不得超過聯運契約之運費總額，此點並未對經濟損失特性加以考量，對託運人權益保障仍顯不周。要言之，多式聯運公約內容之完整性，仍有待商榷。

3.5 2009 年鹿特丹規則

1996 年聯合國貿法會第 29 屆會議，重新審視國際海上貨物運送現行法律，為求統一而認為有修法之必要，委由國際海事委員會 (Comité Maritime International, CMI) 蒐集海上貨物運送領域現行慣例與資料，並發放調查問卷與舉行會議。其後由聯合國貿法會接手，歷經 10 年有餘之努力，於 2008 年 12 月 11 日通過「聯合國全程或部分海上國際貨物運送契約公約 (United Nations Convention on Contracts for the International Carriage of Goods Wholly or Partly at Sea)」，在 2009 年 9 月 23 日於荷蘭鹿特丹舉行簽署儀式，簡稱為 2009 年鹿特丹規則 (The Rotterdam Rules)。

鹿特丹規則制定之目的，為促使全球經濟合作發展，處於公平、對等及共同利益之基礎 (Minichello^[6])。藉回顧已生效之三大國際公約 (含海牙規則、海牙威士比規則與漢堡規則)，擴大其適用範圍，明確規範託運人與運送人及其履行輔助人之權義，將管轄範圍擴展至包含海上運送段之多式聯運段，為「海運加上 (Maritime-plus)」非海運段之概念 (Nikaki^[26])。申言之，Maritime-plus 係指包含為輔助運送完成之非海上運送段，若該非海運段有其適用之國際公約，應按該公約之規定，否則可適用鹿特丹規則 (Schelin^[27])。有鑒於貨櫃化運輸普及、戶到戶運輸模式需求、電子化運輸單證流通、批量契約 (volume contract) 發展與應用等，提出新的法律框架，使之更加符合現行商業習慣 (Khalid 與 Suppiah^[28])。

有鑑於 1929 年華沙公約 (Warsaw Convention)、1956 年國際公路運送公約 (CMR Convention) 與 1962 年國際鐵路運送公約 (CIM Convention) 等，對貨物交付遲延均有規範。因此為求國際統一性，鹿特丹規則乃循漢堡規則之精神，將貨物交付遲延責任納入公約第 17 條，與貨物之滅失與毀損相同，均列為運送人責任基礎。其間，第 1 項明定運送人責任基礎，於運送責任期間，若發生貨物之滅失、毀損或交付遲延，運送人應負賠償責任。此與漢堡規則規範相同，皆將運送人責任明文化。並於公約第 21 條明定，交付遲延係指「貨物未能於約定之期間內，約定之目的地交付者」而言。相較於漢堡規則與多式聯運公約規範，鹿特丹規則已刪除在未明示約定交付期間之情況，考慮「勤勉運送人合理運

送期間 (the time it would be reasonable to expect of a diligent carrier)」之但書。換言之，於運送契約中明示約定貨物交付期間，才構成交付遲延之責任。

貨物交付遲延損害之通知時效，於公約第 23 條第 4 項縮短為應於受領貨物後連續 21 日內，而非 60 日內書面通知為限。司玉琢與韓立新^[29]指出，此相當於除斥期間規定，若未於期間內提出損害通知，則求償人喪失權利，藉以兼顧運送人與求償人間之利益。於第 60 條明定遲延責任限額，對非貨物實體滅失或毀損之間接損失 (consequential loss)，稱為經濟損失，運送人應負賠償責任。且按第 22 條賠償額計算，對貨物價值認定亦予明文，根據貨物「交易價格」，若無此約定則以「市場價格」計算；若無上述兩種價格，則應參照交貨地同種類或同品質貨物之一般價格計算。但責任限額與漢堡規則規範相同，以遲延的貨物所應支付運費之 2.5 倍為限。

鹿特丹規則綜合各海運公約而成，擴大公約內容含蓋範圍及其適用範圍，增加有別於以往之規範。基於此，鹿特丹規則雖已明定貨物交付遲延之責任，相較於漢堡規則與多式聯運公約，其條款有所變動，刪除「未於合理期間內為貨物交付」之規定。蓋「合理期間」不易界定，且易過於主觀認定，或使法院有擴大解釋之可能，徒增國際法規不一致之虞，然此或將影響託運人或 B/L 持有人之利益。

鹿特丹規則承襲漢堡規則與多式聯運公約，明定貨物交付遲延之責任。漢堡規則簽署國多為貨主國，於國際航運市場影響力略顯不足，使公約適用性不彰；多式聯運公約亦未廣為接受，迄今仍未生效。按鹿特丹規則第 94 條第 1 項規定，公約將於第 20 個國家交付其批准書、接受書、核准書或加入書之日起 1 年期滿後下個月之第 1 日生效。現今鹿特丹規則雖已有 24 國簽署，然截至 2012 年為止，僅有西班牙與多哥共和國 (Togolese Republic) 兩國批准，因此實際生效日期尚未可知！

有鑒於航運產業之發展，目前各國對貨物交付遲延問題予以正視，由公約起草及簽署過程即可察知。換言之，國際間對鹿特丹規則接受程度頗高，仍希望藉由統一性之規範，得將貨物交付遲延責任明文化，以杜爭端。

3.6 綜合評析

隨貨櫃化運輸與多式聯運發展，國際海上貨物運輸規範亦逐步修正。各國國際公約制定目的，希冀使國際上具統一性之規範。截至目前為止，各國國際海運公約於國際上之接受度有明顯差異。國際海運公約適用情況，綜整如表 1 所示。

由表 1 可知，廣為適用者係簽署國大部分為船東國之海牙規則與海牙威斯比規則，為了符合時代變遷，對運送人責任要求漸趨嚴格，雖廣為適用，但規範不足，易生爭紛；基於貨主國立場制定之漢堡規則，對運送人責任又過於嚴苛；多式聯運公約則參酌漢堡規則制定，惟迄今尚未生效。因此，再次修改國際海上貨物運送法之期望愈來愈高。

有關貨物交付遲延之責任，是否明文於公約中，對運送人責任及託運人或受貨人之利益，均有重大之影響。本文就各國國際海運公約對貨物交付遲延責任之規範，綜整如表 2 所示。

表 1 國際海運公約適用情況

國際公約 簽署情況	1924 年 海牙規則	1968 年 海牙威斯比規則	1978 年 漢堡規則	1980 年 多式聯運公約	2009 年 鹿特丹規則
簽署地	比利時布魯塞爾	比利時布魯塞爾	德國漢堡	瑞士日內瓦	荷蘭鹿特丹
通過/簽署日	1924/08/25	1968/02/23	1978/03/31	1980/05/24	2009/09/23
公約生效日	1931/06/02	1977/06/23	1992/11/01	尚未生效	尚未生效
生效門檻	未定	10 國	20 國	30 國	20 國
簽署國/地區數 (2012/12/31 為止)	78 國	30 國	34 國	13 國	24 國

表 2 國際海運公約對貨物交付遲延責任之規範

國際公約 遲延責任	1924 年 海牙規則	1968 年 海牙威斯比規則	1978 年 漢堡規則	1980 年 多式聯運公約	2009 年 鹿特丹規則
運送人責任 基礎之規定	第 4 條第 1 項	與海牙規則 規定相同	第 5 條第 1 項	第 16 條第 1 項	第 17 條第 1 項
滅失、毀損	明文規定		明文規定	明文規定	明文規定
交付遲延	未明定				
交付遲延定義	未明定	未明定	第 5 條第 2 項	第 16 條第 2 項	第 21 條
交付遲延 認定全損	未明定	未明定	第 5 條第 3 項 交付期間屆滿 後連續 60 日	第 16 條第 3 項 交付期間屆滿 後連續 90 日	未明定
交付遲延 賠償責任限額	未明定	未明定	第 6 條第 1 項 2.5 倍運費	第 18 條第 4 項 2.5 倍運費	第 60 條 2.5 倍運費
交付遲延 致生損害通知	未明定	未明定	第 19 條第 5 項 交貨後連續 60 日內書面通知	第 24 條第 5 項 交貨後或通知 受貨後連續 60 日內書面通知	第 23 條第 4 項 交貨後連續 21 日內通知

資料來源：鄭莉穎^[30]。

由表 2 可知，貨物交付遲延責任之規範，國際海運公約有明顯差異。隨時間演進與航運發展，對運送人責任規範有所變動，茲分述如下：

1. 於海牙規則與海牙威斯比規則中，僅明定貨物滅失或毀損之責任，對貨物交付遲延之定義、賠償責任與限額等，未有明定。
2. 於漢堡規則與多式聯運公約中，除明定運送人對貨物滅失、毀損或交付遲延之責任，有關交付遲延定義、認定全損期間、賠償限額及損害通知時效，亦有明文。由於多式聯運公約係仿漢堡規則而制定，因此兩公約規範大體一致。
3. 有關運送人責任基礎，鹿特丹規則仿漢堡規則規範，對貨物之滅失、毀損或交付遲延之

責任，明文規定。鹿特丹規則對賠償限額，與漢堡規則及多式聯運公約規範相同，但對遲延定義較為嚴苛，並不考慮契約未明定交貨期間之情況；對遲延多久後得將貨物視為全損，亦未明文；遲延損害通知時效縮短為 21 日，蓋為平衡運送人與託運人或受貨人間之權益。

4. 漢堡規則、多式聯運公約與鹿特丹規則，均已將貨物交付遲延之責任，明文規定。換言之，此三大國際海運貨物運送公約將交付遲延責任，與貨物滅失與毀損同視，顯然較國際 B/L 法—海牙規則與海牙威士比規則完備。鹿特丹規則除參考海牙規則、海牙威士比規則及漢堡規則，又考量目前航運發展趨勢，制定符合海商環境需求之規範。惟此最新的國際貨物運送公約規範是否合適，仍有待公約生效後實踐之考驗。

四、我國交付遲延責任與建議

本節探討我國運送人對貨物交付遲延之規定，包括海商法與民法之規定，並提出海商法對交付遲延責任之修正建議。

4.1 海商法對交付遲延責任規定

就貨損型態而言，根據楊仁壽^[8]研究指出，所謂運送物之滅失係指不能將運送物交付於託運人或受貨人之情形，包括物質之滅失、占有之喪失或法律上之不能回復占有；而運送物之毀損係指因物質之變動，而使其價值減損之情形；而運送物之遲延則指約定期間或通常應到達目的地期間而未到達者，其所受損害係指因遲延所生金錢上之損害而言。

運送人對貨物交付遲延之責任，我國海商法首見於民國 88 年之修訂，其後沿用迄今。運送人最低強制責任，海商法第 61 條（運送人責任免除限制）規定，將「運送契約」修正為「件貨運送契約」，即僅限以件貨運送為目的之運送契約，而排除對傭船契約（Charter Party）之適用。並考慮運送人與託運人間利益之均衡，避免運送人以特約條款、條件或約定，免除或減輕交付遲延應負之責任，因此按我國民法用語，增列「遲到」一詞於「...毀損、滅失」之後。柯澤東^[31]指出，依民法第 640 條（遲到之損害賠償）之規定，不得超過因其運送物全部喪失可得請求之賠償額。因此，即使本條將遲到列為最低強制責任，對運送人亦無重大不利之處。

有鑑於我國海商法主要係繼受海牙規則與海牙威士比規則，亦未對交付遲延有較周延規定，僅於第 76 條（代理人及受僱人之責任限制）提及。若發生貨物之滅失、毀損或交付遲延，運送人及其代理人、受僱人皆得主張抗辯及責任限制，除非違反強制責任或故意或重大過失所致者，則排除適用。按我國海商法第 69 條（法定免責事由）及第 70 條（單位責任限制）規定，皆明文以「貨物之滅失或毀損」為適用對象；貨物「交付遲延」損害是否可適用免責事由與單位責任限制之規定，有待商榷。要言之，海商法對貨物交付遲延與責任之規定，確有加以修正之必要矣！

4.2 民法對交付遲延責任規定

針對我國海商法規定不足部分，如運送人對交付遲延責任，及其所負損害賠償範圍等，得按海商法第 5 條適用民法之規定。本節針對我國民法貨物交付遲延之定義、賠償範圍及其損害通知時效，加以探討。

4.2.1 交付遲延之定義

根據姚志明^[32]研究指出，貨物給付遲延責任係當債務屆履行期時，雖債務人給付可能，但因可歸責於債務人之事由，致未為給付者。按我國民法第 229 條（給付遲延）之規定，係指於給付有確定期限者，債務人自期限屆滿時起，負遲延責任；給付無確定期限者，債務人於債權人得請求給付時，經其催告而未為給付，自受催告時起，負遲延責任。根據貨物運送契約之特殊性，於民法第 632 條（運送人之按時運送義務）及第 634 條（運送人之責任）就遲延責任加以規定，託運物品，應於約定期間內運送之。無約定者，依習慣。無約定亦無習慣者，應於相當期間內運送之。按民法第 634 條規定，若運送物之喪失、毀損或遲到，係因不可抗力，或因運送物之性質，或因託運人或受貨人之過失而致者，運送人得主張免責；此與海商法第 69 條（免責事由）之立法精神相同。

4.2.2 交付遲延損害賠償額之計算

有關交付遲延之經濟損失，包括債權人所受損害與所失利益（柯澤東^[31]）。所謂遲延致生貨物之損害，係指貨物具體滅失、毀損以外之純經濟損失，如市場喪失、價格下跌、生產受阻及其它間接損失等（許美玲^[33]）。由於我國海商法對交付遲延所致損害賠償範圍，並未明文，故得適用民法第 638 條（損害賠償之範圍）與第 640 條（遲到之損害賠償額）貨損賠償範圍，應依其交付時目的地之價值計算。施智謀（1986）指出，由於交付遲延之性質特殊，數額可能極大，特以民法第 640 條規定，不得超過因其運送物全部喪失可得請求之賠償額，以平衡運送人之責任。於一般民事案件中，通常採過失責任主義，其賠償額以填補債權人所受損害及所失利益為範圍²⁰。

我國民法對運送人之責任，係採較嚴格之通常事變主義，法律基於衡平原則，制定損害賠償額之範圍，以「所受損害」為限（楊仁壽^[8]）。換言之，其賠償僅限於如貨物跌價所受損害，而不包括貨物無法轉售之所失利益（許美玲^[33]）。若因運送人之故意或重大過失致生損害發生者，則損害額範圍始擴及「所受利益」，若求償人遭受其它損害，亦得請求運送人賠償之。

4.2.3 交付遲延損害賠償請求權之時效

依我國海商法第 56 條（貨物受領之效力）第 2 項規定，貨物之全部或一部毀損、滅失

²⁰ 參見我國民法第 216 條有關法定損害賠償範圍之規定。

者，自貨物受領之日或自應受領之日起，1 年內未起訴者，運送人或船舶所有人解除其責任。基此觀之，交付遲延之責任並未於該範圍內。因此，按我國民法第 623 條（短期時效）之規定，於貨物交付遲延之情況，若生貨物損害賠償之請求權時，求償人自運送終了或應終了之時起，1 年間不行使而消滅。

基此可知，我國民法與海商法規定之時效相同，僅時間起算點不同；海商法以「自貨物受領之日或自應受領之日」起算，而民法係以「自運送終了或應終了之時起」。就貨物運送之特性，運送人於貨物送達目的地後，應為合理之通知，告知受貨人受領貨物之期間。因此本文認為，以海商法所定「自貨物受領之日或自應受領之日」起算，似較為適當。

4.3 海商法對交付遲延責任之修正建議

有關運送人貨物交付遲延之責任，我國海商法首見於民國 88 年之修訂，援用民法用語，將「遲到」列入第 61 條（免責約款之限制）及第 76 條（對託運人或第三人得主張抗辯事由等之援用）之規定，其後沿用迄今。對貨物交付遲延責任，並未明文。且僅將交付遲延列為運送人最低強制責任，若發生貨物之滅失、毀損或交付遲延，除非違反強制責任或因故意或重大過失所致者外，運送人及其代理人或受僱人皆得主張抗辯及責任限制。然於免責事由與單位責任限制中，卻未將交付遲延責任明文規定，或生條款適用與解釋之爭紛。簡言之，與海上運送有關貨物交付遲延責任，應有成文法制化之必要，以杜紛爭。

鹿特丹規則係最新的國際貨物運送法，已明定貨物交付遲延之責任。於英美普通法，交付遲延致生損害，運送人應適當賠償求償人；中國、澳洲及北歐國家，亦將之納入國內海上貨物運送法中（Tetley^[14]）。基於此，相較於國際公約與各國立法趨勢，我國海商法對交付遲延責任規定不足，為使運送人責任更為明確，本文參酌鹿特丹規則與我國民法之規定，茲就我國海商法貨物交付遲延責任提出修正建議，如表 3 所示。

茲將表 3 我海商法對貨物交付遲延責任修正建議之理由，分述如下：

1. 本文建議於原第 61 條（運送人責任免除之限制）後，參照鹿特丹規則與我國民法之規定，增訂第 61 條之 1 有關「運送人責任基礎」之規定，以期我國海商法規範內容趨於完善，使運送人之責任更為明確。
2. 由於我國海商法現行條文中，並未明確定義貨物交付遲延之責任，於條款適用上須適用民法相關規定。本文參考鹿特丹規則第 21 條之精神，於「運送人責任基礎」條款之後，明確陳述貨物交付遲延之定義。
3. 於航運實務上，運送契約多未明示約定貨物交付期間，本文參酌漢堡規則第 5 條（責任基礎）第 2 項規範，及相關案例與學說建議，將「未於合理期間內」為貨物之交付者，亦為交付遲延。
4. 有鑒於海上運送之高風險與不確定性，為避免運送人承擔過重之責任，本文建議參考鹿特丹規則第 60 條（遲延所致損失責任限額）之精神，增訂交付遲延責任之賠償限額，以遲延的貨物所應支付運費之 2.5 倍為限。但不得超過運送契約所應支付之運費總額。

表 3 我國海商法對貨物交付遲延責任修正建議

海商法修正建議	現行法律規定	
	海商法	民法
第 56 條第 2 項 (貨物受領之效力) 貨物之全部或一部毀損、滅失或交付遲延者... (以下略)。	第 56 條第 2 項 (貨物受領之效力) 貨物之全部或一部毀損、滅失者... (以下略)。	第 623 條第 1 項 (短期時效) 關於物品之運送，因喪失、毀損或遲到而生之賠償請求權... (以下略)。
第 61 條 (運送人責任免除之限制) 以件貨運送為目的之運送契約或載貨證券記載條款、條件或約定，以減輕或免除運送人或船舶所有人，對於因過失或本章規定應履行之義務而不履行，致有貨物毀損、滅失或交付遲延之責任者，其條款、條件或約定不生效力。 第 61 條之 1 (運送人責任基礎) 求償人證明貨物之毀損、滅失或交付遲延係發生於運送人負責任期間者，運送人對於貨物之毀損、滅失或交付遲延負賠償責任。但運送人能證明其毀損、滅失或交付遲延係因第 69 條所規定之免責事由所致者，不在此限。 第 61 條之 2 (交付遲延之定義與賠償限額) 交付遲延係指運送人未於明示約定或合理期間內，於約定之地點交付貨物者。前項合理期間之認定，應顧及各該運送之實際情形。 根據第 61 條之 1 之規定，運送人對貨物交付遲延所負的賠償責任，以遲延的貨物所應支付運費之 2.5 倍為限。但不得超過運送契約所應支付之運費總額。	第 61 條 (運送人責任免除之限制) 以件貨運送為目的之運送契約或載貨證券記載條款、條件或約定，以減輕或免除運送人或船舶所有人，對於因過失或本章規定應履行之義務而不履行，致有貨物毀損、滅失或遲到之責任者，其條款、條件或約定不生效力。	第 634 條 (運送人之責任) 運送人對於運送物之喪失、毀損或遲到，應負責任。但運送人能證明其喪失、毀損或遲到，係因不可抗力，或因運送物之性質，或因託運人或受貨人之過失而致者，不在此限。 第 229 條 (遲延) 第 1、2 項 1. 給付有確定期限者，債務人自期限屆滿時起，負遲延責任。 2. 給付無確定期限者，債務人於債權人得請求給付時，經其催告而未為給付自受催告時起，負遲延責任。其經債權人起訴而送達訴狀，或依督促程序送達支付命令，或為其他相類之行為者，與催告有同一之效力。 第 632 條 (運送人之按時運送義務) 1. 託運物品應於約定期間內運送之。無約定者，依習慣。無約定亦無習慣者，應於相當期間內運送之。 2. 前項所稱相當期間之決定，應顧及各該運送之特殊情形。 第 640 條 (遲到之損害賠償) 因遲到之損害賠償額，不得超過因其運送物全部喪失可得請求之賠償額。
原第 69 條 (免責事由) 因下列事由所發生之毀損、滅失或交付遲延，運送人或船舶所有人不負賠償責任... (以下略)。	第 69 條 (免責事由) 因下列事由所發生之毀損或滅失，運送人或船舶所有人不負賠償責任... (以下略)。	未明定。

資料來源：鄭莉穎^[30]。

5. 基於前述，增訂運送人責任基礎、交付遲延之定義與賠償額之規定，將可使運送人之責任趨於明確。於此，建議於海商法第 56 條 (貨物受領之效力) 及第 69 條 (免責事由) 中，亦將「交付遲延」增列於「毀損或滅失」之後，使法條內容更趨完備。

基於上述，除將海商法相關條文加以修正，使之前後規定一致；為與國際貨物運送最新規範接軌，明定貨物交付遲延之定義與賠償額，將使運送人貨物交付遲延條款明文化，以符合國際運輸發展之最新趨勢。如此，不但可保障託運人之權益，對運送人之責任亦更為明確，以達平衡雙方利益之目的，又可避免不必要之爭紛。

五、結論與建議

本文主要討論運送人對貨物交付遲延之責任與法理依據，及各國際海運公約對交付遲延責任之規範與爭紛，以了解交付遲延責任之立法趨勢，進而探討我國海商法與民法對交付遲延之規定，並提出我國海商法之修正建議。

5.1 結論

1. 全球貿易與貨物流通，對即時性與快速性之要求日益提高，為保持產品供應鏈與航運公司船期之穩定性，時間因素掌握良好與否，對船貨雙方皆會產生重大之影響。海上貨物運送乃國際貿易之重要環節，因貨物交付遲延或將造成利害關係人之損害。於貨物交付遲延下，雖貨物實體上未必受有滅失或毀損，然因未準時送達致貨價減損，係屬經濟價值之損害。對運送人交付遲延之責任，國際海運公約規範缺乏統一性，一般海上貨物航程保險又未將遲延責任列入承保範圍，如此不僅影響託運人，亦或將損及受貨人或 B/L 持有人之利益。
2. 根據相關案例與學說可知，貨物交付遲延問題逐漸受到重視。若運送人未能於明示約定或合理期間內，於約定之地點，為貨物之交付者，為貨物交付遲延。然而，對交付遲延責任及損害賠償範圍之認定，因各國法律體系與原則而不同，此乃海上貨物運送遲延責任立法阻礙之一。
3. 貨物交付遲延乃契約上時間因素之違反，應使運送人就遲延之責任負責，並使求償人獲得適當之補償。交付遲延所致之損失，係指貨物實體滅失或毀損以外，所受利益損失或財物損害等經濟損失，其賠償責任範圍，通常限於契約雙方可預期發生之損害範圍估算之。
4. 貨物交付遲延責任之規範，國際海運公約有明顯分歧，接受程度因各國立場不同而有差異，迄今仍未統一。運送人責任基礎之規範，於廣泛適用的海牙規則與海牙威士比規則中，僅就貨物之滅失與毀損加以規範，對貨物交付遲延之定義與賠償責任限額等，均未明文；漢堡規則與多式聯運公約，均已將貨物交付遲延責任明文規範，相對較前述兩國際 B/L 公約為完備，然而其適用性不彰。

5. 鹿特丹規則為最新的國際海運貨物運送公約，期望符合現代國際貿易需求，擴大其適用範圍，並平衡託運人與運送人及其履行輔助人等之權益，其確切生效日期未知，仍需各界配合與接納，方得以達成統一國際海運法制之目的。鹿特丹規則雖已明定運送人貨物交付遲延之責任，然其條文解釋與適用上或有不同，因此即便於公約生效後，或因條文解釋與判例未普及之故，致生複雜性。
6. 運送人對貨物交付遲延之責任，我國海商法並未明文，須適用民法給付遲延相關規定。有鑒於國際航運發展趨勢與鹿特丹規則制定，本文認為我國海商法對此應有修正之必要，茲就貨物交付遲延責任提出修正建議，已如表 3 所示。

5.2 建議

1. 有鑒於貿易全球化之趨勢，若發生海運貨損賠償情事，或將涉及兩國或以上法律之爭紛。建議後續研究可進一步分析我國主要貿易夥伴，如中國、美國、日本、香港、韓國及新加坡等，就其當地法令對貨物交付遲延責任之規範，加以比較與分析，以提供我國航運業者與立法機關未來修法之參考。
2. 根據德國航運與物流研究中心 (Institute of Shipping Economics and Logistics, ISL^[34]) 最新 (2011) 統計顯示，我國貨櫃船噸與散裝船噸排名全球第 6 名與第 7 名，分別占全球 3.4% 與 3.8%。於此建議未來修法時，除考量國際趨勢與主要貿易伙伴之規範，亦應將我國為船東國角色納入考量，以避免對運送人責任要求過苛。
3. 於後續研究建議方面，得就運送人對貨物交付遲延問題深入討論，從我國過去此問題相關案例判決，及目前航運實務實際規範，進一步加以分析與探討，以作為我國運送人對貨物交付遲延責任法制化之根據。

參考文獻

1. Chung, C. C., Chung, Y. S., and Tai, A. N., "An Evaluation of Key Service Attributes of Ocean Container Carriers from the Ocean Freight Forwarder's Perspective", *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 9, 2011, pp. 605-620.
2. Vernimmen, B., Dullaert, W., and Engelen, S., "Schedule Unreliability in Liner Shipping: Origins and Consequences for the Hinterland Supply Chain", *Maritime Economics and Logistics*, Vol. 9, Iss. 3, 2007, pp. 193-213.
3. Notteboom, T. E., "The Time Factor in Liner Shipping Services", *Maritime Economics and Logistics*, Vol. 8, Iss. 1, 2006, pp. 19-39.
4. Chung, C. C. and Chiang, C. H., "The Critical Factors: An Evaluation of Schedule Reliability in Liner Shipping", *International Journal of Operations Research*, Vol. 8, No. 4, 2011, pp. 3-9.
5. Ganado, M. and Kindred, G. M., *Marine Cargo Delays - The Law of Delay in the Carriage of General Cargoes by Sea*, Lloyd's of London Press Ltd, London, 1990.

6. Minichello, D., "The Coming Sea Change in the Handling of Ocean Cargo Claims for Loss, Damage or Delay", *Transportation Law Journal*, Vol. 36, No. 2, 2009, pp. 229-260.
7. 鍾政棋、曾文瑞、程法彰、黃凱臨，「貨損單位責任限制及其於鹿特丹規則之分析」，*運輸學刊*，第 24 卷，第 2 期，民國 101 年，頁 167-198。
8. 楊仁壽，*海商判決評釋*，三民書局有限公司，臺灣臺北市，民國 89 年。
9. Bush, P., "Charter Party Symposium: Delay and Detention", *Tulane Maritime Law Journal*, Vol. 25, No. 2, 2001, pp. 441-457.
10. 張新平，*海商法*，五南圖書有限公司，臺灣臺北市，民國 99 年。
11. 陳金池，「海上貨物運送遲延之研究」，國立臺灣海洋大學海洋法律研究所碩士論文，民國 83 年。
12. Boyd, S. C., Burrows, A. S., and Foxton, D., *Scrutton on Charterparties and Bills of Lading*, 21st Ed., Sweet and Maxwell, London, 2008.
13. 施智謀，*海商法*，三民書局有限公司，臺灣臺北市，民國 75 年。
14. Tetley, W., *Marine Cargo Claims*, 4th Ed., Les Editions Yvon Blais Inc., Montreal, 2008.
15. 陳俐文，「海上貨物運送人交付遲延之研究」，國立臺灣大學法律研究所碩士論文，民國 100 年。
16. 曾國雄、徐當仁，*海商法（上）*，作者自行出版，臺灣臺北市，民國 82 年。
17. Treitel, G. H. and Reynolds, M. B., *Carver on Bills of Lading*, 2nd Ed., Sweet and Maxwell Ltd., London, 2005.
18. Baughen, S., "Economic Loss Claims and the Hague-Visby Gross Weight Limitation Figure", *Lloyd's Maritime and Commercial Law Quarterly*, No. 4, 2008, pp. 439-444.
19. Wilson, J. F., *Carriage of Goods by Sea*, 5th Ed., Pearson Education Ltd., London, 2004.
20. 張東亮，*劃時代之國際法－漢堡規則論*，中國文化大學出版部，臺灣臺北市，民國 70 年。
21. Mankabady, S., *The Hamburg Rules on the Carriage of Goods by Sea*, 1st Ed., The British Institute of International and Comparative Law, London, 1978.
22. Berlingieri, F., *A Comparative Analysis of the Hague-Visby Rules, the Hamburg Rules and the Rotterdam Rules*, General Assembly of the Association Mondiale de Dispatcheurs (AMD), Marrakesh, 2009.
23. Sturley, M. F., "Sea Carriage Goes Ashore: The Relationship between Multimodal Conventions and Domestic Unimodal Rules", *Congress to Celebrate the Fortieth Annual Session of UNCITRAL*, Vienna, Austria, 2007, pp. 1-3.
24. 楊仁壽，「貨物遲到之通知」，*航貿週刊*，第 33 期，民國 95 年，頁 58。
25. 黃文龍，「從國際複合運送公約與規則比較經營人責任」，*大同技術學院學報*，第 18 期，民國 99 年，頁 179-200。
26. Nikaki, T., "The Carrier's Duties under the Rotterdam Rules: Better the Devil You Know?", *Tulane Maritime Law Journal*, Vol. 35, No. 1, 2010, pp. 1-44.
27. Schelin, J., "The UNCITRAL Convention on Carriage of Goods by Sea: Harmonization or De-harmonization?", *Texas International Law Journal*, Vol. 44, No. 3, 2009, pp. 321-327.

28. Khalid, N. and Suppiah, R., "The Rotterdam Rules: Catalyst for Trade or Cumbersome Convention?", *Maritime Policy and Management*, Vol. 37, No. 4, 2010, pp. 447-450.
29. 司玉琢、韓立新，**鹿特丹規則研究**，大連海事出版社，中國大連市，2009。
30. 鄭莉穎，「海上貨物運送交付遲延責任及其於鹿特丹規則之分析」，國立臺灣海洋大學航運管理研究所碩士論文，民國 101 年。
31. 柯澤東，**最新海商法：貨物運送責任篇**，翰蘆圖書總經銷，臺灣臺北市，民國 89 年。
32. 姚志明，**債務不履行之研究：給付不能、給付遲延與拒絕給付**，元照出版有限公司，臺灣臺北市，民國 92 年。
33. 許美玲，「遲到貨損不賠－免責條款之效力」，**月旦法學**，第 61 期，民國 96 年，頁 28-29。
34. ISL, *Shipping Statistics and Market Review (SSMR)*, Institute of Shipping Economics and Logistics (ISL), Germany, 2011.

公路汽車客運路線審議作業空間決策 輔助指標之建立與應用¹

THE ESTABLISHMENT AND APPLICATION OF SPATIAL DECISION SUPPORT INDICATORS FOR THE REVIEW PROCESS OF INTERCITY BUS ROUTES

蘇昭銘 Jau-Ming Su²

邱裕鈞 Yu-Chiun Chio³

張志鴻 Chih-Hung Chang⁴

王穆衡 Mu-Han Wang⁵

王晉元 Jin-Yuan Wang⁶

蔡欽同 Chin-Tung Tsai⁷

沈美慧 Mei-Hui Shen⁸

(102 年 2 月 27 日收稿，102 年 5 月 23 日第一次修改，
102 年 6 月 15 日第二次修改，102 年 6 月 20 日定稿)

摘 要

公路客運審議作業的決策品質良窳攸，關我國公路汽車客運營運環境

-
1. 本文為先進公共運輸系統整合資料庫加值應用與示範計畫 (1/2)(MOTC-IOT-101MDB001) 部分研究成果。
 2. 中華大學運輸科技與物流管理學系教授 (聯絡地址:300 新竹市香山區五福路二段 707 號中華大學運輸科技與物流管理學系; 電話: 03-5186587; E-mail: jmingsu@chu.edu.tw)。
 3. 國立交通大學交通運輸研究所教授。
 4. 中華大學運輸科技與物流管理學系兼任助理教授。
 5. 交通部路政司副司長。
 6. 國立交通大學運輸科技與管理學系副教授。
 7. 交通部運輸研究所運輸經營管理組研究員。
 8. 中華大學運輸科技與物流管理學系兼任專案助理。

的健全發展，但現階段囿於輔助資料的不足，常讓審議委員在審議決策過程中僅能仰賴自身的主觀專業判斷。本研究旨在透過審議委員之問卷，了解 12 項空間分析因素在公路客運路線審議之路線新增、變更及停駛等作業中之重要性與必要性，同時以地理資訊系統之空間分析功能為基礎，整合公路客運、家戶、重要地標及運輸需求資料庫，建立 8 大項分析指標。經以「竹東—砦子」路線停駛及「湖口—高鐵新竹站」路線新增兩個實際案例進行分析，發現本研究所構建指標，可明顯反應公路客運路線存在與否，對可服務人口數、路線重複率、地區運輸需求及時間可及性的影響，將可提升我國公路汽車客運審議作業之空間輔助資訊品質。

關鍵詞：公路客運審議；空間分析因素；地理資訊系統

ABSTRACT

The quality of the intercity bus review process is the key factor affecting the healthy development of intercity bus operation environments. However, due to the insufficient decision support information, the reviewers of intercity bus routes are usually forced to make subjective decisions. To enhance the decision quality, this paper developed a questionnaire survey that aims to analyze the importance and necessity of twelve spatial analytical factors in the review processes, such as opening new routes, adjusting extant routes, and retiring old routes. This questionnaire was distributed among members of Intercity Bus Review Committee. In addition, with the spatial analysis capability of Geographic Information System (GIS), eight analytical indices were proposed based on the databases of numerous intercity bus networks, as well as the distribution of residential population, major attractions, and transportation demand. Two sample cases relating to the retirement of the old route, ChuTong-TouZi, and the opening of the new route, HuKau-HSR HsinChu Station, were reviewed. The results show that the proposed indices clearly reflected the effects that the two routes have on the population, ratio of overlapping routes, local transportation demand, and temporal accessibility. The proposed spatial decision support information can be provided as a significant reference in the review process of intercity bus operations.

Key Words: Intercity bus review process; Spatial analytical factors; Geographic information system

一、前言

我國汽車運輸業的經營依據公路法之規定，均需經過各公路主管機關之核定，其中在公路法第四十一條中，更對公路汽車客運業之營運路線加以規範，以中央之公路主管機關

一公路總局為例，為促進公路汽車客運健全發展，並就客運路線、補貼之申請、費率及評鑑之審議建立公平客觀審核制度，即設置公路汽車客運審議委員會，該委員會之 4 項主要任務分別包括：(1) 公路汽車客運業申請營運路線經營、營運虧損補貼、運輸費率、運輸營運評鑑之審議；(2) 公路汽車客運業營運路線經營不善，或其營業車輛、設備無法適應大眾運輸需要之認定；(3) 公路汽車客運業營運路線申請經營者之評選；(4) 其他有關營運路線、補貼、費率、評鑑等相關問題之研議。其中路線申請、路線調整及路線續營之審議所牽涉之範圍十分廣泛，然在目前各公路主管機關人手不足情況下，常缺乏足夠之佐證資料，致使各審議委員僅能從有限資料中進行審議之專業判斷。路線審議的結果不僅對業者權益影響甚鉅，對民眾旅運需求的衝擊亦不可小覷，故如何提升路線審議過程中所需資訊之充分性，以提供審議委員做出更合理之判斷，即為我國在積極建構大眾運輸無縫服務環境過程中之一重要課題。

本研究主要在結合地理資訊系統之空間分析功能，建構一套空間決策資訊輔助指標，針對路線審議過程中所需之空間資訊提供必要之輔助，藉由對客運審議委員會委員的問卷調查，了解各委員對於審議過程中各項空間資訊需求之迫切性，並依據調查結果構建空間決策資訊輔助指標，最後則藉由兩個實際案例的分析，確認本研究構建指標之有效性與適用性。

二、文獻回顧

本研究在文獻回顧方面，將先針對目前公路客運路線作業之審議現況進行說明，再針對路線審議中各項路線評估之文獻進行探討，以作為構建路線審議作業空間決策資訊輔助指標之參考。

2.1 路線審議作業現況

路線審議大致包括路線申請、路線調整、路線續營等 3 項作業，茲就各作業內容分述如下：

1. 路線申請：該作業主要係依據「公路汽車客運路線申請經營審議作業須知」第 2 點所規定之受理「需求申請」、審議「需求申請」、核定開放路線、公告、受理「經營申請」、評選「經營申請」及核准籌備等 7 項程序辦理。該作業之重點在於申請路線的需求與供給、既有路線之營運情況，及與服務路廊中其他公共運輸業者的競合關係等 3 個部分。其中申請路線之潛在需求，可由交通分區之人口、所得、就業數等資訊加以推估，供給方面則需檢視申請者所提出之路線是否直捷，停靠站數及服務班次、時刻表是否滿足乘客需要；既有服務路線之服務情況則關注與申請路線的重複程度、既有路線的載客率、平均車齡以及服務品質，若有無法滿足需求的情況得以考量開放路線；與既有路線的競合關係除考量既有路線之載客率是否過低之外，另也考量服務路廊之其他公共運輸工具

是否會與申請路線有合作關係。

2. 路線調整：該作業主要係依據「汽車運輸業管理規則」第二十三條、第三十七條及第三十八條，及「公路汽車客運業申請調整客運路線處理原則」辦理。路線調整項目依國道客運路線及一般客運路線又有所不同。其中，有關國道客運路線主要包括下列4項：(1)延駛；(2)變更起（迄）點或交流道；(3)增加上下交流道並設站，以及(4)設置轉運站或增加設站等。而一般客運路線則主要為(1)延駛；(2)變更路線；(3)增加設站。對於路線調整，審議作業重點在於調整路線的需求、對調整路線上原經營業者的衝擊以及對乘客的影響。檢視調整路線的需求所需要的資料為地區的潛在需求。對調整路線上原經營業者的衝擊，則會參考現營業者之載客率，以得知增設或變更交流道，是否會造成此經營市場有過多業者；此外，也檢視調整路段與現營路線重複程度，以避免對原經營環境造成太大衝擊。對乘客的影響則會看變更路線造成旅客旅行時間、步行距離的變化，以研議是否適合調整。
3. 路線續營：路線繼續經營申請之審議主要依據「汽車運輸業審核細則」第七條之一第二項，及「國道客運路線繼續經營申請審議處理原則」及「地區汽車客運路線繼續經營申請審議處理原則」相關規定辦理。公路汽車客運業提出繼續經營申請，經認定經營服務品質符合大眾運輸需要者，公路主管機關得核准繼續經營。逾期未提出且經通知後仍不為申請者，或經認定經營服務品質未能符合大眾運輸需要者，公路主管機關得公告重新受理申請。依上述規定，路線申請繼續經營時，其經營服務品質是否符合大眾運輸需要，審議會依該業者經營路線之「過去經營實績」、「繼續經營計畫」與「過去評鑑缺失改善及承諾事項達成情形」成績合計後，所得之「服務品質成績」認定之。路線續營的審議作業重點，在於申請續營路線之過往營運實績、未來營運計畫以及該路線不續營的衝擊評估。檢視過往營運實績時主要會參考該路線歷年服務評鑑紀錄，另審查路線載客狀況（乘載率、載客成長率），以檢討現有業者是否適合繼續經營。此外，以往違規紀錄（違反交通法規、營運秩序）也被列入考量。在未來營運計畫的部分，會觀察業者所提出的營運改善計畫以及以往缺失改進紀錄，以檢視業者是否具維持服務水準的能力。若路線續營申請不通過，則其衝擊評估主要分為對民眾的影響以及對其他業者的影響，對民眾的影響最嚴重的往往是沒有其他替代路線（或運具），或是民眾需要到其他車站改搭其他路線致使步行時間增加；對其他業者的影響則反應在乘載率及補貼款的變化上，因為其他路線業者的乘載率常會因為競爭對手的退出而增加，連帶影響補貼款計算。值得一提的是，國道客運路線及一般客運路線在申請續營時，雖然審議程序與作業大致相同，但由於國道客運路線在通過續營審議後（通過或條件式通過），在行政程序上仍需陳報交通部核定，方能公告實施。另外，在違規記點上，國道客運路線也較一般客運路線更為嚴格（請參閱「公路汽車客運路線開放經營及續營申請違規記點補充規定」）。

2.2 文獻探討

雖然過去研究並無針對路線審議輔助作業進行探討，但有許多國外文獻曾進行不同路

線方案之影響評估。Wu 與 Hine^[1] 利用 Hillman 與 Pool^[2] 所建立的公共運輸可及性指標 (public transport accessibility level index, PTAL)，衡量該區域市區公車之服務可及性改變。PTAL 指標主要是以起迄點間之總旅行時間作為可及性之衡量標準，該研究採用 PTAL 指標衡量 4 種不同路線方案之可及性變化，並從對 60 歲以上高齡族群及不同種族之可及性變化，綜合探討方案之優劣性。Zhu 與 Liu^[3] 曾整合 GIS 與運輸規劃模式，同時考量運輸資料、土地使用資料及相關社經資料，探討新加坡捷運系統對可及性的影響分析，研究中係從運輸規劃觀點採用 Rich^[4]、Greetman 與 Eck^[5] 所定義之可及性指標，各分區之可及性指標為所有可銜接分區之吸引力值除以兩分區間之距離，並利用捷運系統通車前後資料進行影響分析。Manaugh 與 El-Geneidy^[6] 從社會公平性 (social equity) 角度出發，探討工作旅次之可及性，研究中先從社經特性界定弱勢區域，再分析該區域到 6 個主要職場之大眾運輸可及性，並利用 GIS 分析各規劃大眾運輸路線對可行性之變化。Delmelle 與 Casas^[7] 從空間公平性 (spatial equity) 觀點衡量哥倫比亞卡利市 (Cali) 公共運輸系統之可及性，該研究分別探討 BRT 系統各場站之等時圈服務範圍，同時探討 6 個等級經濟結構分區到醫院、娛樂場所及圖書館之可及性，利用標準化分數指標衡量不同等級經濟結構分區之可及性差異，最後針對到醫院之可及性較差地區提出一條新路線規劃，經利用可及性指標分析新路線之影響，發現各分區之可及性可從原本之 17.66% 提升到 20.41%。Tribby 與 Zandbergen^[8] 以大眾運輸旅行時間作為可及性之衡量標準，研究中將低所得、無自有車輛、年齡高於 65 歲或低於 19 歲之家庭視為有大眾運輸需求之族群，並以各家戶之可及性為基礎，衡量兩條連接市中心區新公車路線之可及性變化。Dharmadhikari 與 Zheng^[9] 以街廓為基礎之交通分區中之人口數除以特定範圍內之特定路線站牌數，作為路線可及性之衡量指標，利用不同重要地標之可及性，分析公車路線對北達科塔州立大學學生之影響。

在我國現行公路客運路線審議作業中，對於路線之新增申請、調整與續營均有相當明確之規範，但對於具備潛在需求、對民眾造成影響或對業者造成衝擊等審議標準，則較缺乏客觀之衡量指標。從前述文獻回顧中可發現，許多研究均採可及性來衡量不同路線方案或新路線對地區大眾運輸服務之變化，此一概念與路線審議作業中必須了解所審議路線之新增或變化，對一個地區民眾大眾運輸服務影響之基本概念相似，故可用來檢核一條路線之新增、調整或續營對沿線地區大眾運輸服務之影響。後續本研究將依據公路客運審議委員會委員之需求調查結果，結合可及性概念與地理資訊系統技術，構建路線審議作業空間決策資訊輔助指標，以便能客觀衡量審議路線對民眾需求、既有業者影響等不同層面之影響，希望藉由量化之數據提升路線審議之決策品質。

三、需求調查

本研究為了解公路汽車客運審議會對現行審議作業所需資訊重要度的評估，以及以往資訊提供品質之滿意程度，透過問卷方式訪問 10 位現任公路汽車客運審議委員，其中有 7

位曾任公路審議委員，另有 3 位委員為新任委員，並以重要度與滿意度分析 (importance and performance analysis, IPA) 檢視所需加強之資訊。問卷內容主要包括路線申請、路線變更及路線續營等 3 項審議作業，經參考各該作業相關法令規定，設計出總計 27 個考量因素，每項分列重要程度及以往幕僚單位所提供資訊充分性的滿意程度，各以 5 點量表方式進行，分數以「非常不重要 (非常不滿意)」與「不重要 (不滿意)」為 1 分及 2 分、「普通」為 3 分、「重要 (滿意)」與「非常重要 (非常滿意)」為 4 分及 5 分。

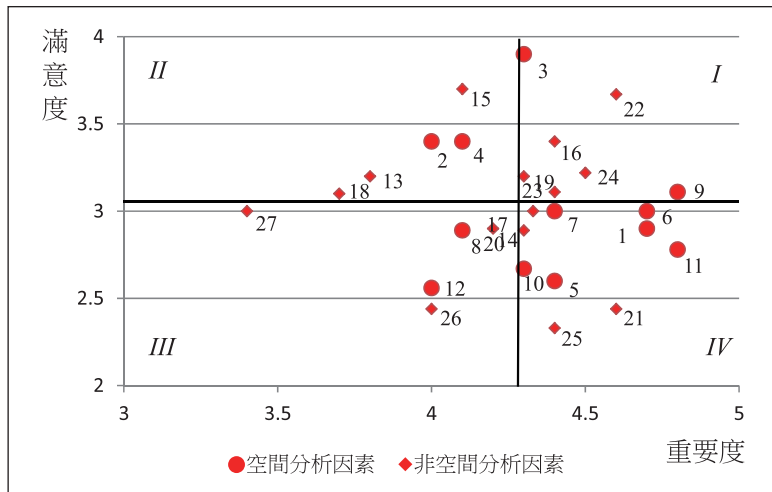
在 27 項因素中，若依據是否具空間分析特性加以區分，其結果可彙整如表 1 所示，在 27 項考慮因素中，總計有路線服務路廊之潛在需求等 12 項具空間特性；有路線班次與時刻表等 15 項因素不具備空間特性，該因素大都為基本資料之查詢，並不需要進一步進行空間分析。

表 1 路線審議作業考慮因素之特性彙整表

因素特性 作業項目	空間分析	非空間分析
路線申請	1.規劃路線服務路廊沿線之潛在需求 2.規劃路線之彎繞度及預計行駛時間 3.規劃路線與既有路線路段重複長度 4.規劃路線與既有路線站牌重複比例 5.規劃路線與其他公共運輸轉乘便利性	13.規劃路線之停靠站數及其位置 14.規劃服務班次及其時刻表 15.既有路線之班次數 16.既有路線之載客數 17.既有路線之乘載率 18.既有路線之平均車齡 19.既有路線之服務評鑑紀錄
路線調整	6.變更路線地區之潛在需求 7.變更後與既有業者重複路段比例 8.變更後與既有業者站牌重複比例 9.乘客車上旅行時間之增減 10.乘客步行時間之增減	20.既有業者之載客情況 21.乘客候車時間之增減
路線續營	11.服務路廊是否有足夠之替代路線或替代運具 12.服務路廊沿線乘客步行距離之增減	22.歷年服務評鑑紀錄 23.上年度載客率與載客增加率 24.交通違規及肇事紀錄 25.服務路廊沿線乘客候車時間之增減 26.服務路廊中其他路線乘載率之增減 27.服務路廊中路線別補貼款之增減

經利用 IPA 之分析結果可彙整如圖 1 所示，整體重要度平均值為 4.28，顯見本研究所研擬之因素大都為審議委員所肯定，但滿意度平均值僅為 3.03，表示審議委員對於目前審議過程中，幕僚單位所提供輔助資料之滿意度仍有加強空間，其中審議委員認為新申請或變更路線之需求資料、不續營申請中是否有替代路線及變更路線後之車上旅行時間增減等

4 項因素最為重要，但此 4 項資料之滿意度最高僅有 3.11 分，顯示需求之空間分布為目前幕僚單位最迫切需要提供之資料。



資料來源：本研究整理

圖 1 路線審議考量要素 IPA 分析圖

若將 27 個因素依據是否為空間分析因素分別加以探討，則可發現 12 個空間分析因素中，有 8 個低於平均值，約占 66.67%。若以 IPA 之四個象限而言，2 個落在重要且滿意度高之第一象限（持續優勢區），約占 16.67%；2 個落在不重要但滿意度高之第二象限（過度重視區），約占 16.67%；2 個落在不重要且滿意度低之第三象限（次要改善區），約占 16.67%；6 個落在重要但滿意度低之第四象限（首要改善區），約占 50.00%。15 個非空間分析因素中，有 7 個低於平均值，約占 46.67%。若以 IPA 之四個象限而言，5 個落在第一象限，約占 33.33%；3 個落在第二象限，約占 20.00%；3 個落在第三象限，約占 20.00%；4 個落在第四象限，約占 26.67%。

其中在首要改善區之第四象限中，除 6 個空間因素外，尚有 4 個非空間因素，其中兩個與候車時間變化有關；2 個跟載客資料有關，顯示審議委員對於目前在審議過程中需要提供差異比較，或進一步進行空間分析之資料均認為有其重要性，但相對所能提供之輔助資料滿意度卻較低。在次要改善之第三象限中，除 2 個空間因素外，尚有規劃路線班次、服務路廊中其他路線乘載率之增減，及服務路廊中路線別補貼款之增減等 3 個非空間因素。而在重要度高且滿意度高之第一象限持續優勢區中，有乘客車上旅行時間增減及規劃路線與既有路線路段重複長度等兩項空間分析指標，而 4 項非空間分析因素中，則大都為評鑑、違規等基本靜態資料的查詢。在重要度較低之第二與第三象限中，雖然仍有 2、4、8 及 12 等 4 項空間分析因素之重要度較低，但其中第 2 與第 12 項為 4.0 分、第 4 及第 8 項為 4.1 分，均屬重要等級，為提供審議過程中更充分之決策輔助資料，故仍納入後續之

指標建立範疇中。

若進一步依據委員之資歷進行落差分析彙整如表 2 所示，該落差值為各因素之重要程度平均值減滿意度平均值，則可發現資深委員之落差值明顯大於新任委員；空間分析因素之落差值又明顯高於非空間分析因素，顯示資歷較深的委員對於空間因素分析之落差更為明顯。雖然目前公路總局委託中華電信公司開發的公路客運動態系統中，已可計算重複路段、重複站牌等資料，但當在新路線之審議作業中，由於現有公路客運動態系統無法建立尚未核可之公車路線及站牌資料，故幕僚單位或業者僅能利用有限的 GIS 分析工具（如 Google 地圖）以人工操作方式計算重複路段、重複站牌資料，或路線變更需增加之行駛時間，此一現行作業限制將無法滿足審議委員於路線新增及調整時所需之完整大眾運輸資訊需求，故如何有效提供空間分析資訊，將為提升審議作業之關鍵。

表 2 不同資歷委員對不同屬性因素落差分析彙整表

因素屬性 \ 委員資歷	資深	新任	全體
空間分析	1.51	0.93	1.37
非空間分析	1.29	0.78	1.16
總和	1.39	0.85	1.25

四、指標構建

從審議委員之需求調查分析中，可發現在非空間分析之 15 項指標中，路線審議作業中之乘客候車時間增減，及路線續營審議作業中之服務路廊沿線乘客候車時間增減兩項因素，因牽涉到班次規劃問題，需依據班次進行候車時間之分析。其餘 13 項均為簡單之資料查詢，除運量資料因國內之調查統計現況較不完整外，其餘項目之委員滿意度均較高。故本研究所構建之路線審議作業空間決策資訊輔助指標，除將整合公路總局公路客運動態系統資料庫內容，提供各項路線資料查詢外，並將結合大眾運輸可及性觀念，構建路線審議所需之評估指標，並據以運用地理資訊系統之空間分析功能，構建路線審議作業空間決策資訊輔助指標。

我國目前之公路客運路線，可區分為國道客運路線與一般公路客運路線兩類，雖然兩類型路線所考量因素之重要性可能有所不同，如國道客運路線較強調路線直截性，一般公路客運路線較強調所能服務人口數，但在國道客運路線審議過程中，委員可能亦需了解該路線增設一個站點所能服務之需求與額外所增加行駛時間之關係。基於提供路線審議作業輔助資訊充分性之前提，將不考慮不同公路客運路線類型中指標之重要性，而將前述路線審議需求分析結果中所必須對應之評估指標，均予以完整建立，至於指標間之重要性差異，則由委員依據路線特性自行權衡。本研究所建立各項評估指標與 12 個空間分析考量

要素之對應關係如圖 2 所示，由圖中同時亦可了解各指標除公路客運資料庫外，尚需整合之資料庫內容，總計包括下列 8 大項基本指標：

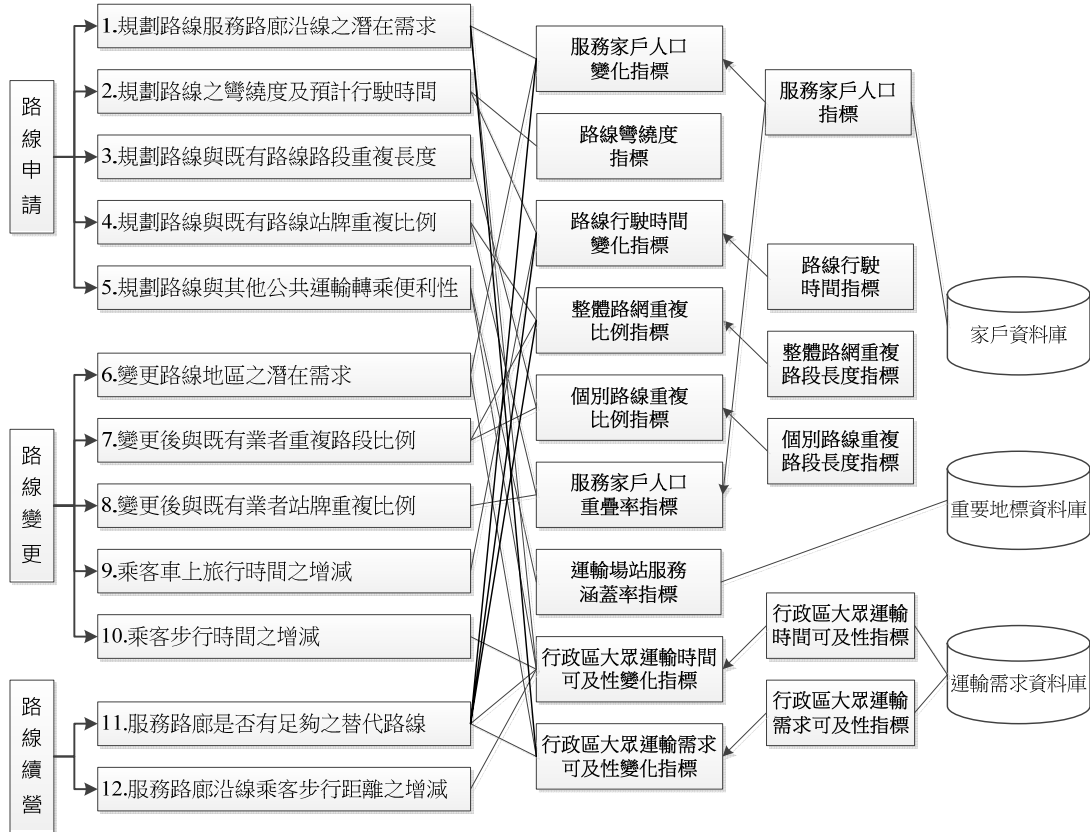


圖 2 路線審議空間分析指標關聯圖

1. 服務家戶人口指標 (SP_A)：由於大眾運輸系統所能服務區域之潛在需求，目前並無客觀之衡量方式，本研究參考 Kimpel 等人^[10]以大眾運輸站牌特定步行距離範圍內所能服務家戶人口數，作為可及性衡量指標之概念，構建家戶人口服務涵蓋率指標，該指標之計算公式如式 (1) 所示，審議路線 (A) 之服務家戶人口指標，為路線所行經的 J 個行政分區中，各分區 (j) 之家戶涵蓋率 (HC_{Aj}) 與該分區人口數 (POP_j) 之乘積總和，其中各 j 分區家戶涵蓋率，為該行政區內 H 個家戶被 A 審議路線站牌涵蓋之情形，為第 h 個家戶 (HH_{jh}) 乘上該家戶路線涵蓋因子 (f_{jh}) 後之總和除以該行政區家戶總數 (H_j)，其中若 f_{Ajh} 為 1，則表示該家戶被 A 路線涵蓋；若 f_{Ajh} 為 0，則表示該家戶未被 A 路線涵蓋。本研究捨棄過去研究以路線涵蓋面積或涵蓋道路長度之原因，茲舉圖 3 新竹市港南里之實例加以說明，圖中之每個圓點代表一個家戶，斜線區域內為目前 15 路公車站牌之 500 公尺服務範圍，因圖 3 中之港南里家戶分布於東邊，雖然公車 500 公尺涵蓋範圍有涵蓋到港

南里行政區域範圍及道路，但實際上在 500 公尺範圍內並未服務到實際家戶人口。

$$SP_A = \sum_{j=1}^J HC_{Aj} \times POP_j = \sum_{j=1}^J \frac{\sum_{h=1}^H H_j H_{jh} \times f_{Ajh}}{H_j} \times POP_j \quad (1)$$

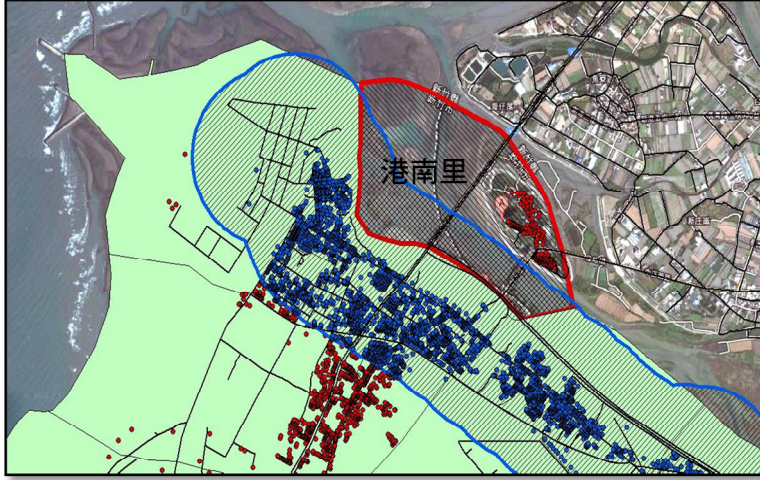


圖 3 新竹市港南里家戶人口涵蓋案例

依據前述服務家戶人口指標為基礎，可分別衍生出下列兩項指標：

- (1) 服務家戶人口變化指標 (SPC_A)：該指標可應用在衡量路線申請或路線延駛變更時，因該路線服務範圍的新增，與路線行經行政區之其他既有路線服務人口數 (SP_{now}) 相較所能增加之家戶人口數，若該值越高，代表審議路線 A 所能服務之潛在需求越高；另亦可應用在衡量路線停駛或縮短路線變更時，所影響之家戶人口數，若該值越高代表審議路線 A 所能影響之程度越高，該指標之計算公式如式 (2) 所示。

$$SPC_A = SP_A - SP_{now} \quad (2)$$

- (2) 服務家戶人口重疊率指標 (SPO_A)：該指標係應用在衡量審議路線與其他既有路線之服務範圍是否重疊，該指標之計算公式如式 (3) 所示，為審議路線 A 之服務人口數與行經行政區之其他既有路線服務人口數 (SP_{now}) 之交集，除以既有路線服務人口數之比例值，式中之 f_{nowjh} 為各 j 分區家戶涵蓋率，為該行政區內 H 個家戶被現有客運路線涵蓋之函數，若 f_{nowjh} 為 1，則表示該家戶被現有路線涵蓋；若 f_{nowjh} 為 0，則表示該家戶未被現有路線涵蓋，故若 f_{Ajh} 與 f_{nowjh} 同時為 1 時，即表示第 h 個家戶同時被 A 路線與現有路線涵蓋，即為審議路線 A 與行經行政區其他既有路線之交集。若在新增路線或路線研駛審議過程中，該指標值越高表示審議路線與既有路線之服務範圍重疊率越高；而在路線停駛審議時，該值越高則表示審議路線之服務範圍與其他路線

有高度之重疊性，亦即路線停駛對區域服務範圍之影響較小。

$$SPO_A = \frac{\sum_{j=1}^J \frac{\sum_{h=1}^H H_j H_{jh} \times f_{Ajh} \times f_{nowjh} \times POP_j}{H_j}}{\sum_{j=1}^J \frac{\sum_{h=1}^H H_j H_{jh} \times f_{nowjh} \times POP_j}{H_j}} \times 100 \quad (3)$$

2. 路線彎繞度指標 (R_A)：路線彎繞度為一常用在路線評估中衡量審議路線直捷度指標，該指標之計算公式如式 (4) 所示，審議路線 A 之彎繞度，為該路線起迄間之營運路線長度 (l_A) 與起迄點間最短路徑長度 (l_{sp}) 之比值，若該值越高代表所審議路線之彎繞情形越嚴重。

$$R_A = \frac{l_A}{l_{sp}} \quad (4)$$

3. 路線行駛時間指標 (T_A)：該指標主要係在計算客運路線之行駛時間，其計算公式如式 (5) 所示，審議路線 A 之路線行駛時間為路線中各路段長度 l_{Ai} 除以該路段行駛速率 v_i 之總和再加上每一個停靠站 s 之停等時間 td_s 總和。路線行駛時間指標可延伸出路線行駛時間變化指標 (TC_A)，其計算公式如式 (6) 所示，為審議路線 A 之路線行駛時間減去變更路線前之路線行駛時間 (T_{now})，路線行駛時間變化指標，將可應用在衡量國道客運路線新增上下交流道等路線變更審議作業時，對車上乘客旅行時間之變化，若該值越小代表對車上乘客之服務品質影響越小。

$$T_A = \sum_{i=1}^n \frac{l_{Ai}}{v_i} + \sum_{s=1}^S td_s \quad (5)$$

$$TC_A = T_A - T_{now} \quad (6)$$

4. 整體路網重複路段長度指標 (LO_{AR})：該指標主要係在計算審議路線 A 與既有客運路網間之重複路段長度，其計算公式如式 (7) 所示，若審議路線 A 中總計由 n 個路段所組成，每一路段之長度為 LA_i ， f_{oi} 為第 i 個路段之路網重複函數，若該路段有其他客運路線服務，則 f_{oi} 為 1；否則為 0。整體路網重複路段長度指標可延伸出整體路網重複比例指標 (RO_{AR})，以了解審議路線 A 與現有客運路網之重複情形，該指標為整體路網重複路段長度與審議路線 A 營運路線長度 (l_A) 之比例值，其計算公式如式 (8) 所示。若該指標值越高，表示審議路線與既有路網之重疊率越高，表示審議路線對於大眾運輸整體路網之效益越低。

$$LO_{AR} = \sum_{i=1}^n LA_i \times f_{oi} \quad (7)$$

$$RO_{AR} = \frac{LO_{AR}}{l_A} \times 100\% \quad (8)$$

5. 個別路線重複路段長度指標 (LO_{Ar})：該指標主要係在計算審議路線 A 與特定客運路線 r 間之重複路段長度，其計算公式如式 (9) 所示，若審議路線 A 中總計由 n 個路段所組成，每一路段之長度為 L_{Ai} ， f_{Ori} 為第 i 個路段與客運路線 r 之重複函數，若該路段有 r 客運路線服務，則 f_{Ori} 為 1；否則為 0。個別路線重複路段長度指標可延伸出個別路線重複比例指標 (RO_{Ar})，以了解審議路線 A 與現有客運路網之重複情形，該指標為整體路網重複路段長度與 r 客運路線長度 (l_r) 之比例值，其計算公式如式 (10) 所示。若該指標值越高，表示審議路線與 r 客運路線之重疊率越高，表示審議路線對於 r 客運路線之衝擊越大。

$$LO_{Ar} = \sum_{i=1}^n L_{Ai} \times f_{Ori} \quad (9)$$

$$RO_{Ar} = \frac{LO_{Ar}}{l_r} \times 100\% \quad (10)$$

6. 運輸場站服務涵蓋率指標 (NS_A)：該指標主要在衡量審議路線與行經行政分區 j 中其他運輸場站之連接比例，其計算公式如式 (11) 所示，其中 S_{jp} 代表 j 分區中第 p 個運輸場站， SC_{Ajp} 為 j 分區中第 p 個運輸場站是否被 A 路線涵蓋之函數，若該場站被涵蓋則 SC_{Ajp} 為 1；否則為 0。故 NS_A 即為 A 個路線所經過行政分區中 A 路線所涵蓋之運輸場站與所有運輸場站之比例值。若該值越大表示 A 路線的新增，可與既有公共運輸之轉乘便利性越佳，表示可提升使用者之轉乘便利性。

$$NS_A = \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^p S_{jp} \times SC_{Ajp}}{\sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^p S_{jp}} \times 100\% \quad (11)$$

7. 行政區大眾運輸需求可及性指標 ($DTDA_A$)：該指標主要在衡量審議路線 A 對所經過行政分區運輸需求之滿足程度，其計算公式如式 (12)。其中審議路線 A 中總共經過 J 個行政分區，而第 j 個行政區中與 K 個其他行政分區存在運輸需求，該起迄行政分區之運輸需求為 d_{jk} ； A_{jk} 為第 j 行政分區至第 k 行政分區之大眾運輸可及性連接指標，若 j 行政分區至第 k 行政分區有客運路線連接，則 A_{jk} 為 1；否則為 0。故 $DTDA_A$ 即為 A 個路線所經過行政分區中， A 路線所能滿足之運輸需求與所有運輸需求之比值，若該值為 1，表示 J 個分區之所有運輸需求均可因路線的新增而被滿足。該指標可延伸出行政區大眾運輸需求可及性指標 ($DTDAC$)，計算公式如式 (13)，為即新增 A 路線後之行政區大眾運輸需求可及性指標 ($DTDA_A$) 與現況值 ($DTDA_{now}$) 之差，若該值越大，表示 A 路線的新增對各行政區之運輸需求可及性之提升程度越高。

$$DTDA_A = \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K d_{jk} \times A_{jk}}{\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K d_{jk}} \times 100 \% \quad (12)$$

$$DTDAC = DTDA_A - DTDA_{now} \quad (13)$$

8. 行政區大眾運輸時間可及性指標 ($DTTA_A$)：大眾運輸時間可及性主要在衡量一個地區聯外大眾運輸之效率，主要可彌補大眾運輸需求可及性指標中無法看出大眾運輸服務有效性之缺點。以圖 4 之概念示意圖為例，新竹市三民里往返舊社里之運輸需求為每日 327 人次，假設兩里之中心位置為起迄點，民眾採用私人運具之最短行駛距離為 1.9 公里；當免費公車 50 號未提供服務時，採用大眾運輸服務則需由起點步行 560 公尺到公車站牌搭乘 1 號公車至新竹火車站，再轉乘 12 號公車至迄點，全程公車行駛約 3.9 公里。若單純從行政區大眾運輸需求可及性指標 ($DTDAC$) 進行判斷，可發現該指標值為 1，亦即該需求是可被大眾運輸滿足，但實際上由於私人運具之旅行時間僅需約 3 分鐘；公車方案在僅考慮車上時間及進出站時間情況下，旅行時間至少需達 20 分鐘，該旅行時間之差異，即會降低使用者之搭乘意願，故本研究參考 Tribby 及 Zandbergen^[8]之可行性方式，建立行政區大眾運輸時間可及性指標，其計算公式如式 (14) 所示，為 A 路線行經的第 j 個行政區與存在運輸需求的 K 個行政分區間之大眾運輸旅行時間 (t_{jk}) 總和與最短路徑旅行時間 (t_{spjk}) 總和之比值，該值越小表示該行政區間之大眾運輸服務越具競爭力。其中大眾運輸旅行時間 (t_{jk})，為使用者在起點行政區至最近站牌之步行時間 (tw_j)、大眾運輸車上時間 (tt_{jk}) 及使用者在迄點行政區由最近站牌抵達目的地之步行時間 (tw_k) 之總和，如式 (15) 所示。行政區大眾運輸時間可及性指標可延伸出行政區大眾運輸需求可及性指標 ($DTTAC$)，該指標為新增審議路線 A 後，大眾運輸時間可及性指標 ($DTTA_A$) 與現有客運路線大眾運輸時間可及性指標 ($DTTA_{now}$) 之差異值，如式 (16) 所示。若該值越大表示審議路線 A 對於既有行政區運輸需求之服務具有較佳之競爭力，未來可能搭乘之使用者越多。另由於行政區大眾運輸時間可及性指標 ($DTTA_A$) 係一相對性之指標值，不易直接看出時間可及性之時間變化值，故在審議過程中亦可同時提供起迄點間之旅行時間變化值 (tC_{od})，其計算公式如式 (17) 所示，該值為現行起迄點旅行時間 (t_{odnow})，與審議路線 A 加入或停駛後起迄點間之旅行時間可及性指標 (t_{oda}) 之差異值，若該值越大，表示審議路線 A 對於起迄點間旅行時間之變化量越大，未來可能搭乘之使用者越多。

$$DTTA_A = \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K t_{jk}}{\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K t_{spjk}} \quad (14)$$

$$t_{jk} = tw_j + tt_{jk} + tw_k \quad (15)$$

$$DTTAC = DTTA_A / DTTA_{now} \quad (16)$$

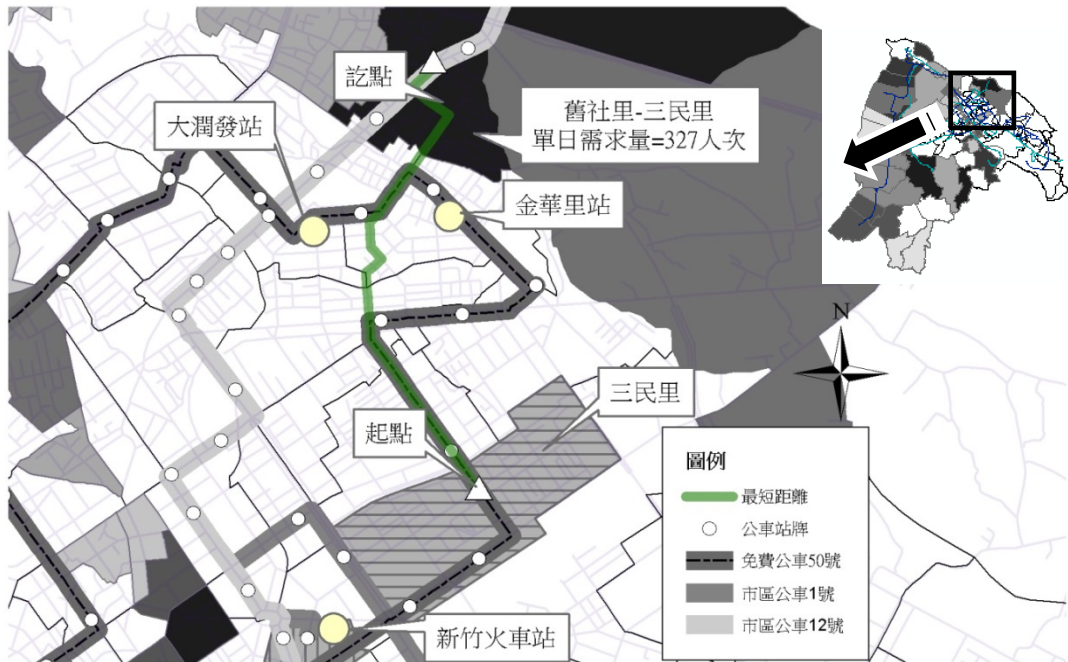


圖 4 大眾運輸時間可及性概念示意圖

$$tC_{od} = t_{odnow} - t_{oda} \quad (17)$$

五、應用分析

為驗證空間決策輔助指標在公路汽車客運路線審議作業之實用性，本研究考量資料取得之完整性，從路線審議作業之實際案例中，挑選「竹東－砦子路線停駛」及「湖口－高鐵新竹站路線新增」兩個案例進行案例應用，以期透過各項空間分析指標之分析，了解路線申請停駛後所造成之衝擊與影響，及路線新增時所產生之效益與影響，茲就兩個案例之背景資料、指標分析結果分別說明如后。

5.1 「竹東－砦子線停駛」案例

「竹東－砦子」線主要連接竹東鎮與橫山鄉田寮村，行駛路線如圖 5 中之粗線段所示，路線全長 6.6 公里，該路線自民國 90 年起至 96 年的每日行駛班次與每年總載客人數變化如圖 6 所示，而歷年之補貼資料則彙整如表 3 所示，由表中資料可發現民國 90 年時日駛班次為 14 班，每車公里載客人公里數為 8.0 人公里，民國 91 年載客人數下降為 4.9 人公里，業者遂逐年減少班次至 6 班，載客人公里數在民國 96 年更下降至 3.54 人公里。其間，在民國 95 年因為與其他客運路線在臺 3 線之重複路段班次超過補貼規定，補貼里程從原

有的 6.6 公里調降至 3.5 公里，此一規定讓業者每年可申請之補貼金額從 369,261 元下降至 195,820 元，負責該路線營運之客運公司於民國 97 年依據「日駛 6 班次以下，平均每車公里載客人數 5 人公里以下者，得檢附最近 6 個月營運績效，依監理程序申請停駛。」之規定，申請該路線之營運許可證繳銷，暫停行駛該路線。交通部公路總局依據「交通部公路總局各區監理所審核公路汽車客運業者申請國道與一般客運路線增、減班次及停駛處理原則」中之相關規定，授權各區監理所核符規定依權責逕行核定，並檢附前項提送資料副知各相關地方政府及本局，核定後於相關車站及站牌公告 1 個月後試辦 6 個月。若經試辦期滿，即可辦理許可證註銷事宜。

該路線在路線停駛審核階段，地方政府並無特別意見反映，然在路線停駛後，地方政府即受到地方諸多民意反應，要求恢復該路線之營運。路線停駛對一個地方民眾基本民行之影響甚大，當主管機關接到業者申請時，是否有足夠資訊進行影響層面之分析以做成正確之決策，實為一重要之關鍵。在客運審議委員之需求問卷調查中，受訪委員認為在審議路線續營或停駛申請時，應至少考量「服務路廊是否有足夠之替代路線或替代運具」，及「服務路廊沿線乘客步行距離之增減」兩個與空間分析有關之因素，從圖 2 之分析指標關聯圖中，可發現此案例至少需提供服務家戶人口變化、整體路網重複比例、12 條個別路線重複比例、行政區大眾運輸需求可及性、起迄點大眾運輸旅行時間及行政區大眾運輸時間可及性等 6 項指標。

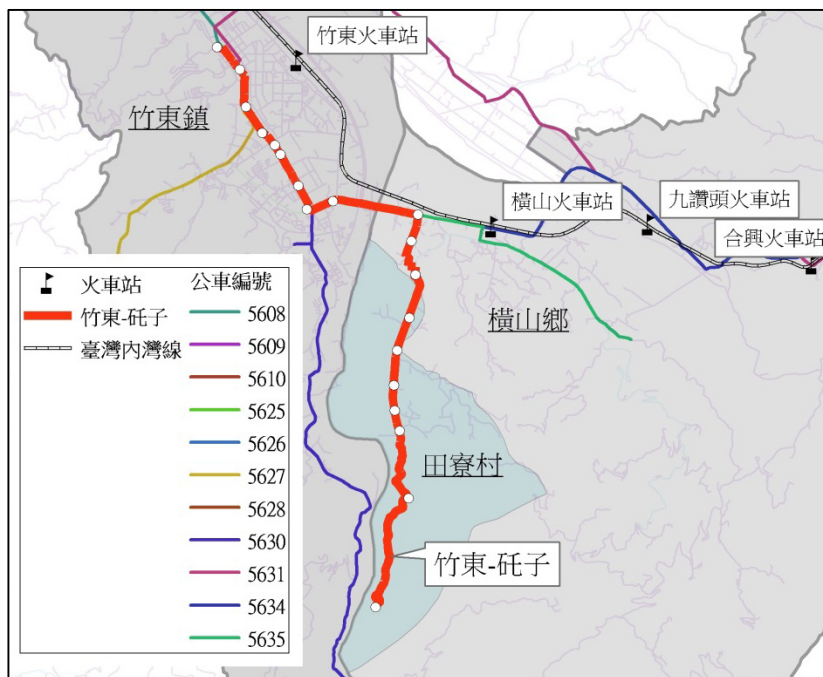


圖 5 「竹東－砦子」路線圖

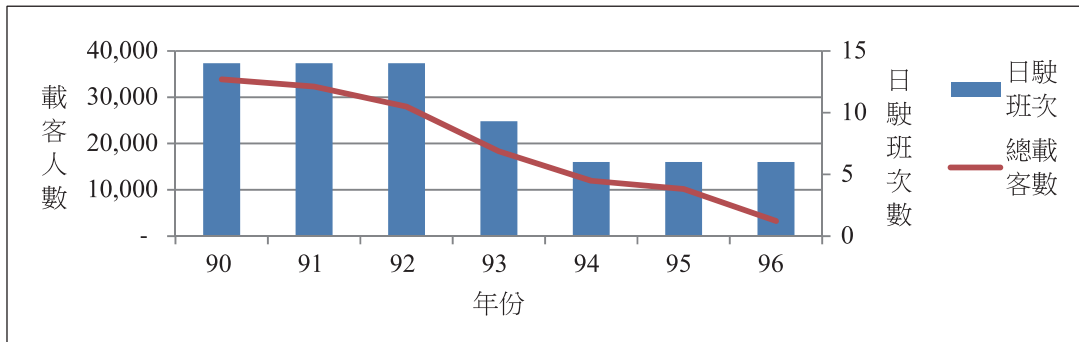


圖 6 「竹東－砦子」線日駛班次與載客人數變化

表 3 「竹東－砦子」線歷年補貼資料

年度	營業里程	補貼里程	日駛班次	每車公里載客人公里數	總營收	每車公里收入	每車公里成本	每車公里虧損	申請虧損補貼款
90	6.60	6.60	14	8.0	510,229	15.170	32.253	17.083	574,563
91	6.60	6.60	14	4.9	484,284	14.359	33.550	19.191	647,231
92	6.60	6.60	14	4.9	470,193	13.942	31.220	17.278	582,733
93	6.60	—	9.3	5.1	284,468	12.869	—	—	未申請
94	6.60	—	6	4.9	175,986	13.142	—	—	未申請
95	6.60	3.50	6	3.79	163,778	11.331	33.850	22.519	172,608
96	6.60	3.50	6	3.54	142,299	9.872	36.068	26.196	195,820

資料來源：客運業者

「竹東－砦子」線自竹東行經臺 3 線後，右轉竹 33 縣道，主要連接竹東鎮市區至橫山鄉福興村。經利用民國 100 年 12 月之家戶門牌及人口統計資料為計算基礎，以各站牌 500 公尺可服務範圍進行各項指標之計算結果可彙整如表 4 所示，茲就各指標之分析結果說明如下：

1. 服務家戶人口數變化：「竹東－砦子」線站牌 500 公尺範圍內可服務之家戶人口數為 21,646 人，沿途行經竹東鎮、橫山鄉的橫山村及田寮村，停駛後竹 33 縣道之 5.3 公里路段將無任何公車營運，該路段沿途經過橫山村及田寮村，亦即田寮村砦子地區之聯外大眾運輸將全部中斷，田寮村計有 168 個家戶，人口數 1,100 人，其中 60 歲以上及 5~18 歲之大眾運輸潛在人口數 (Currie^[11]、邱裕鈞等人^[12]) 為 409 人，約占 37.18%。停駛前田寮村之家戶服務涵蓋率為 92.85%，停駛後則為 0%；另有 213 個家戶的橫山村客運路線之家戶涵蓋率，亦將由 96.76%減至 81.80%。路線停駛後所影響之範圍如圖 7 所示，原本可服務之人口數為 21,646 人，停駛後將減少為 20,379 人，減少 1,267 人，其中田寮

村 963 人、橫山村 303 人。臺 3 線沿線之居民則因為有其他替代公路客運路線替代，故無影響。

2. 路線重複比例：本路線總共與 12 條路線重疊，整體路網重複比例為 36.19%，主要集中在臺 3 線，在 12 條有營運路段重疊之路線中，以【5635】竹東－頭份林線之 55.81% 最高，其餘 11 條路線均在 20% 以下。
3. 行政區大眾運輸需求可及性：本研究以新竹縣最新之「民國 89 年新竹地區旅運需求資料」為分析基礎，並以「竹東－砦子」線沿線各村里之旅次需求能否被各大眾運輸系統計算，發現停駛前沿線各村里大眾運輸需求可及性為 100%，停駛後將減少 27.78% 之大眾運輸需求可及性至 72.22%，主要之減少以田寮村之運輸需求為主。
4. 行政區大眾運輸時間可及性：本路線停駛前由田寮村砦子地區搭乘公路客運到竹東鎮之起迄旅行時間約 18 分鐘，沿線村里之平均大眾運輸時間可及性為私人運具的 1.05 倍；停駛後由於竹 33 縣道之 5.3 公里路段無任何大眾運輸行駛，民眾需步行至臺 3 線之公路客運站牌搭車，故起迄旅行時間將驟增為 81 分鐘，沿線村里之平均大眾運輸時間可及性，將增加至為私人運具的 4.09 倍，將較停駛前增加 3.90 倍之旅行時間。

表 4 「竹東－砦子」線停駛案例空間分析指標值彙整表

指標名稱 \ 情境	現況 指標值	路線停駛 指標值	指標 變化值	備註
服務家戶人口數 (人)	21,646	20,379	-1,267	
整體路網重複比例 (%)	36.19	0	-36.19	
個別路線重複比例 (%)	16.21	0	—	5625 路線
	4.99	0	—	5626 路線
	7.68	0	—	5627 路線
	14.09	0	—	5628 路線
	10.49	0	—	5630 路線
	1.11	0	—	5631 路線
	9.61	0	—	5634 路線
	55.81	0	—	5635 路線
	10.47	0	—	5673 路線
	11.56	0	—	5608 路線
	3.77	0	—	5609 路線
	12.26	0	—	5610 路線
行政區大眾運輸需求可及性 (%)	100	72.22	-27.78	
起迄點大眾運輸旅行時間 (分)	19	81	+62	
行政區大眾運輸時間可及性	1.05	4.09	3.90	

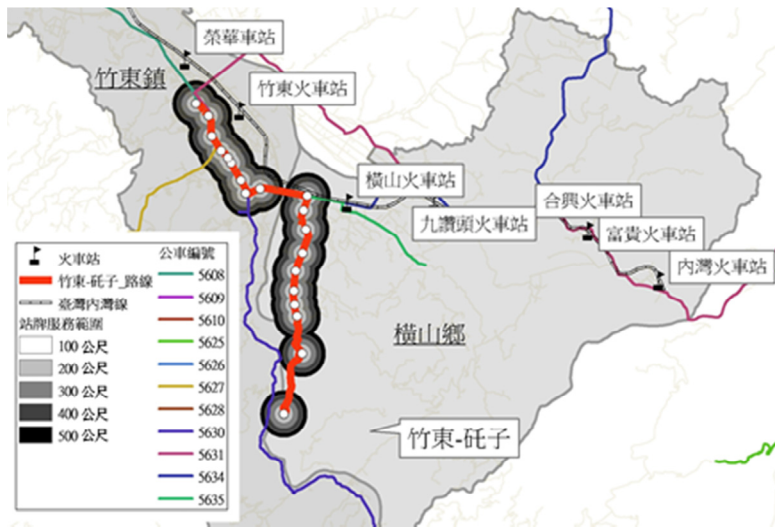


圖 7 「竹東－砦子」線停駛影響服務範圍示意圖

綜合前述各項指標分析結果可發現「竹東－砦子」線停駛後，每年約可減少約 20 萬元之補貼款，但大眾運輸所服務之家戶人口數將減少 1,267 人，且將有 5.3 公里路段完全沒有任何大眾運輸服務，將造成橫山鄉橫山村部分民眾及田寮村全村居民無法使用大眾運輸系統，沿線村里之大眾運輸需求可及性將減少 27.78%，且沿線村里之大眾運輸時間可及性將增加 3.90 倍，起迄點之大眾運輸旅行時間將增加 62 分鐘，顯示將對橫山鄉田寮村居民每日往返竹東鎮之運輸需求造成衝擊。惟該路線停駛後對居民所造成之衝擊程度，與每年減少之 20 萬元補貼款相較是否值得，即可供路線審議過程中審議委員決策之判斷依據。

5.2 「湖口－高鐵新竹站路線新增」案例

「湖口－高鐵新竹站」線為新竹縣政府於 100 年向交通部公路總局公共運輸發展計畫申請補助行駛之路線，雖非實際之路線審議案例，但公路總局在核定補助時，亦必須針對路線之效益進行評估，以免造成補助資源之浪費，該路線之營運路線如圖 8 所示，主要行駛於新竹縣湖口鄉新竹工業區至高鐵新竹站之間，以服務湖口鄉、新埔鎮民眾往來高鐵新竹站之運輸需求為主。

在客運審議委員之需求問卷調查中，受訪委員認為在路線新增申請時，應至少考量「規劃路線服務路廊沿線之潛在需求」、「規劃路線之彎繞度及預計行駛時間」、「規劃路線與既有路線路段重複長度」、「規劃路線與既有路線站牌重複比例」及「規劃路線與其他公共運輸轉乘便利性」等 5 個與空間分析有關之因素，從圖 2 之分析指標關聯圖中，可發現此案例至少需提供服務家戶人口變化、路線彎繞度、路線行駛時間變化、整體路網重複比例、個別路線重複比例、服務家戶人口重疊率、運輸場站服務涵蓋率變化、行政區大眾運輸需求可及性、起迄點大眾運輸旅行時間及行政區大眾運輸時間可及性等 9 項指標。

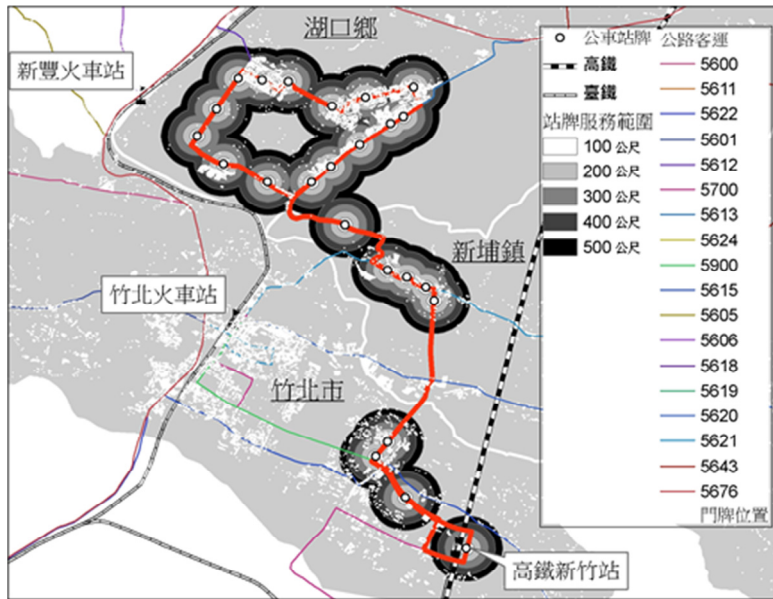


圖 8 「湖口－高鐵新竹站」線站牌服務範圍示意圖

本研究利用民國 100 年 12 月之家戶門牌及人口統計資料為計算基礎，「湖口－高鐵新竹站」線以各站牌 500 公尺可服務範圍，進行各項指標之計算結果可彙整如表 5 所示，茲就各指標之分析結果說明如下：

1. 服務家戶人口數：「湖口－高鐵新竹站」行經竹北市、新埔鎮及湖口鄉等 3 個鄉鎮，既有大眾運輸站牌周邊 500 公尺範圍所服務之人口數約為 214,739 人，服務率為 83.23%；3 個鄉鎮在路線新增後所服務之人口數為 219,907 人，服務率為 85.23%，路線新增後所服務人口數增加 5,167 人，約提升 2% 之大眾運輸服務涵蓋率。
2. 服務家戶人口重疊率：在「湖口－高鐵新竹站」路線所能服務的 40,098 人中，原先就可被其他大眾運輸系統所服務之人數為 34,930 人，服務家戶之人口重疊率為 87.11%。
3. 路線行駛時間與彎繞度：本路線自起點為高鐵新竹站到迄點湖口鄉榮民講習所之路線，在尚未新增路線前，需由一次轉乘方式才可完成旅次需求，其行駛時間約 40 分鐘，而新增此路線後，路線行駛時間約為 23 分鐘，此亦為私人運具之最短行駛距離，則可得本新增之路線並無彎繞現象，彎繞度為 100%。
4. 路線重複比例：本路線與 5 條路線之重疊範圍如圖 9 所示，整體路網重複比例為 52.91%，主要集中在竹北市及湖口鄉，在 5 條有營運路段重疊之路線中，以【5613】湖口－榮民講習所（經鳳山村）線之 38.79% 最高，其餘 4 條路線均在 25% 以下。
5. 運輸場站服務涵蓋率：竹北市、新埔鎮及湖口鄉等 3 個鄉鎮中之高鐵及臺鐵場站，總計包括臺鐵竹北站、六家站、湖口站及高鐵新竹站等 4 個，本路線可涵蓋之場站為高鐵新竹站及臺鐵六家站，故運輸場站之服務涵蓋率為 50%。

6. 行政區大眾運輸需求可及性：本研究以新竹縣最新之「民國 89 年新竹地區旅運需求資料」為分析基礎，並以「湖口－高鐵新竹站」線沿線各村里之旅次需求能否被各大眾運輸系統計算，目前竹北市、湖口鄉、新埔鎮沿線之村里間總需求約每天 45,907 人旅次，新增路線前各村里大眾運輸需求總計為可及性為 73.2%，路線新增後之大眾運輸需求可及性為 77.45%，約提升 4.2%。
7. 行政區大眾運輸時間可及性：本路線新增前由高鐵新竹站搭乘公路客運到湖口工業區之起迄旅行時間約 40 分鐘，主要是因為該起迄點間並無公路客運服務，故民眾必須先搭乘【5900】高鐵新竹站－竹北火車站接駁路線到竹北火車站，再步行至竹北口站轉搭【5612】湖口－新竹路線至湖口工業區，沿線村里之平均大眾運輸時間可及性為私人運具的 8.98 倍；路線新增後，湖口工業區民眾可直接搭乘本路線至新竹高鐵站，故起迄旅行時間將減少為 23 分鐘，沿線村里之平均大眾運輸時間可及性將減少至為私人運具的 1.28 倍，僅為新增路線前旅行時間之 0.14 倍。

表 5 「湖口－高鐵新竹站」路線申請案空間分析指標值彙整表

指標名稱 \ 種型	現況指標值	路線新增指標值	指標變化值	備註
服務家戶人口數 (人)	214,739	219,907	5167	以公車站服務範圍涵蓋竹北市、湖口鄉、新埔鎮門牌比例推估人口數。
服務家戶人口重疊率 (%)	—	—	87.11%	
路線彎繞度	—	1	—	
路線行駛時間 (分鐘)	40	23	-33%	
整體路網重複比例 (%)	0	52.91%	—	
個別路線重複比例 (%)	0	23.93%	—	5612 路線
	0	38.79%	—	5613 路線
	0	6.26%	—	5700 路線
	0	22.80%	—	5900 路線
	0	4.92%	—	5621
運輸場站服務涵蓋率 (%)	0	50%	+50%	
行政區大眾運輸需求可及性 (%)	73.24	77.45	+4.2	
起迄點大眾運輸旅行時間 (分)	40	23	-17	
行政區大眾運輸時間可及性	8.98	1.28	0.14	

綜合前述各項指標分析結果可發現「湖口－高鐵新竹站」線新增後，對於服務家戶人口涵蓋率之提升僅約為 2%，但實際上新增服務人口數可達 5,167 人。因該路線與既有路線之重複率均不高，而路線新增後可將起迄點間之旅行時間從 40 分鐘下降至 23 分鐘，而路

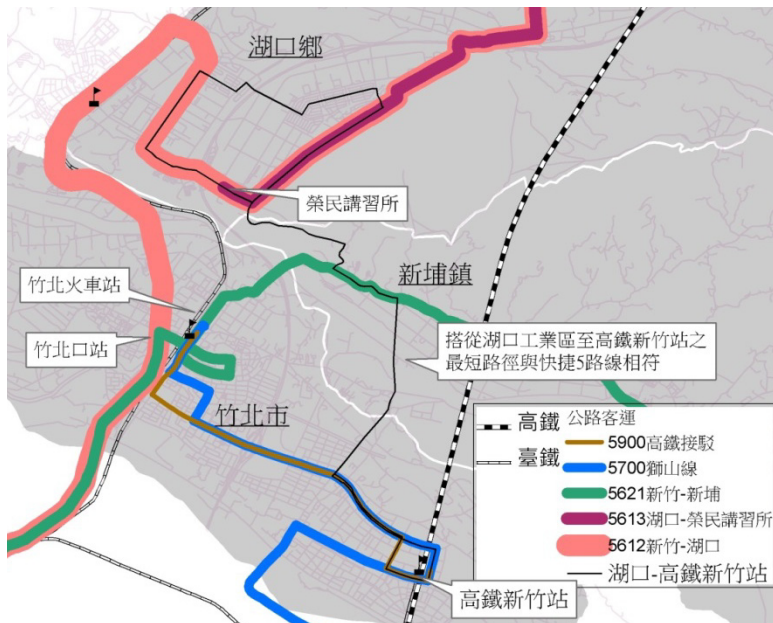


圖 9 「湖口－高鐵新竹站」線行駛路線及重疊路線示意圖

線沿線村里之大眾運輸時間可及性將由 8.98 倍降低為 1.28 倍，顯示該路線的新增，對於沿線行政區旅行時間的下降將有顯著之效益，且該路線連接高鐵新竹站至湖口工業區，有助於提升湖口地區民眾轉乘高鐵之便利性，該資訊則可於路線審議過程中，提供審議委員判斷路線新增後對居民之旅行時間減少，是否可吸引足夠之民眾搭乘之決策依據。該路線經過公路總局之公共運輸補助計畫及新竹縣政府之路線審議作業程序後，已於民國 101 年 7 月 9 日正式營運，近 3 個月平均每日運量達 290 人次，顯示該路線的營運對當地民眾之便利性可顯著提升，故路線運量一直穩定成長中。

六、結論與建議

我國近年來積極發展公共運輸系統，在軌道運輸路線增建不易情況下，健全公路客運營運路網將為一重要關鍵，而公路汽車客運之路線審議，對於地區之公路客運路網發展影響甚鉅，如何藉由審議制度，讓公路客運路線發揮合理之營運功能，即為一重要課題。過去在各項路線審議作業過程中，常缺乏足夠之輔助資訊供審議委員做出客觀之決策，故本研究主要在透過公路客運審議委員之需求調查，歸納出 12 項在路線審議作業中具備空間分析特性之考量因素，經以 IPA 進行分析，則可發現 12 個空間分析因素中，有 8 個低於平均值，約占 66.67%，其中 2 個落在不重要且滿意度低之次要改善區；6 個落在重要但滿

意度低之首要改善區，顯示審議委員認為該些空間分析因素尤其重要性，但對於現階段所提供之資料滿意則相對較低。依據該調查結果，本研究整合公路客運、家戶、重要地標及運輸需求資料庫，針對路線申請、路線變更及路線續營等 3 項路線審議作業，設計出路線服務家戶人口、路線彎繞度、路線行駛時間、整體路網重複路段長度、個別路線重複路段長度、運輸場站服務涵蓋率、行政區大眾運輸需求可及性及行政區大眾運輸時間可及性等 8 大項分析指標，並以地理資訊系統之空間分析功能為基礎，分別針對各指標建立完整之分析內容。

經以「竹東－砦子線停駛」及「湖口－高鐵新竹站線新增」兩個案例進行分析，依據案例特性利用各項指標產製審議作業中之相關輔助資訊，透過各項指標值的產製，可發現「竹東－砦子路線」停駛後，大眾運輸所能服務之家戶人口數將減少 1,267 人，且將有 5.3 公里路段完全沒有任何大眾運輸服務，將造成橫山鄉橫山村部分民眾及田寮村全村居民無法使用大眾運輸系統，沿線村里之大眾運輸需求可及性將減少 27.78%，且沿線村里之大眾運輸時間可及性將增加 3.90 倍，起迄點之大眾運輸旅行時間將增加 62 分鐘，顯示該路線的停駛，將對橫山鄉田寮村居民每日往返竹東鎮之運輸需求造成衝擊；在「湖口－高鐵新竹站」線新增之案例分析中，可發現對於該路線所服務涵蓋家戶人口數為 5,167 人，且該路線與既有路線之重複率均不高，路線新增後可將起迄點間之旅行時間從 40 分鐘下降至 23 分鐘，而路線沿線村里之大眾運輸時間可及性可由 8.98 倍將降低為 1.28 倍，顯示該路線的新增，對於沿線行政區旅行時間的下降，將有產生顯著之效益，且該路線連接高鐵新竹站至湖口工業區，將有助於提升湖口地區民眾及工業區廠商員工或訪客轉乘高鐵之便利性。

本研究目前所構建之各項公路客運路線審議作業空間決策輔助指標，經過前述案例分析結果，發現已能提供較現階段更為客觀且充分之決策輔助資訊，但仍因在路線審議過程中，各項個別案例尚牽涉到地區之地理特性、大眾運輸供給與需求特性差異，尚缺乏完整客觀之審議指標標準，如「湖口－高鐵新竹站」路線新增案例，由於旅次需求資料以交通分區為計算單位，而交通分區中亦會有多個里為單一交通分區之情況，因此若比較以村里為行政區需求單位及以交通分區為需求單位，則可能產生行政區需求可及性之差異，建議後續研究者可針對本研究所構建之各項指標之空間衡量基準、標準及各標間之權重進行探討，以進一步提升公路客運路線審議之決策品質。

參考文獻

1. Wu, B. M., and Hine, J. P., "A PTAL Approach to Measuring Changes in Bus Service Accessibility", *Transport Policy*, Vol. 10, 2003, pp. 307-320.
2. Hillman, R. and Pool, G., "GIS-Based Innovations for Modeling Public Transport Accessibility", *Traffic Engineering and Control*, Vol. 38, No. 10, 1997, pp.554-559.
3. Zhu, X. and Liu, S., "Analysis of the Impact of the MRT System on Accessibility in Singapore

- Using an Integrated GIS Tool”, *Journal of Transport Geography*, Vol. 12, 2004, pp. 89-101.
4. Rich, D. C., “Potential Models in Human Geography”, *Concepts and Techniques in Modern Geography*, No. 26, 1980, pp. 1-38.
 5. Geertman, S. C. M. and van Eck, J. R. R., “GIS and Models of Accessibility Potential: An Application in Planning”, *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 9, No.1, 1995, pp. 67-80.
 6. Manaugh, K. and El-Geneidy, A., “Who Benefits from New Transportation Infrastructure? Evaluating Social Equity in Transit Provision in Montreal”, 57th Annual North American Meetings of the Regional Science Association International, North American Regional Science Council, 2010, pp. 1-24.
 7. Delmelle, E. and Casas, I., “Evaluating the Spatial Equity of Bus Rapid Transit-Based Accessibility Patterns in a Developing Country: The Case of Cali, Colombia”, *Transport Policy*, Vol. 20, 2012, pp. 36-46.
 8. Tribby, C. P. and Zandbergen, P. A., “High-Resolution Spatio-Temporal Modeling of Public Transit Accessibility”, *Applied Geography*, Vol. 34, 2012, pp. 345-355.
 9. Dharmadhikari, N. and Zheng, Z., *Study of The Public Transit System Accessibility Based on the Average Opportunity Accessibility Measure: A Case Study of Fargo*, URISA, North Dakota, 2011.
 10. Kimpel, T. J., Dueker, K. J., and El-Geneidy, A. M., “Using GIS to Measure the Effect of Overlapping Service Areas on Passenger Boarding at Bus Stops”, *USIRA Journal*, Vol. 19, 2007, pp. 5-11.
 11. Currie, G., “Quantifying Spatial Gaps in Public Transport Supply Based on Social Needs”, *Journal of Transport Geography*, Vol. 18, 2010, pp. 31-41.
 12. 邱裕鈞、王銘德、黃彥斐，「臺灣地區公路客運供給與補貼之區域資源分配差異分析」，**運輸計劃季刊**，第 41 卷，第 4 期，民國 101 年，頁 399-434。

運輸計劃季刊稿約

- 一、本刊歡迎國內外有關運輸之工程、經濟、規劃、管理、資訊等未經刊登於其他刊物之中、英文研究論著；已刊登者，雖使用語文不同、題目更改、或內文經改寫，均不接受投稿。已於國內外會議發表之論文，不論有無收錄於其會議資料中，除經大幅修改者外，均請作者提附該會議主辦者之同意書，並於論文中加註說明。論文如屬接受公私機關團體委託研究出版之報告書之全文或一部分或經重新編稿者，作者應提附該委託單位之同意書，並於論文中加註說明。交通部運輸研究所同仁擬投稿件如屬所內已結案或未結案之計畫者，應依照本所出版品管理作業要點第十一條之規定辦理。凡由本刊主動邀稿者，不受上述各項限制。
- 二、為便於一次刊出，來稿以二萬五千字為限，其中應包括三百字以內之摘要一篇及三至五個關鍵詞，並請註明姓名、身分證字號、戶籍地址、服務單位、職稱、聯絡地址及電話。
- 三、中文稿之題目、作者姓名、摘要及關鍵詞均請附英文。文稿中需註釋處，請標明上標無括號序碼，並請從題目、作者介紹開始，往下連續編號，再於引註當頁下方加橫線排印註釋。文稿中之數學式，函數請排正體字，變數請排斜體字。圖及表中之中文字請排細明體，英文字請排 Times New Roman 體，圖原則上不加框，表之框線均採細線。
- 四、參考文獻請按出現序排列，文稿中提及時請標明上標加括號序碼，參考文獻必須是文稿所引用者始得列入，且參考文獻內容必須依本刊規定格式完整無缺列入。參考文獻中，英文之逗點、句點均採英國式排於引號外。本刊參考文獻編排規定格式及範例如下：
 - 1.期刊論文：作者姓名（姓在前名在後），論文篇名，期刊名稱，卷期，出版日期，起迄頁碼。
中文例：林楨家、李家儂，「用於都市地區活動分布之灰色 TOD 規劃模式」，**運輸計劃季刊**，第 34 卷，第 1 期，民國 94 年，頁 63-91。
英文例：Cervero, R. and Kockelman, K., "Travel Demand and the 3Ds: Density, Diversity, and Design", *Transportation Research A*, Vol. 2, No. 3, 1997, pp.199-219.
 - 2.圖書單行本：作者姓名，書名，版次（無則免列），出版社，出版地，出版日期。
中文例：黃芳銘，**結構方程模式：理論與應用**，第 5 版，五南圖書出版股份有限公司，臺北，民國 96 年。
英文例：Nunnally, J. C., *Psychometric Theory*, 2nd Ed., McGraw-Hill, New York, 1978.
 - 3.研討會論文：作者姓名，論文篇名，研討會/論文集名稱，冊別（無則免列），舉辦單位，出版日期，起迄頁碼。
中文例：溫傑華、藍武王、趙國婷，「國道客運車輛下層設置座位或臥鋪接受之研究」，中華民國運輸學會第 16 屆學術論文研討會論文集，第 1 冊，中華民國運輸學會，民國 90 年，頁 221-230。
英文例：Eberhart, R. C. and Kennedy, J., "Particle Swarm Optimization", *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, Vol. IV, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1995, pp.1942-1948.
 - 4.博、碩士論文：作者姓名，論文名稱，學校系所，出版日期。
範 例：陳勝智，「以大眾運輸導向發展理念進行車站地區都市再發展之探討」，成功大學都市計劃研究所碩士論文，民國 90 年。
 - 5.政府出版圖書/規範：政府機關名，圖書/規範名，出版日期。
範 例：交通部統計處，**中華民國交通統計年鑑**，民國 94 年。
 - 6.網頁資料：作者姓名/網頁機關名，文章篇名/連結主題名，網址，網頁下載日期。
範 例：交通部運輸研究所，「全國路況資訊中心」，<http://e-traffic.iot.gov.tw/>，民國 97 年。
 - 7.與以上所列文獻格式不同者，請改以註解方式列出。
- 五、來稿請備一式三份，打印清楚；照片、圖片請附寄原本，凡無法清晰辨認及製版者，恕不接受；並請提供 Microsoft Word 97（含以上）版本可讀檔案格式之電子檔。
- 六、運輸計劃季刊編輯室對來稿在不變更其論點之原則下有刪改權；來稿一經發表，當酌致稿酬；其他刊物如需轉載，應同時徵得作者及本所同意，並註明出處。
- 七、來稿請附本刊保證及授權書寄：10548 臺北市敦化北路 240 號 6 樓交通部運輸研究所運輸計劃季刊編輯室。

Transportation Planning Journal Quarterly GUIDELINES FOR THE SUBMISSION OF PAPERS

1. The Journal welcomes the submission of previously unpublished research papers from all countries, which are related to engineering, economics, planning, management, and information processing of transportation systems. Previously published papers, even if published in a different language, with a different title, or modified contents, will not be accepted. Unless drastically revised since conference presentation, papers which have been previously presented in domestic or international conferences, regardless of whether they had been included in the conference proceedings or not, must be submitted with a letter of consent from the conference organizer, and such a presentation must be duly noted in the paper itself. Papers which duplicate or contain portions of study reports of research projects, edited versions thereof, or funded by government agencies or private organizations, should be submitted with a letter of consent from the funding agency, and this must be duly noted in the paper itself. Papers submitted by the staff of the IOT should comply with its "Guidelines for Publications". The above terms do not apply to invited papers and articles.
2. The length of submitted papers should not exceed 25,000 characters/words, and should include an abstract of no more than 300 characters/words, as well as 3 to 5 key words, and the author's name and position, institution, contact address, and telephone number.
3. Papers written in Chinese should also carry an English version of the abstract, including the title of the paper, the name of the author, and key words of the paper. Notes should be numbered consecutively in the order in which they first appear in the text and should be started with the title and the introduction of the author(s). References listed should be limited to all those mentioned and quoted in the text, and should be numbered consecutively in the order in which they have been mentioned in the text. The Times New Roman font should be used for the English version. Print all the mathematical equations and functions. And variables should be typed in italics.
4. The guidelines of reference formats are as follows:
 - (1) Journal: authors (beginning with the last name), article title, journal title, volume number, publish date, and page numbers.
 - (2) Book: authors, book title, edition number, publisher, place of publication, publish date.
 - (3) Conference paper: authors, paper title, conference title, sponsor, publish date, and page numbers.
 - (4) Doctoral dissertation or master thesis: author, title of the dissertation/thesis, department, college, and publish date.
 - (5) Government publication: government authority, name of the publication, and publish date.
 - (6) Web page: author or authority, article title or related link, URL, date of downloading.
5. Papers should be submitted with three copies of manuscript typed in a clearly legible form and an electronic file accessible by the Microsoft Word 97 (and above). All graphs and photographs should be submitted in originals. No illegible submissions will be accepted.
6. The Editor's Office of the Transportation Planning Journal Quarterly (TPJ Quarterly) reserves the right to edit and make any changes to the submitted papers, provided that such editing changes do not alter the paper's original content. Upon the acceptance of a paper for publication, the TPJ Quarterly shall remunerate the author for the contribution of the paper. The TPJ Quarterly reserves the copyright on all of its published papers, and all reproductions of such papers must receive a prior permission of the author and this journal, and meanwhile indicate the sources.
7. All submissions should be sent to the following address:

The Editor's Office
Transportation Planning Journal Quarterly
Institute of Transportation
6F., No. 240, Dunhua N. Rd.,
Taipei City 10548, Taiwan (R.O.C.)

保證及授權書

茲保證本人著作「」
符合運輸計劃季刊稿約之規定，刊登後並授權中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）得以重製、公開傳輸、散佈方式利用本著作，且得授權第三人為相同之利用，並同意得提供予其他資料庫進行刊載及相同之利用，本人並承諾對中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）或其再授權利用之人不行使著作權。本人保證本著作無侵害他人著作權情事，如有違反，願就侵害他人著作權情事負損害賠償責任，並對中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）因此肇致之損害負賠償責任。本人承諾本著作經貴刊刊登後，不再以同一稿件，或將題目更改，或將內容改編，轉投其他國內、外刊物登載，如有違反，同意貴所得公布本人姓名並永不再接受本人投稿。此致
中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）
立保證及授權書人（所有作者均請簽章，姓名後註明身分證字號）：

中 華 民 國 年 月 日

LETTER OF GUARANTEE

This letter serves to guarantee that my paper entitled ' _____', conforms to the "Guidelines for the Submission of Papers" of the Transportation Planning Journal Quarterly, and that I hereby authorize the Republic of China (represented by the IOT of the Ministry of Transportation and Communications) and any third party to reproduce、public transmission、distribution my paper. I also agree my paper could be exchanged to the other database and to abandon the author's copyright to the Republic of China (represented by the IOT of the Ministry of Transportation and Communications) and users from the database. I guarantee that I did not infringe upon the copyright of the paper of any other person. If I violated this rule, I should take on the responsibility for compensation to the author and to the Republic of China (represented by the IOT of the Ministry of Transportation and Communications) accordingly. I guarantee that once this paper is published in the TPJ Journal, I will not make redundant or duplicate publication (i.e., submission of the same article, or with a different title, or modified content) to other journals or periodicals in the Republic of China or any other countries. I agree that in the event of any violation of the stated terms on my part, the IOT may announce my name in public and shall reject all my papers afterwards.

This guarantee is provided to the Institute of Transportation, Ministry of Transportation and Communications.

Signature (both author's and co-authors'):

Date: _____