

航運公司租櫃調度模式之研究

A Study of Leasing Reposition Model for Liner Shipping Company

黃明居 (Ming-Jiu Hwang)^{①*}、張嘉修 (Chia-Hsiu Chang)^②

摘要

由於全球貨櫃有四成多為租賃貨櫃，讓航運公司的租櫃政策成為相當重要的決策。過去提到租櫃的文獻皆以貨櫃調度為主，無法充分表達租櫃的特性，本研究提出四種在不同情形下調整租櫃數量的方法，明確分類出自有櫃、長租櫃與短租櫃的數量與成本考量，納入模式時間項的比較、長租櫃提前退租違約金簽定的考量、與不同市場需求的比較下，找出航商較理想之租櫃結構。本研究結果對航運公司租櫃政策提出在不同情形下長租櫃與短租櫃的數量配置建議，同時提供定期航商在貨櫃租用政策時調整租櫃數量與簽約的參考依據。

關鍵字：貨櫃調度、租櫃政策、長租櫃、短租櫃

Abstract

More than 40% containers globally are obtained by liner shipping companies via leasing contracts. This study proposes the optimizations of adjusting the quantities of self-owned, long-term leasing and short-term leasing containers under the four scenarios which consider time factor, the default penalty of long-term leasing containers and market demand. The results provide liner shipping companies the optimal repositions of long-term leasing containers and short-term

^{①*} 通訊作者，國立交通大學運輸科技與管理學系副教授；聯絡地址：新竹市大學路 1001 號，電話：03-5712121#31781；E-mail: mj.mj.hwang@gmail.com。

^② 國立交通大學運輸科技與管理學系碩士。

leasing containers under these scenarios. Some suggestions upon the quantities and contract signing of container leases are also provided in the end.

Keywords: Container reposition, Leasing policy, Long term leasing container, Short term leasing container

壹、前言

由於全球貨櫃有四成多為租賃貨櫃，讓航運公司的租櫃政策成為相當重要的決策。而過去提到租櫃的文獻皆以貨櫃調度為主，無法充分表達租櫃的特性，因此本研究提出四種在不同情形下調整租櫃數量的方法，明確分類出自有櫃、長租櫃與短租櫃的數量與成本考量，彌補過去貨櫃調度模式對於租櫃部分的不足，並首先將長租櫃之違約金納入研究的範疇中。

本研究主要對航運公司租櫃政策提出在不同情形下長租櫃與短租櫃的數量配置建議，同時提供航商在調整租櫃數量與簽約時的參考依據，適合定期航商制定貨櫃租用政策時的參考依據。

貳、文獻回顧

2.1 貨櫃調度政策與租櫃

在二十一世紀後，由於貨櫃數量的大增與交通擁擠的關係，開始有人提出減少每一貨櫃的閒置程度，提高每一貨櫃的

利用率以減少不斷租用貨櫃所增加的成本，但僅限於一對一的兩港口 (Li et al., 2004)，該模式後來則進一步擴充至多對多的港口上 (Li et al., 2007)。Jula et al. (2006) 在空櫃重新配置的議題上，提出重複使用的觀點，認為空櫃不一定要以港口為基礎才能連結需求點，反而要讓各需求點直接連結，減少多餘的貨櫃運送旅次，除了可降低內在的運輸成本外，還可降低外在的交通擁擠、空氣污染等成本。

另外，固定目的地的政策 (Fixed Destination Policy, FDP) 與不固定目的地的政策 (Dynamic Destination Policy, DDP) 的比較 (Song et al., 2011)，其中 DDP 指在不確定需求端時就先載運空櫃，FDP 則是傳統式作法，先確定需求端後再運空櫃過去，研究結果發現在需求不均衡的情況下，DDP 的效率會較 FDP 高得多。類似的概念是在各港口的倉庫保持一個安全的空櫃庫存量，以應付需求，同樣是在確定需求前就先在端點配置一定的空櫃量，並提升效率，但相關的研究在許多限制條件下才成立，例如假設每單位時間的需求是獨立之前提下 (Yun et al., 2010)。

2.2 演算法與模式

模式方面，Coslovich et al. (2006) 推翻過去不斷將模式做整合的概念，反而在探討貨櫃船隊管理的時候，將議題分成三個部分，分別是配對的定義、資源的指派，最後才是貨櫃的重新配置問題；Chandoul et al. (2009) 也提出類似的研究結果，認為將購買貨櫃的模式獨立出來不會影響最佳化的結果，反而加速求解的過程，提出模式最佳化不一定要靠整合模式的見解。

在解法方面，Shintani et al. (2007) 使用以基因演算法為基礎的啟發式解法，但是在假設需求不一定會被滿足的條件下求解，就航運業的角度來說是不可行的；Lam et al. (2007) 則使用動態隨機模式來解決貨櫃重新配置的議題，先以兩個港口與兩個航線為限，等到將模式改良成與實際情形差距不大時再擴充至多港口與航線，後來 Imai et al. (2009) 進一步發展至服務網路的設計與貨櫃的分配，並使用全球主要大港的數據加以驗證，同時也比較一般港口對港口的轉運 (Port-to-Port) 與轉運中心 (Hub-and-Spoke) 之間的差異，發現使用轉運中心不見得會增進效率，指出轉運中心的效率必須建立於大型船舶的使用，以及忽略船隊管理成本的條件下 (Imai et al., 2009)。系統化方面，目前可以視需求點的變動調整路線，但無法確實地考量時間的影響，還處於忽略運輸時間的狀態 (Bandeira et al., 2009)。

2.3 規劃期程的影響

Florez (1986) 曾建立以最大獲利為目標之空櫃配置模型，並討論到規劃期程的影響，並認為在他的研究案例中影響不大，但不見得適用於其他案例，必須同時考慮活動的密集程度 (Florez, 1986)。Dejax et al. (1992) 加入空櫃運送路徑之考量建立通用模式，認為規劃期程必須夠長，至少需足以涵蓋下一批空櫃的抵達與離開時間，例如 7~10 天，以 0.5 天為一單位 (Dejax et al., 1992)。根據 Crainic et al. (1993) 的看法，認為模式應該要重視規劃期程的長短，並認為空櫃的價值變化必須納入考量，但兩者沒有進行任何實際測試。

在實際應用上，Bregman (1991) 與 De Matta et al. (1995) 雖然使用不同方法，但都提出規劃期程的影響確實存在；Russell et al. (1993) 的實驗更證實拉長規劃期程有助於彌補預測的精確度；為了符合實際運送狀況，後續的空櫃研究則開始探討不同運具對空櫃運送的影響 (Holmberg et al., 1998)。Choong et al. (2002) 發展出一個整數規劃的模式來分配長租櫃與短租櫃的重新配置問題，目標為減少空櫃數之移動成本，根據 15 項假設建立限制式，討論在不同時間期程安排的效果，使用密西西比河盆地的資料，分成三個部分做驗證，分成 3、5、7 個貨櫃場站與貨運資料，檢視對空櫃之複合運輸產生的影響，並發現較

長的期程會促進空櫃運輸透過較便宜之運輸方式來執行回收工作，但會受到貨櫃站數量與位置的調節，並列出選擇時間期程必須要考慮三個面向，分別是：活動集中程度 (需求高低)、轉運時間 (運具特性)、期程長短所帶來之影響 (期限)。

2.4 小結

為探討航運公司租櫃政策，包括貨櫃種類與運具組合、規劃期程的影響、貨櫃探討重複使用觀點、演算法或模式比較等層面，現有文獻議題整理如圖 1 所示。

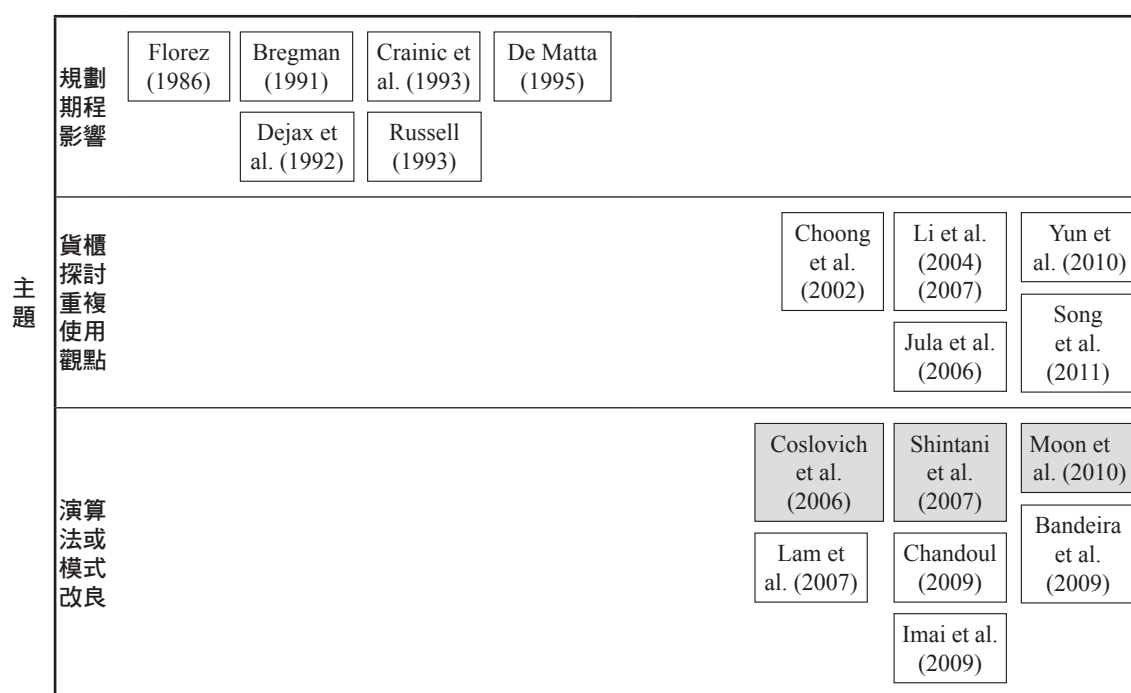


圖 1 文獻領域與時間關係圖

過去模式多將時間變數的考量簡化，即假設所有貨櫃的移動，不論數量、滿櫃、空櫃、甚至是移動距離等等，都會在一個時間單位完成，因此等同於不考慮個別時間單位。對於時間單位的考量主要集中在整體規劃期程的部分，例如 Choong et al. (2002) 將規劃期程分成 3~7 年考量；而本研究為突顯長短租櫃的不同，會以五年為一基準單位。

在貨櫃種類與船舶方面，出現為特殊種類貨櫃深入探討的文獻，但限於貨櫃種類與需求，數量不多，加上本研究主要針對一般航運公司的租櫃，而基於成本考量，一般航運公司不見得有相關業務，租櫃公司也不見得有特殊種類的貨櫃出租，因此特殊種類的貨櫃在本研究中會被排除。

空櫃的重複使用觀念是在貨櫃需求量大幅提升後才出現的概念，目的是盡可能減少轉運的次數以降低成本，年代較新的文獻幾乎都在探討相關的議題，而本研究所針對的租櫃部分也是該領域之一部分，也是引用文獻的主要來源，上述文獻為本研究之重要參考文獻。

2.5 租櫃市場概況

世界貨櫃租賃業在 1970 年代發展迅速，但至 1980 年代，停滯在 1990 年代貨櫃租賃產業發展成熟之前，整個租賃市場再次出現了延續好幾年的成長。自 2004 年起，許多貨櫃租賃公司又一次受到了更長期的市場週期調整過程和更巨大的市場價格波動的影響。

當市場出現波動，甚至是市場大幅波動，貨櫃大量剩餘的情況下，船公司會優先保證自有櫃的使用，退還多餘租櫃，因此租櫃公司的貨櫃最先成為船公司退租的目標。航運公司為控制貨櫃管理成本，會同租櫃供應商進行談判，通常會選擇以延長租櫃合約期限作為條件，同租櫃公司換取較低的租金費率，因此長租櫃的租用期間會隨著市場結構而改變，近幾年來說要保有長租櫃的低費率，通常要租用五年以上。對於租櫃公司來說，存在短期靈活租賃和長期租賃兩種經營方式。當處於衰退

階段時，一般來說長租比短租有利，但短租也有用武之地，兩者相結合，短租與長租結合的經營方式成為一種有效手段。

由表 1 顯示，日均租賃費率不斷下降，但未對整個行業的穩定成長產生多大的負面影響，這一費率的下降不僅只表現在以實際美元結算數額的下降，而且相對於新的貨櫃設備的價格來說也在下跌，主要原因是愈來愈激烈的市場競爭、營運經濟性的提高和融資成本的不斷下降。日均租賃費率的不斷下降最早源於貨櫃租賃業的早期，且從 1970 年代和 1980 年代初開始，就已經使得最初的原有投資回報率下降了一半，如附表 1 顯示，如今每 1,000 美元投資的日均租賃費率已下降到不足 0.40 美元 (以五年的標準租賃期為例)，這一趨勢同時吸引著航運公司使用更多的租櫃來彌補自有櫃數量的不足 (徐劍華、喻鑫，2008)

租櫃市場近來最大的衰退發生在 2001 年，由於在此之前租櫃市場存在大量的短期靈活租賃，使一些租櫃公司的貨櫃利用率跌到 70% 以下。因此在過去幾年來，租櫃公司迅速地把租櫃業務重心從短租轉移到長租，至 2008 年底，短期靈活租賃的櫃量所占比例跌進 20%，而長期租賃貨櫃的比例超過了 70% (吳翊、李欣，2009)。

表 1 1966~2007 世界貨櫃租賃情形

年度	租賃貨櫃數量 (TEU)	租賃貨櫃數量 成長率	利用率 (%)	租賃費率 (US\$)	租賃費率 成長率
1966	5,000	-	95	1.5	-
1970	120,000	2300.00%	85	1.5	0.00%
1974	465,000	287.50%	78	1.2	-20.00%
1978	1,030,000	121.51%	85	1.8	50.00%
1982	2,050,000	99.03%	80	1.85	2.78%
1986	2,315,000	12.93%	75	1.4	-24.32%
1990	2,755,000	19.01%	90	1.8	28.57%
1994	4,350,000	57.89%	87	1.35	-25.00%
1998	6,190,000	42.30%	81	0.85	-37.04%
2002	8,010,000	29.40%	83.5	0.6	-29.41%
2006	10,290,000	28.46%	92	0.7	16.67%
2007	12,901,000	25.37%	91	0.7	0.00%

資料來源：整理自 CI magazine/yearbook archive and CI Market Analysis 2009.

參、租櫃政策模式

3.1 貨櫃調度與租櫃概念

租櫃對於航運公司的意義，主要是用來彌補自有貨櫃數量之不足，如圖 2 所示，航運公司於 t 時期的總貨櫃量包括自有櫃、長租櫃、短租櫃。對於未來的需求，通常先決定自有櫃的數量，再用長租櫃與短租櫃來彌補自有櫃數量的不足，由於自有櫃通常會使用至毀損為止，因此自有櫃在每一個時間單位中都可能出現毀損之情形，相對於租櫃有租櫃公司會按期回收保養而言，租櫃在使用上較少出現毀損之情形 (此處之毀損指的是全損)。

在租櫃方面，長租櫃的特性是以五年為期，中途不可歸還，否則會負擔違約金等額外成本，但長期而言成本較低，如圖 2 中時間以一年為單位，則剛好在五年以後才可歸還。除此之外，若租借期超過五年，甚至到達六年以上之長租櫃，平均每日常使用成本亦不會再減少，因此航運公司在租借長租櫃通常以五年為期，而本研究也將長租櫃定義為五年，其餘則歸類為短租櫃。短租櫃的部分則可能隨時歸還，不須負擔違約金，短期而言較為便利，但平均每日常使用成本相對較高。由於短租櫃可以隨時彌補貨櫃調度來不及應付的需求，因此在現行貨櫃調度模式中的租櫃基本上侷限於短租櫃。

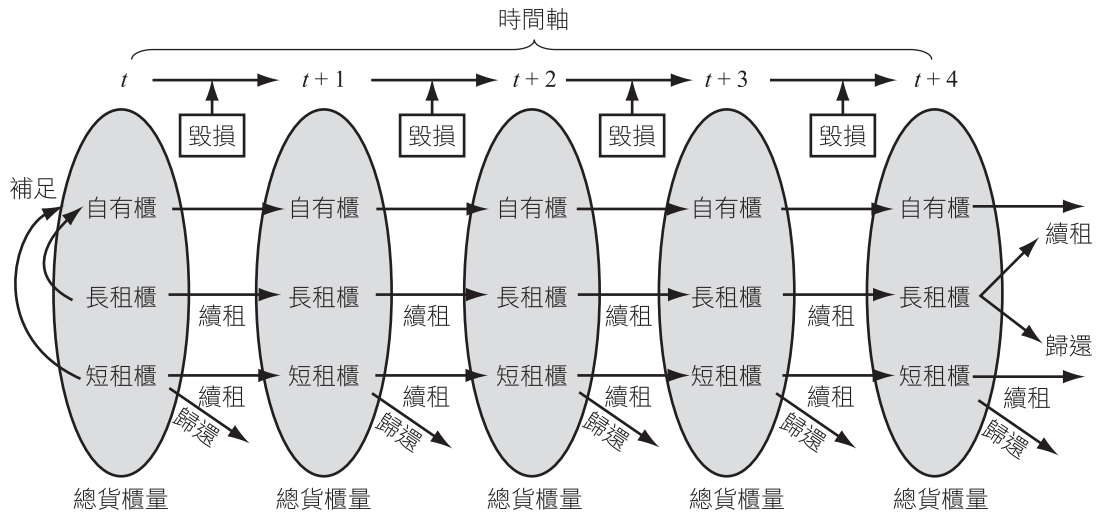


圖 2 實務租櫃操作流程

3.2 貨櫃數量配置模式

模式之變數配置，分別歸類為指數部分、參數部分、決策變數部分，其中指數代表時間、貨櫃類型、新舊程度等等，參數則代表各種成本、限制、毀損率等等，最後決策變數為自有櫃購買數量與長短租櫃的租用數量，如表 2 所示。

目標函數：

目標函數以最小化成本為主，包含購買自有櫃的成本乘以購買自有櫃數量、短租櫃的租用成本乘以短租櫃數量、長租櫃的租用成本乘以長租櫃的數量：

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{v=1}^2 \sum_{y=1}^Y (PC_{vy} \times p_{vy}) + \\ & + \sum_{v=1}^2 \sum_{s=1}^2 \sum_{t=1}^T (LC_{vst}^{stl} \times STL_{vt}) \\ & + \sum_{v=1}^2 \sum_{s=1}^2 \sum_{t=1}^T (LC_{vst}^{ltl} \times LTL_{vt}) \end{aligned}$$

限制式：

限制式 (1) 代表的是需求的滿足，即各類型貨櫃在考量可能的毀損情形後，轉換成 20 呎貨櫃 (TEU)，至少要大於等於實際所使用的，因為貨櫃調度通常會出現空櫃往返的情形，代表所投入的貨櫃數量，通常會大於實際使用的數量，因此會控制實際投入的貨櫃數量比實際使用的貨櫃數量還多：

$$\begin{aligned} & \left[\sum_{v=1}^2 (STL_{vt} \times SC_v^l) + \sum_{v=1}^2 (LTL_{vt} \times SC_v^l) \right. \\ & \left. + \sum_{v=1}^2 (N_{vt} \times SC_v^n) \right] \times TEU_v \quad (1) \\ & \geq \sum_{v=1}^2 D_{vt} \times TEU_v \quad \forall v, t \end{aligned}$$

限制式 (2) 與 (3) 也是代表需求的滿足，但是按照類型分為 20 呎貨櫃與 40 呎貨櫃的部分，(2) 代表 20 呎貨櫃的部分，

表 2 指數與參數變數設置

指數	定義
t	規劃期間之時間項, $t = 1, 2, 3, \dots, T$
y	自有櫃之時間項, 限定為年單位, $y = 1, 2, 3, \dots, Y$
v	貨櫃的類型, $v = 1, 2$, 分別代表 20 呎標準櫃與 40 呎標準櫃
s	貨櫃的新舊程度, $s = 1, 2$, 影響租賃的成本
m	代表連續的規劃期間, 屬於自然數
參數	定義
LC_{vs}^{tl}	在第 t 時期長期租用新舊程度 s 類型 v 貨櫃之成本
LC_{vs}^{stl}	在第 t 時期短期租用新舊程度 s 類型 v 貨櫃之成本
p_{vt}	在第 y 時期使用 v 類型自有貨櫃之成本
C_{vt}	在第 t 時期類型 v 之貨櫃的購買額限制
D_{vt}	在第 t 時期對 v 類型貨櫃之需求
SC_v^l	類型 v 之租賃貨櫃 (l) 的毀損率 ^③
SC_v^n	類型 v 之自有貨櫃 (n) 的毀損率
TEU_v	類型 v 之貨櫃當量 (TEU), 如 40 呎貨櫃可換算成 2 個 20 呎貨櫃
N_{vy}	類型 v 之貨櫃在第 y 年自有櫃的總數, y' 代表上一期間的自有櫃數量
R_{dt}	在第 t 時期長租櫃數量的調整變數, d 代表不同需求型態, $d = 1, 2, 3, 4$
SD_{vt}	在第 t 時期的租櫃需求, 等於總需求扣除自有櫃數量, 即 $D_{vt} - N_{vt}$
Rank	代表某一數列中, 最大值所在的序位 ^④
決策變數	定義
PC_{vt}	在第 y 年購買類型 v 貨櫃之數量
STL_{vt}	在第 t 時期短期租用類型 v 貨櫃之數量
LTL_{vt}	在第 t 時期長期租用類型 v 貨櫃之數量

同樣考量可能的毀損率之後, 必須滿足針對 20 呎貨櫃的需求, 主要是貨物會因本身特性的不同, 會有其較適合的貨櫃類型, 例如貨物本身的大小與碰撞的考量等等, 限制式 (3) 則是針對 40 呎的貨櫃需求達到滿足:

$$STL_{vt} \times SC_v^l + LTL_{vt} \times SC_v^l + N_{vy} \times SC_v^n \geq D_{vt} \quad \forall t, v = 1 \quad (2)$$

$$STL_{vt} \times SC_v^l + LTL_{vt} \times SC_v^l + N_{vy} \times SC_v^n \geq D_{vt} \quad \forall t, v = 2 \quad (3)$$

^③ 根據實際訪問的情形, 由於貨櫃的毀損與否是取決於「維修成本」是否合算。對於自有櫃而言, 第五年之後自有櫃的殘值為 0, 因此甚至不需進行報修估價就可直接判定為報廢, 但租櫃則不然, 必須將需賠償給租櫃公司的金額與報修估價的金額進行比對才可判斷是否報廢或進行維修, 因此在實務上通常自有櫃的毀損率會另外統計。

^④ Rank(X) 為一簡易函數, 功能在取出一連續數列中最大值所出現的位置, 例如一數列 $X = (10, 20, 5)$, 此時每一數值分別代表的依序為 1~3, 而該數列之最大值为 20, 故將數列 X 代入函數 Rank(X) 的結果將產生: Rank(X) = Rank(10,20,5) = 2。

限制式 (4) 代表自有櫃購買數量的限制，實務上航運公司可購買之貨櫃數量通常會受到資本額度的限制，即每一年會編列一筆預算可用於購買新造櫃。因此設定一上限額度限制購買櫃數量，從模式上來看，自有櫃之長期平均成本最低，因此需要一個限制存在，否則模式輸出結果會變成所有貨櫃都是自有櫃；在期間方面，由於自有櫃與租櫃不同，不是取用現成的貨櫃，而是向造櫃工廠下訂單，期間還需等待排單、製造、取貨等等流程才可使用，因此將自有櫃的變動期間設定為一年期：

$$\sum_{v=1}^2 PC_{vy} \leq \sum_{v=1}^2 C_{vy} \quad \forall y \quad (4)$$

限制式 (5) 是自有櫃數量的變動，以一年為單位，代表本期的自有櫃會等於上一期的自有櫃數量乘以毀損率後，再加上上一期預訂購入的自有櫃數量：

$$N_{vy} = PC_{vy} + N_{vy'} \times SC_v^n \quad \forall v, y \quad (5)$$

限制式 (6) 是長租櫃的計算方式，同樣在考慮毀損率後，會視需求的趨勢而有不同的調整計算方式，其中 R_{dt} 為調整變數，計算方式詳見限制式 (9)：

$$LTL_{v, t+1} = R_{dt} + LTL_{vt} \times SC_v^l \quad \forall v, t \quad (6)$$

限制式 (7)、(8) 為計算短租櫃的數量，由於短租櫃是用來彌補需求與自有櫃、長租櫃之間的需求缺口，因此計算方式較簡易，同樣在考慮毀損機率後，用貨

櫃的需求數量扣除自有櫃與長租櫃的數量，不過當自有櫃與長租櫃可以滿足需求時，短租櫃數量則直接取 0：

$$STL_{vt} = (D_{vt} - N_{vy} - LTL_{vt}) \times SC_v^l \quad (7)$$

$$\text{for } STL_{vt} > 0 \quad \forall v, t$$

$$STL_{vt} = 0 \quad \text{for } (D_{vt} - N_{vy} - LTL_{vt}) \leq 0 \quad \forall v, t \quad (8)$$

限制式 (9) 則是調整長租櫃計算的方式，會視需求的趨勢而有不同的計算方式，根據實務上對租櫃的操作過程，會以最大需求為標的，例如已知某個特定時期會有 100 個貨櫃需求，則從現在起逐步準備貨櫃以應付該需求，但增加過程的控制沒有一個特定的規則，視負責人員與租櫃公司的協商而定。因此模式按照實務操作流程與本研究自行設計出四種數量控制方式，再經由數據計算後，會依照結果分類出哪一類型的需求趨勢會適用於哪一種計算方式，不同特性會在後續模擬分析中一併說明；這些公式的本質上都是用來計算當年度的長租櫃數量，並透過預測未來四年的需求趨勢控制長租櫃的成長數量：

$$R_{1t} = \frac{\text{Max}(SD_{vt}) - \text{Min}(SD_{vt})}{m} \quad (9.1)$$

$$\forall v, t = 1, 2, \dots, m$$

$$R_{2t} = \frac{\text{Max}(SD_{vt}) - SD_{vt}}{m} \quad (9.2)$$

$$\forall v, t = 1, 2, \dots, m$$

$$R_{3t} = \frac{\text{Max}(SD_{vt}) - \text{Min}(SD_{vt})}{\text{Rank}[\text{Max}(D_{vt} - N_{vt})]} \quad (9.3)$$

$\forall v, t = 1, 2, \dots, m$

$$R_{4t} = \frac{\text{Max}(SD_{vt}) - SD_{vt}}{\text{Rank}[\text{Max}(D_{vt} - N_{vt})]} \quad (9.4)$$

$\forall v, t = 1, 2, \dots, m$

舉例說明限制式 (9) 的變化，假設有五個時期的需求，依序為 200、100、300、500、400，為方便理解，假定現有自有櫃數量為 0，且無購入動作，此時 $D_{vt} - N_{vt} = D_{vt} = SD_{vt}$ ，而 R_{dt} 的情形分別為： $R_{1t} = (500 - 100)/5 = 80$ ， $R_{2t} = (500 - 200)/5 = 60$ ， $R_{3t} = (500 - 100)/4 = 100$ ， $R_{4t} = (500 - 200)/4 = 75$

限制式 (10) 限制變數的數值類型與符號，基本上所有的變數皆大於等於 0，所有關於貨櫃數量的變數則為整數解：

$$\begin{aligned} &D_{vt}, LC_{vs}^{ll}, LC_{vs}^{stl}, LTL_{vt}^{\text{penalty}}, P^{LTL}, p_{vt}, \\ &C_{vt}, SC_v^l, SC_v^n, TEU_v, R_{dt} \geq 0 \quad (10) \\ &\forall STL_{vt}, LTL_{vt}, PC_{vt}, N_{vt} \in \text{integer} \end{aligned}$$

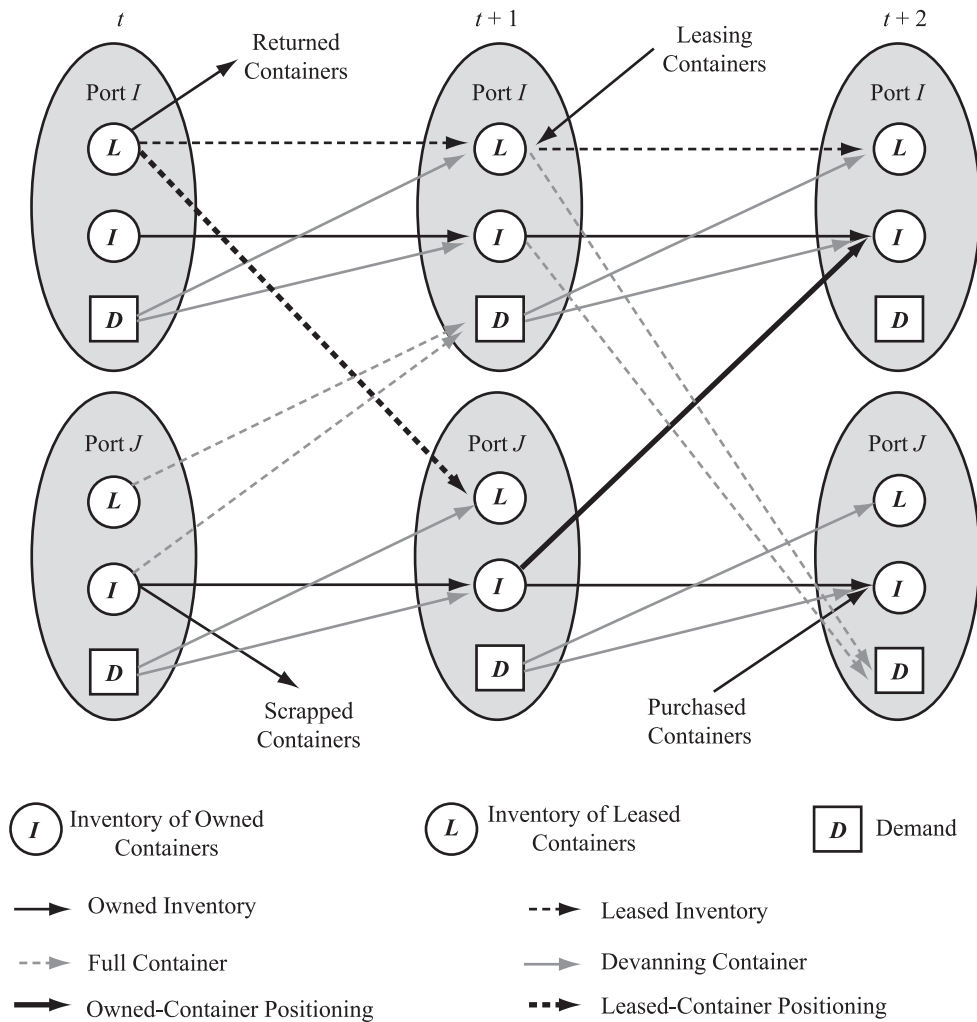
肆、求解流程

在解法方面，過去文獻幾乎都以最小化成本為目標，直接計算出特定時期的最佳貨櫃數量，優點是在目標時期的確可以達成成本最小的目標，卻忽略了實務上的操作步驟無法一次完成，以 Moon et al. (2010) 的文獻為例，過去將貨櫃分成自有

櫃與租賃貨櫃兩方面，其整體貨櫃調度的過程如圖 3 所示。

圖中所使用之符號 “I”、“L”、“D” 分別代表自有貨櫃的庫存量、租用櫃的庫存量與需求，另外各線段則分別代表不同型態的貨櫃流動，自左上至右下依序分別為自有或貨櫃庫存 (Owned Inventory)、整櫃 (Full Container/Full Container Load/FCL)、自有貨櫃的重新配置 (Owned-Container Positioning)、租用櫃的庫存 (Leased Inventory)、從整櫃狀態卸貨後變成空櫃的貨櫃 (Devanning Container)、租用櫃的重新配置 (Leased-Container Positioning)，其中 Devanning Container 一詞源自於現代商船株式會社 (Hyundai Merchant Marine Company)。模式中的 t 代表時間變項，會因為規劃期程的不同而有不同的時間長度，例如週、月、年等等，而隨著時間的移動 ($t + 1$)，貨櫃也跟著調度至不同的港口或狀態上的改變，而 Moon et al. (2010) 的目標式主要包含的成本項有處理成本、運輸轉運成本、持有成本、貨櫃租賃成本、購買成本五大項，並將各項成本進一步細分為變動成本與固定成本兩部分加以計算。

該模式聲稱可同時考量計算長短租櫃的部分為時間項目，在其貨櫃租賃的成本項設定中未見長短租櫃的不同成本，僅有在不同港口租回的成本不同。此外，該模式雖然可考量多種不同貨櫃種類，但無法明確計算出應有多少長租櫃與短租櫃，僅



資料來源：(Moon et al., 2010)

圖 3 貨櫃在不同時期的移動示意圖

能表達單一租櫃數量，此為現行貨櫃調度模式之不足。

而本研究在訪問航運公司後得知，實務上並非先確認所有需求點後再執行貨櫃調度的動作，而是先以各季的訂單比例為基礎，估算未來年度的總需求，並先行儲備充足的貨櫃備用，之後才是按照各個不同需求點的差異執行貨櫃調度的動作。研

究求解方面是依據實務上的操作流程為基礎求解，但數據方面因受訪之航運公司基於商業機密，不方便公開實體數據，在資料不易取得的情形下，本研究使用臺灣地區所有國際商港的貨櫃流量總和作為研究數據，並假定臺灣地區國際商港的貨櫃皆為同一家航商所有，即將出口與進口貨櫃加總，此假設雖無法實際反應實質需求，

但本研究的重點在於將實務上貨櫃數量調整的動作加以模式化，因此模式測試主要部分在其需求趨勢。

求解流程採用與實務操作上一致的階段性求解過程，即先行確認需求後，再判斷自有櫃的數量與需求的落差，最後與租櫃公司協調承租的貨櫃種類與數量。

租櫃數量的配置模式求解流程如圖 4 所示。

每一步驟的計算流程則如圖 4 所示，並分述如下：

Step 1 確定貨櫃的總需求，此時不分自有櫃、長租櫃或短租櫃，此時會將不同之貨櫃種類分開計算。

Step 2 計算現有可用的貨櫃數量，包含新買進之貨櫃與之前就擁有的自有貨櫃數量，並扣除自有櫃的毀損。

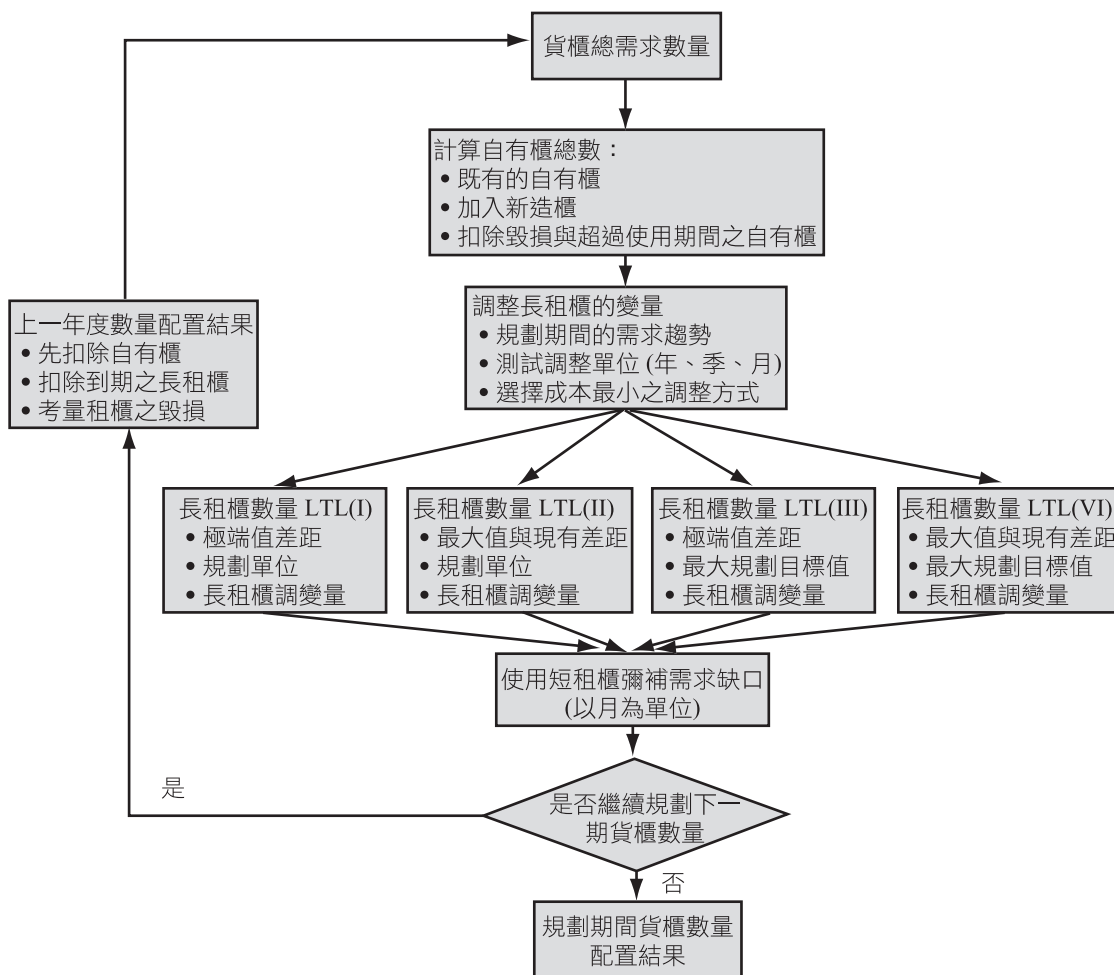


圖 4 計算流程示意圖

- Step 3** 計算長租櫃的調整變數，會依照總成本的最小來選擇使用的計算方式，以及規劃時間的劃分(月、季、年)。
- Step 4** 根據不同的長租櫃調整方式計算出應有的長租櫃數量，並計算出長租櫃的數量，分成四種衡量方式。
- Step 4.1** 即限制式 9.1 的估算方式，以下簡稱為 LTL(I)，即從規劃期間內找出最大值與最小值後，再除以該規劃期的劃分數量，所得之值進位為整數後即為長租櫃調整變量，之後按照規劃期間增加長租櫃的數量。
- Step 4.2** 即限制式 9.2 的估算方式，以下簡稱為 LTL(II)，即從規劃期間內找出最大值與現有長租櫃數量後，再除以該規劃期的劃分數量，所得之值進位為整數後即為長租櫃調整變量，之後按照規劃期間增加長租櫃的數量。
- Step 4.3** 即限制式 9.3 的估算方式，以下簡稱為 LTL(III)，即從規劃期間內找出最大值與最小值後，再找出最大規劃期目標值之序數，並除以該序數，所得之值進位為整數後即為長租櫃調整變量，之後按照規劃期間增加長租櫃數量，但僅增加到最大值的序數為止。
- Step 4.4** 即限制式 9.4 的估算方式，以下簡稱為 LTL(VI)，即從規劃期間內找出最大值與現有長租櫃數量後，再找出最大規劃期目標值之序數，並除以該序數，所得之值進位為整數後即為長租櫃調整變量，之後按照規劃期間增加長租櫃數量，但僅增加到最大值的序數為止。
- Step 5** 剩下的需求缺口就會用短租櫃來彌補，此時皆使用月為單位調整，配合 Step 4 的結果，即該規劃期內每月的貨櫃數量配置結果。
- Step 6** 判斷是否繼續下一期的規劃，繼續則接 Step 7，否則結束。
- 每一規劃期執行的結果會依照影響到下一規劃期的運行，而下一規劃期的起始值會先扣除上一規劃期的短租櫃與到期之長租櫃部分，因此不見得每一規劃期的計算方式都會相同。

4.1 模式驗證與情境分析

實驗數據來源主要參考中華民國統計資訊網 (2011)，臺灣國際商港之貨櫃進出口總量作為需求值，而模式所做之自有櫃、長租櫃與短租櫃等貨櫃數量配置則用於滿足該需求，由於模式中自有櫃受到資本的控制，因此自有櫃的影響相對較小，加上本模式的主要目的是將長租櫃數量劃

分出來，並與過去貨櫃調度模式中的租櫃部分做區別，因此首先只計算長租櫃與短租櫃的成本部分。

本研究設計之模式不同於現行貨櫃調度模式，兩者之目標式與特性都不同，因此不適合使用總輸出結果來比較優劣，只取出現行貨櫃調度模式中對於自有櫃、長租櫃與短租櫃的成本計算來比較，而現行貨櫃調度模式無法分辨出長租櫃與短租櫃，僅可將總貨櫃數量分出自有櫃與一般租櫃的數量，因此成本的計算包含自有櫃與短租櫃兩部分。本研究模式則涵蓋了自

有櫃、長租櫃、短租櫃等三個部分，因此將貨櫃的成本項目做更詳細的分類，成本的計算也更接近實務的成本計算方式。

成本計算是按照自有櫃數量乘上自有櫃使用成本，長租櫃數量乘以長租櫃使用成本、短租櫃數量乘以短租櫃使用成本之總和來衡量，但現行貨櫃調度模式的僅有自有櫃與短租櫃兩項。以 Moon et al. (2010) 的文獻為例，現行貨櫃調度模式將貨櫃分成自有櫃與租賃貨櫃兩方面。成本計算以年度為單位，兩者比較結果分別如表 3 所示。

表 3 成本差距比

年度	現行貨櫃調度模式	本研究模式	差距	%
2001	\$2,487,807,957.60	\$2,043,659,667.60	\$444,148,290.00	17.85%
2002	\$2,392,884,410.40	\$1,898,857,778.40	\$494,026,632.00	20.65%
2003	\$2,507,356,440.00	\$1,994,567,328.00	\$512,789,112.00	20.45%
2004	\$3,244,768,891.20	\$2,739,748,363.20	\$505,020,528.00	15.56%
2005	\$3,360,140,038.80	\$2,932,287,904.80	\$427,852,134.00	12.73%
2006	\$3,017,340,529.20	\$2,475,240,595.20	\$542,099,934.00	17.97%
2007	\$3,634,438,626.00	\$2,995,772,076.00	\$638,666,550.00	17.57%
2008	\$3,558,343,856.40	\$3,003,971,396.40	\$554,372,460.00	15.58%
2009	\$2,552,261,274.00	\$2,267,156,466.00	\$285,104,808.00	11.17%
2010	\$4,984,308,622.80	\$4,594,539,952.80	\$389,768,670.00	7.82%

資料來源：行政院主計處，2011 各國際商港貨物吞吐量。

由此可知貨櫃調度模式對於租櫃的考量限於短租櫃時，與實際租櫃成本的差距，也可從此看出對於長租櫃成本從自有櫃切割出來的重要性，可見本研究之模式比起現行貨櫃調度模式，可以更接近實務上的成本衡量。表 4 為 2001~2010 年 20 呎、40 呎的租櫃市場價位表。

4.2 模擬分析時間基準 (t)

在貨櫃調度模式中，每個模式的時間項 (t) 涵義都不同，從 3.5 天、7 天、月、季、年等等，都是為了突顯各自模式欲表達之特性，由於所提出之模式，沒有可供參考之時間分割涵義，加上可獲得資料的限制，至多只能取得以月為單位之資料型

表 4 平均每日租櫃費率

年度	20 呎標準櫃		40 呎標準櫃	
	短租櫃	長租櫃	短租櫃	長租櫃
2001	0.70	1.10	1.10	1.75
2002	0.60	1.05	0.95	1.65
2003	0.60	1.05	0.95	1.65
2004	0.80	1.20	1.25	1.90
2005	0.85	1.20	1.35	1.90
2006	0.65	1.10	1.05	1.75
2007	0.65	1.10	1.05	1.75
2008	0.75	1.20	1.20	1.90
2009	0.65	0.90	1.05	1.45
2010	0.95	1.20	1.55	1.90

資料來源：Containerisation International (2010).

態，因此分別以月、季、年為不同切割單位測試本模式之時間項 (t)，依照輸出的總成本決定較適合本模式之時間特性。

為了測試新模式本身的表現，以相同數據帶入模式中測試長租櫃調整係數，並以月、季、年為不同切割單位測試。為了比較時間單位的分割對計算的影響，先將不同計算單位的總成本按照 2001~2006 六年的綜合與比較如圖 5 所示。

為方便表示，將原模式中限制式 (9.1)、限制式 (9.2)、限制式 (9.3)、限制

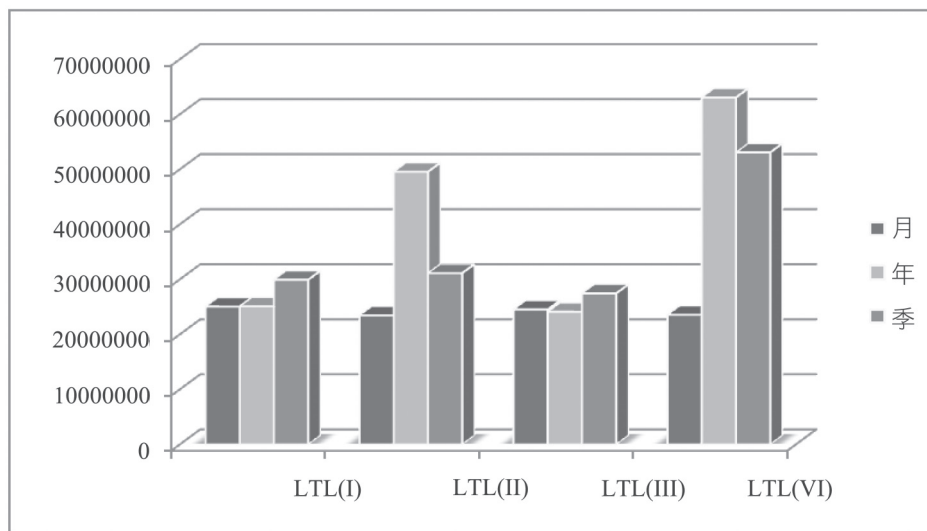


圖 5 不同時間單位對結果的影響比較

式 (9.4) 所對應的情形依序以 LTL(I)、LTL(II)、LTL(III)、LTL(VI) 表示。

就總成本的穩定程度來看，以月為計算基準較為穩定，以季為計算基準則在 LTL(VI) 的部分呈現大幅增加，以年為基準則在 LTL(II) 與 LTL(VI) 都偏高，因此

穩定度不佳。上述時間基礎是以 20 呎貨櫃為基準所測試出，而 40 呎貨櫃的部分由於結果與 20 呎一致，亦為以月為單位較佳，因此後續分析將以月為計算的基準單位。

4.3 對應需求變動之租櫃數量配置

由於過去 10 年的需求差異不大，因此在租櫃需求的部分皆分布於 1,300,000 ~ 2,300,000 TEU 的範圍，而根據租櫃需求的範圍，可找出在不同計算方式下之長短租櫃的數量比，該數量比則會因計算方式的不同而有很大的差異，但主要的方向皆為將短租櫃的數量最小化，達成成本最小化之目標。

為方便說明租櫃結構，並突顯 LTL(I) ~ LTL(VI) 的差異性，故以長租櫃與短租櫃比例為縱軸，對應至目標需求後繪成圖形。

LTL(I) 的計算下得到的數量比變化程度最大，主要是 LTL(I) 的成長是最緩慢的，而模式起始的長租櫃數量為零，造成前面數年的短租櫃數量是長租櫃的好幾倍，而成本也會因此而上升，如圖 6 中 A 點所示。

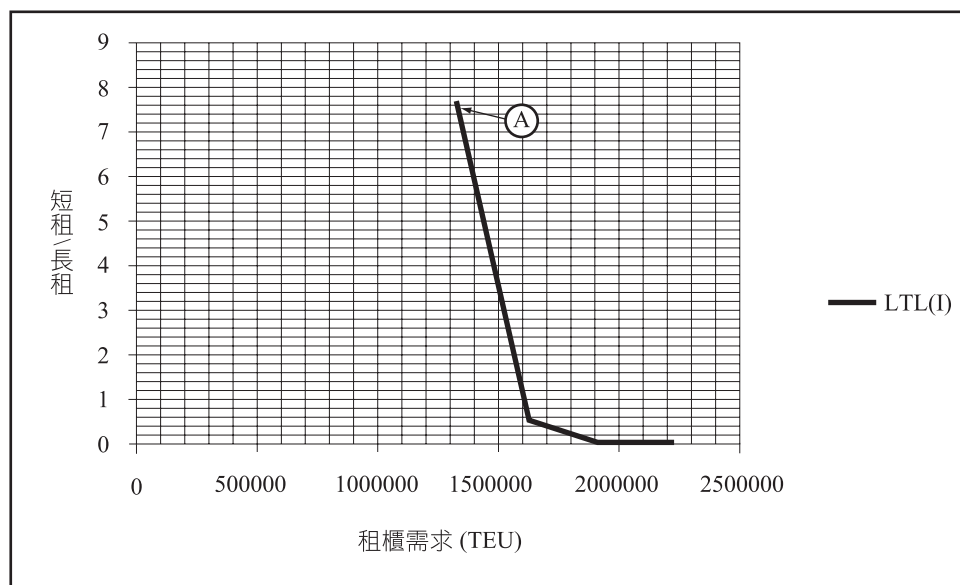


圖 6 不同租櫃需求下對應的租櫃結構——LTL(I)

因此可以推估，若航商一開始未持有長租櫃的話，就不要先使用 LTL(I) 的計算方式，可選用其他的計算方式做調整，但反過來說，若航商一開始就持有相當數量之長租櫃，只是需要微調長租櫃的數量，且預測未來需求為緩緩成長時，則建議使

用 LTL(I) 之計算方式。

LTL(II) 的計算方式是使用最大值與現值的差異做均值調整，因此不論一開始是否持有長租櫃，皆可以控制長租櫃的數量一直大於短租櫃的數量，但一開始的數值依然會較極端，即圖 7 中 A 之處。而圖

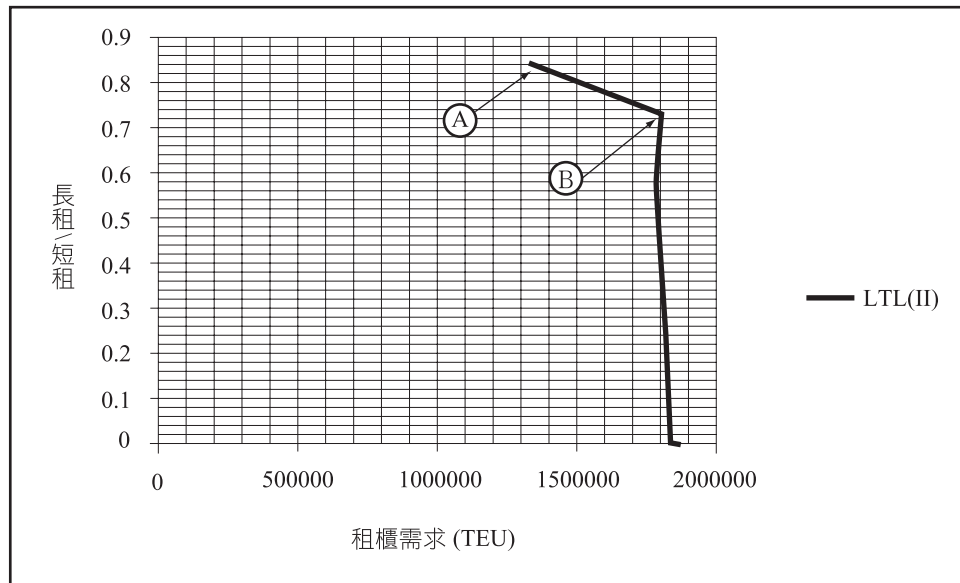


圖 7 不同租櫃需求下對應的租櫃結構——LTL(II)

7 中的點 B 為變化最大的點，則是因 2006 年的需求突然下降至三年前的水平所致，其餘需求變化皆為緩緩成長，恰好與當初 LTL(II) 之設計相符，因此結果較理想。從結果來看，可推估航商若一開始未持有大量長租櫃，且需求變化又不大，呈現緩緩成長的幅度時，則建議使用 LTL(II) 的調整方式。

LTL(III) 的設計是用來計算需求變化很小的情形，基本設計與 LTL(I) 較為相似，但不同的是，會用最大值的序數來調整變量，因此會比 LTL(I) 更能反應需求的變動。因此在一開始長租櫃數量為零時，租櫃結構與 LTL(I) 一樣較不理想，但結構之偏誤沒有像 LTL(I) 一樣大，LTL(I) 的結構比最極端為 7.64，但 LTL(III) 最大為

3.36 (圖 8)，不到 LTL(I) 的一半。從結果可以推估，LTL(III) 與 LTL(I) 相似，但在需求的反應上會比 LTL(I) 快，因此在航商一開始就持有相當數量之長租櫃，只是需要微調長租櫃的數量，且預測未來需求為短期內成長迅速時，則建議使用 LTL(III) 之計算方式。

LTL(VI) 的計算方式最初的设计為需求大幅度成長時所使用，但測試結果發現即便不是大幅度成長亦可適用，即使是小幅度的增長趨勢，都會出現圖 9 中點 A 之斜線，使得租櫃的結構對租櫃的需求較敏感。但長租櫃的租期到期時，會來不及反應長租櫃的變動趨勢，即圖 9 中點 B 的情形，甚至在需求下降時，會造成租櫃的結構不理想，如 2006 年的需求突然下降，

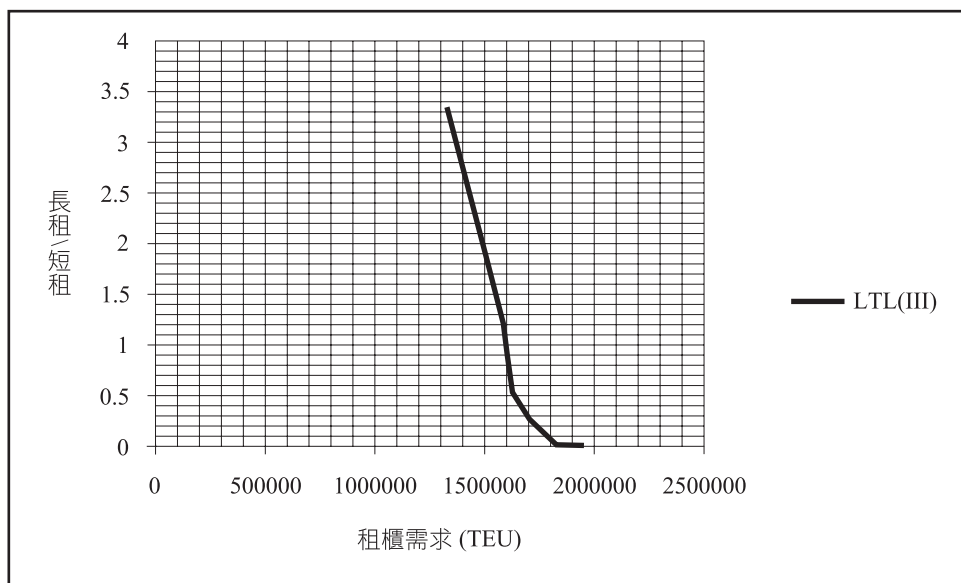


圖 8 不同租櫃需求下對應的租櫃結構——LTL(III)

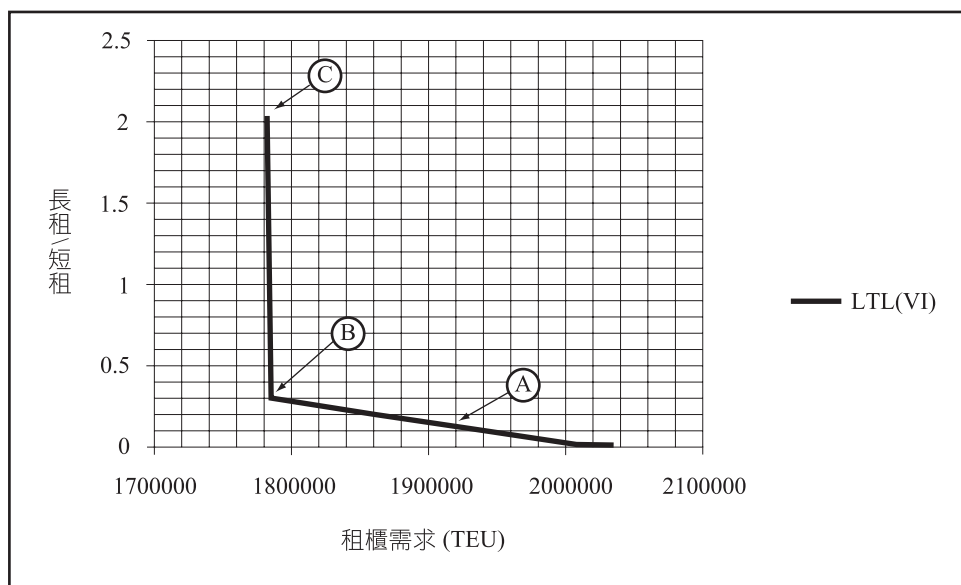


圖 9 不同租櫃需求下對應的租櫃結構——LTL(VI)

加上第一批的長租櫃到期退租的緣故，租櫃的結構就會呈現圖 9 中點 C 的情形。

整體來說，本研究提供的四種長租櫃

配置的方式，可依照航運公司情形的不同而採用不同的計算方法，主要選擇的依據有目前航運公司是否持有大量長租櫃以及

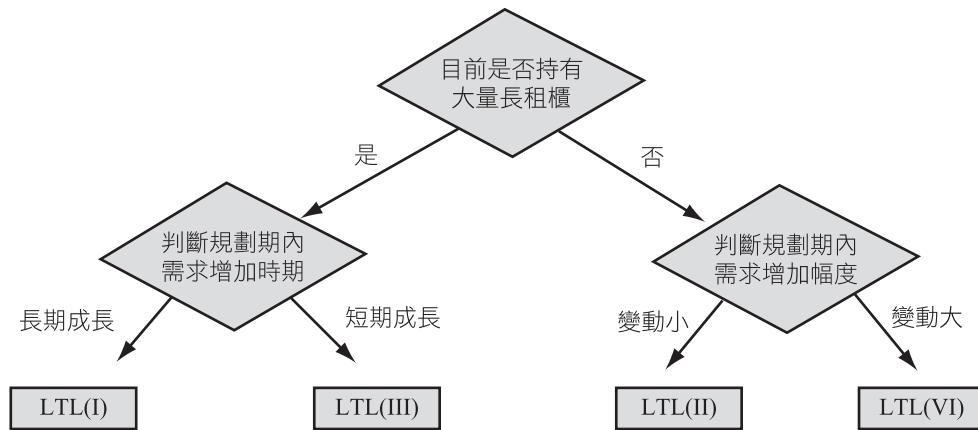


圖 10 判斷流程圖

未來需求的成長趨勢，選擇計算方法的整理如圖 10 所示。

首先航商須先判斷目前是否持有大量長租櫃，再判斷規劃期內的需求成長的時期分部或是規劃期內需求成長的變動幅度，判斷標準為：

- Step 1** 若現有租櫃數量中有半數以上為長租櫃，判斷為是，接 Step 2，若為否，接 Step 3。
- Step 2** 判斷需求成長的規劃期間是否出現在規劃期的前幾期，若需求高峰出現在規劃期的前半，則判斷為短期成長，為 LTL(III)，若不是則為 LTL(I)。
- Step 3** 判斷需求變動的幅度，若規劃期內為穩定成長，則使用 LTL(VI)，若規劃期內需求有下滑的傾向，則使用 LTL(II)。

4.4 長租櫃違約金容許範圍

由於長租櫃在一般情形下成本會比短租櫃低許多，但是就長期來看，長租櫃也有可能對航商造成更大的成本負擔，主要是長租櫃有違約金的部分，而違約金是每次航商向租櫃公司承租貨櫃時所簽訂的契約而定，並非一定值，因此本節的重點在找出航商在哪些價格比例之下可以接受的最大容許範圍為租金的多少百分比。

以過去 10 年來的每日使用成本而言，長租櫃的價格約為短租櫃的 57.58% ~ 81.58%，但長租櫃的使用會受限於五年，因此航運公司在簽約時可初步估計在未來的五年中，在第幾年違約的可能性較高，而有不同的違約金接受底線，在圖 11、圖 12 中，每一曲線分別代表在不同年度可退租時，航運公司可以接受的違約金範圍。

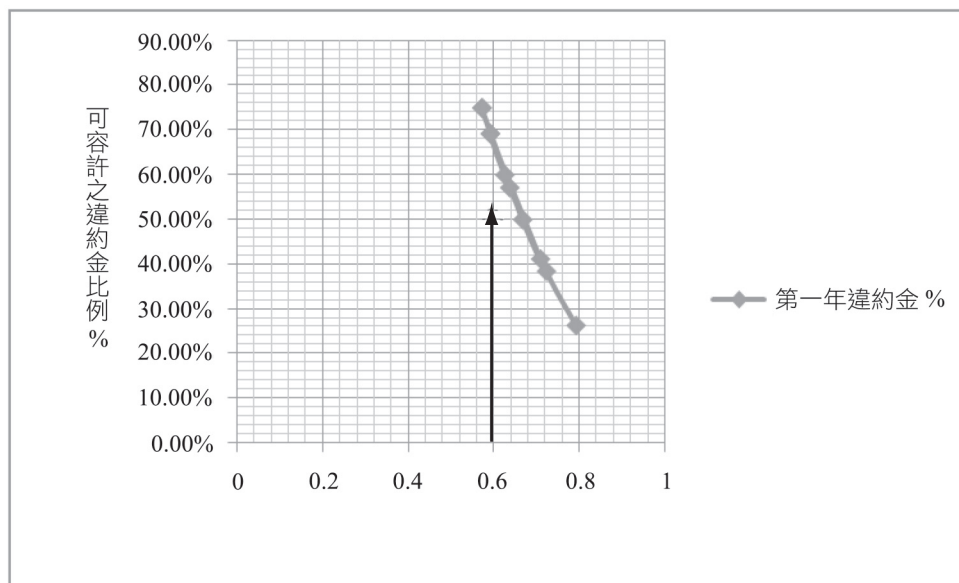


圖 11 長短租價格變動對違約金範圍的影響簡例

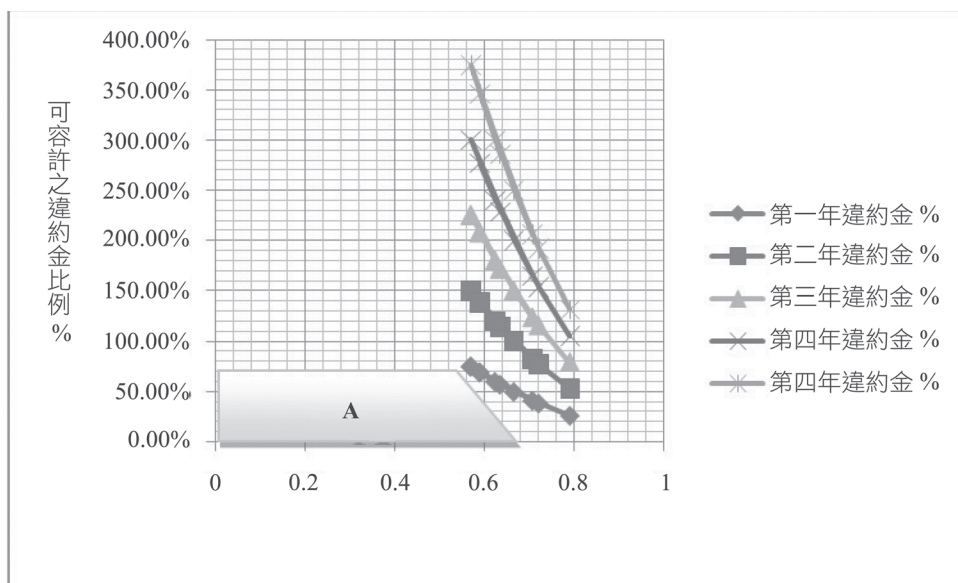


圖 12 長短租價格變動對違約金範圍的影響

以圖 11 為例，當航運公司已知短租櫃與長租櫃的價格後，即可算出短租櫃與長租櫃的價格比例，之後可以從水平軸向上找出目前所對應的座標點，而該直線對

應到該曲線的点即為該價格之下可以接受的最大違約金比例。例如當長租櫃的價格為 1.05 (美金/日)，短租櫃的價格為 1.75 (美金/日)，此時兩者的價格比例為 0.6，此

時對應到該曲線的点為 66.67%，代表如果下一年度預計會出現退租的情形，則違約金就不應該超過 66.67% 的上限，否則長租櫃的優勢將不復存在，甚至當違約金剛好坐落於該曲線上時，就應該考慮不承租長租櫃，而是以短租櫃取代。

在圖形意義上，我們可以進一步推估出，當長短租櫃的價格比與違約金所組成的座標，若出現在預計年度的曲線之左側範圍時，代表是長租櫃較有利的情形，例如航商若擔心第一年有可能會有退租的情形，則違約金的容許範圍大約為圖 12 中 A 的範圍，若座標點恰好落於曲線上，或在曲線之右側範圍時，則使用短租櫃較為有利。

伍、結論與建議

本研究在探討國內定期貨櫃航商與租櫃公司的貨櫃租用現況後，根據雙方貨櫃租賃之進行原則與關係，同時分析實務上航商決策者執行的經驗法則與知識，納入模式建構的過程中，並且分析比較其中之差異，發展一套符合實際操作過程的模式，並且根據模式輸出結果，對比實際租櫃市場的結構，結果與實際相符合，因此從整體貨櫃的分布結構上，可知本研究之模式的輸出結果，與實際情況大致相符，並未偏離實務的範疇。

結果可對航運公司租櫃政策提出長租櫃與短租櫃的數量配置建議，適合定期貨櫃航商制定貨櫃租用政策時作為參考，並進一步討論航商如何衡量自身可承擔的成本，判斷何時提早退還長租櫃，以及與租櫃公司簽定長租櫃契約時，可以依照不同情形判斷違約金的可接受範圍。

從第四章第一節的分析可知現行貨櫃調度模式對於租櫃的考量侷限於短租櫃時，與實際租櫃成本的差距，也可從此看出對於長租櫃成本從自有櫃切割出來的重要性，可見本研究之模式比起現行貨櫃調度模式，可以更接近實務上的成本衡量。

因此建議航運公司在估算應用多少貨櫃時，可以使用本模式計算出需要多少租櫃數量，先行考量長租櫃的數量後，再執行後續的使用動作與短租櫃的租用。

從第四章第二節的結果穩定程度來看，以月為計算基準較為穩定，以季為計算基準則在 LTL(VI) 的部分呈現大幅增加，以年為基準則在 LTL(II) 與 LTL(VI) 都偏高，因此穩定度不佳。加上本研究因資料取得的問題，無法進一步用更詳細的數據做驗證，因此本研究的模式在現階段會建議以月為單位做貨櫃數量的調整。

由於 LTL(II) 與 LTL(VI) 都是為了在需求有大幅度成長的情形下，因此以臺灣目前需求穩定的情形下較不適用，航商可視航線的開闢與地區的特性做考量後，再運用適當的模式。但依照本論文的解法，

航商亦可以不需考量太多，直接計算四種方式的配置數量後，再決定採用哪一種計算方式，或單純以過去的需求分析，建構出不同需求下長短租櫃的結構比，再直接判斷現有的需求需要多少比例的長租櫃與短租櫃即可。

根據第四章第三節的模擬分析，可以進一步推估出航運公司在何種情形下可以接受長租櫃提前退租所帶來的成本，在判斷每一長租櫃提前退租所帶來的成本負擔後，再決定可以承受多少的成本負擔，決定是否退還多餘的長租櫃。因此當需求不如預期過多時，可優先退掉短租櫃，接著考量違約金的風險是否在容許範圍內，做出退還長租櫃的動作。

航運公司還可以根據預計提早退租的情形，在與租櫃公司簽約時先注意違約金的百分比，再決定是否使用以長租櫃為主的結構，若超越該曲線的數值則轉向租用短租櫃。

由於本研究的原意是補足貨櫃調度模式的不足，因此未來可以先執行本研究之模式，得到細部貨櫃的資料後，再配合其他貨櫃調度模式運行，以期貨櫃調度模式更接近實務且可行。

本研究所分類出之四種方式，主要為自行反覆測試所執行的結果歸類而成，未來亦可測試其他種類的運算方式，讓租櫃的數量控制更為理想。

參考文獻

中華民國統計資訊網，2011，各國際商港貨物吞吐量，<http://61.60.106.82/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=TK0104A2M&ti=各國際商港貨物吞吐量-月&path=../PXfile/Transportation/&lang=9&strList=L>，2011年2月20日。

吳翊、李欣，2009，風雨飄搖租櫃業，*航貿週刊*，第39期，86-90。

徐劍華、喻鑫，2008，貨櫃租賃行業風雨40年，*航貿週刊*，第19期。

Bandeira, D.L., Becker, J.L. and Borenstein, D., 2009. A DSS for integrated distribution of empty and full containers. *Decision Support Systems*, 47(4), 383-397.

Bregman, R.L., 1991. Selecting among MRP lot-sizing methods for purchased components when the planning horizon is limited. *Production and Inventory Management Journal*, 32(2), 32-38.

Chandoul, A., Cung, V. and Mangione, F., 2009. Optimal repositioning and purchasing policies in returnable container management. In *Proceedings of 2009 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 1439-1443, Grenoble, France.

Choong, S.T., Cole, M.H. and Kutanoglu, E., 2002. Empty container management for intermodal transportation networks.

- Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 38(6), 423-438.
- Containerisation International, 2009. *Containerisation International Yearbook 2009*, Informa Group PLC: London, UK.
- Containerisation International, 2010. *Market Analysis: Container Leasing Market 2010*, Informa Group PLC: London, UK.
- Coslovich, L., Pesenti, R. and Ukovich, W., 2006. Minimizing fleet operating costs for a container transportation company. *European Journal of Operational Research*, 171(3), 776-786.
- Crainic, T.G., Gendreau, M. and Dejax, P., 1993. Dynamic and stochastic models for the allocation of empty containers. *Operations Research*, 41(1), 102-126.
- Dejax, P., Benamar, F., Crainic, T.G. and Gendreau, M., 1992. Short term container fleet management: issues, models and tools. In *Proceedings of the 6th World Conference on Transport Research*, Lyon, France.
- De Matta, R. and Guignard, M., 1995. The performance of rolling production schedules in a process industry. *Iie Transactions*, 27(5), 564-573.
- Florez, H., 1986. Empty-containers repositioning and leasing: an optimization model, PhD Dissertation, Polytechnic-Institute of New York, USA.
- Holmberg, K., Joborn, M. and Lundgren, J.T., 1998. Improved empty freight car distribution. *Transportation Science*, 32(2), 163-173.
- Imai, A., Shintani, K. and Papadimitriou, S., 2009. Multi-port vs. Hub-and-Spoke port calls by containerships. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 45(5), 740-757.
- Jula, H., Chassiakos, A. and Ioannou, P., 2006. Port dynamic empty container reuse. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 42(1), 43-60.
- Lam, S.W., Lee, L.H. and Tang, L.C., 2007. An approximate dynamic programming approach for the empty container allocation problem. *Transportation Research Part C-Emerging Technologies*, 15(4), 265-277.
- Li, J.A., Liu, K., Leung, S.C.H. and Lai, K.K., 2004. Empty container management in a port with long-run average criterion. *Mathematical and Computer Modelling*, 40(1-2), 85-100.
- Li, J.A., Leung, S.C.H., Wu, Y. and Liu, K., 2007. Allocation of empty containers between multi-ports. *European Journal of Operational Research*, 182(1), 400-412.
- Moon, I.K., Ngoc, A.D.D. and Hur, Y.S., 2010. Positioning empty containers among multiple ports with leasing and purchasing considerations. *OR Spectrum*, 32(3), 765-786.
- Russell, R.A. and Urban, T.L., 1993. Horizon extension for rolling production schedules:

length and accuracy requirements. *International Journal of Production Economics*, 29(1), 111-122.

Shintani, K., Imai, A., Nishimura, E. and Papadimitriou, S., 2007. The container shipping network design problem with empty container repositioning. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 43(1), 39-59.

Song, D.P. and Dong, J.X., 2011. Effectiveness of an empty container repositioning policy with flexible destination ports. *Transport Policy*, 18(1), 92-101.

Yun, W.Y., Lee, Y.M. and Choi, Y.S., 2010. Optimal inventory control of empty containers in inland transportation system. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 451-457.