

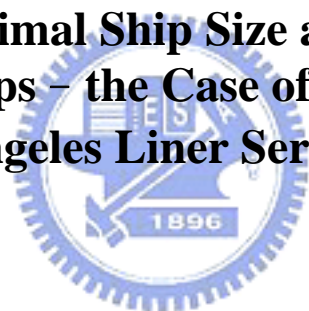
國立交通大學

運輸科技與管理學系

碩士論文

貨櫃船隊最適船型與船速之研究
—以高雄至洛杉磯航線為例

**Studies on the Optimal Ship Size and Speed of a Fleet
of Containerships – the Case of Kaohsiung - Los
Angeles Liner Service**



研究生：李承軒

指導教授：謝尚行 副教授

中華民國九十五年六月

貨櫃船隊最適船型與船速之研究

－以高雄至洛杉磯航線為例

學生：李承軒

指導教授：謝尚行

國立交通大學運輸科技與管理學系

摘 要

對於航商來說，決定船隊之船舶數量、噸位以及船速一直都是非常重要的決策，因為這些因素都會影響船舶的造價及效率，進而影響到航商的利潤以及競爭力；尤其在近年來船價上漲的情形下，航商在投入巨額的資金成本之前，勢必要做一審慎的評估以及規劃。因此，若一昧的靠增大船型來追求單位營運成本的最小化，並不能保證航商在既定的航線上能夠獲得最大的利潤(運費收入－營運成本)。

過去有關於貨櫃船型的研究中，各學者多從成本面來分析最適船型。本研究則考慮一個船隊在滿足每個港口每週有一船班的前提下，船隊之船舶數量、噸位以及船速對於成本面以及收益面的抵換(trade off)關係，並且以利潤最大化為目標，建立一個非線性規劃模式，分析航商如何決定在既有航線上貨櫃船隊之最佳船舶數量、船型及船速。在此前提下，本研究之分析將更符合航商的實際規劃情境，其研究結果將更具有參考價值。

關鍵詞：貨櫃船型；規模經濟性；非線性規劃

Studies on the Optimal Ship Size and Speed of a Fleet of Containerships

– the case of Kaohsiung - Los Angeles Line Service

Student: Chen-Hsuan Lee

Advisor: Shang-Hsing Hsieh

Institute of Transportation Technology and Management
National Chiao Tung University

Abstract

It is very important for liner operators to decide the ship size, the speed and the number of containerships in a fleet. These factors can extremely affect the price and the efficiency of their containerships, and more, the profit and the competitive ability of the company. Most of previous researchers devoted their attention to the problem only from cost perspective. However, seeking the minimum unit operation cost cannot guarantee the maximum profit for shipowners.

Considering a closer planning scenario of liner operators, providing one voyage each week in every port, this study attempts to formulate a nonlinear programming model seeking the optimum size, speed and the number of containerships in a fleet, so that the profit of the company would be maximized. This research will also analyze the trade-off relationships among the fleet scale, ship size, and ship speed for liner operators.

Keywords: Containership Size, Scale Economy, Nonlinear Programming

誌 謝

本論文得以順利完成，首先對於指導教授謝尚行老師的悉心指導，不棄個人駑鈍，致與最深的謝意，使學生在研究方法與論文寫作上獲益良多。在學期間，對於最適化理論及海運方面的相關課題，也要特別感謝謝尚行老師的指導，使學生對於貨櫃化運輸與海運方面的專業知識能有更進一步的了解與認識。感謝之情，片語難抒。

口試期間，口試委員陳光華教授、李彌教授於百忙之中不辭辛勞地提供寶貴意見，使本論文的內容更臻完備，在此由衷感謝。論文研究期間，感謝在同實驗室中一起打拼的邱毛、輝哥及在各方面給我們很多協助的思慧，以及博士班世鴻學長的指導及建議，因為有你們使我能夠為完成這篇論文，以及擁有兩年的快樂時光。另外要特別感謝我的室友小布，因為有你我才能安心的在新竹台北兩頭跑的情形下渡過研究所生活最後的這一年，謝謝你給我在精神上與生活上的支持與幫助。最後要謝謝一起相處六年的新隆、柏廷、建元、威豪，謝謝你們陪我度過這瘋狂又有趣的大學生活。

謹以本論文獻給我最愛的家人，感謝你們同我攜手渡過此一漫長歲月，你們的關懷與鼓勵是我前進的動力，希望你們和我一起來分享這份成果和喜悅。

李承軒 謹致

交大 2006 夏

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
致謝	iii
目錄	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	viii
第一章 緒論	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍.....	2
1.4 研究方法與流程.....	3
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 貨櫃船舶的大型化.....	5
2.2 貨櫃船大型化的影響及衝擊.....	7
2.3 貨櫃船型的最適化與規模經濟.....	9
第三章 模式構建.....	13
3.1 模式概述.....	13
3.2 貨櫃船成本項目分析.....	14
3.3 利潤最大化模式與相關變數、參數之定義.....	17
3.4 模式說明.....	20
第四章 運送成本與船型和船速之迴歸式分析.....	22
4.1 資金成本與船型和船速.....	22
4.2 燃油成本與船型和船速.....	23
4.3 營運成本與船型和船速.....	24
4.4 碇泊費用與船型.....	25
4.5 建構利潤最大化模式.....	27

第五章 模式求解與實例分析	28
5.1 模式參數之設定.....	29
5.2 模式實例求解.....	32
5.3 運送時間(Transit Time)與最適船舶數量、船型及船速.....	35
5.4 每船一年航行整數個航次之討論.....	39
第六章 結論與建議.....	43
6.1 結論.....	43
6.2 對後續研究之建議.....	45
參考文獻.....	46
附錄一 新建船舶資料	48
附錄二 燃油成本資料	51
附錄三 對貨櫃船型及船速無限制的情況下求解.....	57



表目錄

表 2-1 貨櫃船型的演進	5
表 2-2 2005 年全球 15 大貨櫃航商訂製 6000TEU 以上船舶統計表	6
表 2-3 海運聯盟及組成航商	8
表 4-1 貨櫃輪碼頭碇泊費 1	26
表 4-2 貨櫃輪碼頭碇泊費 2	26
表 5-1 2005 年全球前十大貨櫃港	28
表 5-2 高雄-洛杉磯航線基本資料 1	30
表 5-3 高雄-洛杉磯航線基本資料 2	30
表 5-4 各航商高雄-洛杉磯航線船班間隔	31
表 5-5 不同船舶數量下的最適船型、船速以及船隊之最大利潤	32
表 5-6 不同船舶數量下的貨櫃船隊最大利潤變化情形	33
表 5-7 各航商高雄-洛杉磯航線船班間隔	35
表 5-8 不同船舶數量下的運送時間	36
表 5-9 運送時間與最適船舶數量 1	37
表 5-10 船速大於等於 23 節的最適船型與船速	38
表 5-11 每船航行整數航次之船隊年總利潤計算	40
表 5-12 每船一年航行整數航次的最適船型、船速以及船隊之年總利潤	41
表 5-13 不同船舶數量下，每船一年航行整數航次的單程運送時間	42
表 5-14 運送時間與最適船舶數量 2	42

圖目錄

圖 1 研究流程圖.....	4
圖 2 不同船隊數量下的船隊最大利潤變化情形.....	33
圖 3 不同船舶數量下的運送時間變化情形.....	37



第一章 緒論

1.1 研究動機

自 1966 年全球第一艘全貨櫃船航行於國際航線以來，海運貨櫃化運輸便快速蓬勃的發展，而因為其可運送大量貨物的特性，至今海運的運貨量仍居國際貿易貨量之冠，領先陸運及空運。隨著貨櫃化運輸的發展，單位化之貨櫃船運也已逐漸取代傳統的雜貨船運送方式，成為海運市場的主流，而由於全球貿易量逐年增加，使得全球的貨櫃運輸量也有逐年增加的趨勢，在這樣的情形下，對於四面環海的台灣來說，探討海運貨櫃化運輸的相關課題更顯的有其重要性。

近年來，全球各主要航線上的貨櫃船船型有逐漸增大的趨勢，造成此情形的主要原因為海運的競爭激烈，使得各航商公司紛紛使用較大型的船舶，以降低單位的運送成本，並且提高競爭力。而事實上貨櫃船因為具有裝卸率高以及資本密集這兩項特徵，所以貨櫃船的確具有大型化的條件。隨著船舶大型化的效應持續的擴大，現今海運市場中容量低於 4,000TEU 的貨櫃船已經逐漸減少，取而代之的是 5,000TEU 以上的大型貨櫃船，全球第一大的航運公司 Maersk Sealand 更計畫要訂造 12,000TEU 的超級貨櫃船，而中國遠洋(COSCO)也在 2004 年底宣布要訂造 10,000TEU 的貨櫃船。由以上可知，貨櫃船型的發展正快速地朝大型化的趨勢邁進。

然而若從經濟的觀點來看，船舶的大型化畢竟有其經濟效益的限制。以現況分析可知，貨櫃船由 1,000TEU 增加到 2,000TEU 時，其資金成本可節省約 20%；2,000TEU 增加到 4,000TEU 時，其資金成本可節省約 7%；4,000TEU 增加到 6,000TEU 時，資金成本可節省約 4%，由此可知船舶大型化為資金成本所帶來的經濟效益是呈現邊際效益遞減的趨勢。另外，貨櫃船舶的大型化也可能會造成其他的不經濟性，如擁擠、貨物配送及其他物流等不利，並可能使得航商對於航線的選擇缺乏彈性。

決定訂造船舶的噸位、船舶數量、以及船速對於航商來說一直都是非常重要的決策，因為這些要素都會大大地影響船舶的造價及效率，進而影響到航商的利潤以及競爭力，尤其在近年來船價高漲的情形下，航商在投入巨額的資金成本之前，勢必要做一審慎的評估以及規劃。因此，若一昧的靠增大船型來追求單位營運成本的最小化，並不能保證航商在既定的航線上能夠獲得最大的利潤(運費收入- 營運成本)，必須要考慮船型、船隊之船舶數量以及船速對於成本面以及收益面的抵換(trade off)關係，並且以利潤最大化為目標，分析航商如何決定在既有航線上之最適船型、船隊中船舶的數量以及船速。

1.2 研究目的

研究目的，為嘗試建立「以利潤最大化為目標之模式」，考慮船隊之船舶數量、船型以及船速對於成本面以及收益面的抵換(trade off)關係，以利潤最大化為目標，分析航商如何決定在既有航線上船隊之最適船舶數量、最適船型以及船速，分析在不同船舶數量下何種船型以及船速能使航商獲得最大的利潤，並期望能得到一個合乎實務面的最佳組合。

1.3 研究範圍

研究範圍為貨櫃船隊於兩軸心港間的往返航行，以及其中所產生之成本與收入，此航行範圍並不經第三港，或轉口港的集貨作業，即貨櫃船隊行駛於單一航線上，除起、迄港之外，中間不停靠任何港口。決策規劃期以一年為期。

1.4 研究方法與流程

本研究嘗試建立「以利潤最大化為目標之最適貨櫃船隊船型與船速模式」，並參考謝尚行與郭重佑(民國 92 年)的研究方法，採用迴歸分析的方式，在蒐集特定航線上的成本以及收入的資料後，建立各項成本相對於船型/船速的對數線性迴歸式，並進一步建立利潤的目標式，最後並以高雄-洛杉磯航線為例，在符合航線一年實際所需船次的前提下，利用敏感度分析，在不同的船舶數量下找出所對應的最適船型、船隊之船舶數量以及船速。

下頁圖 1 為本研究的研究流程圖：



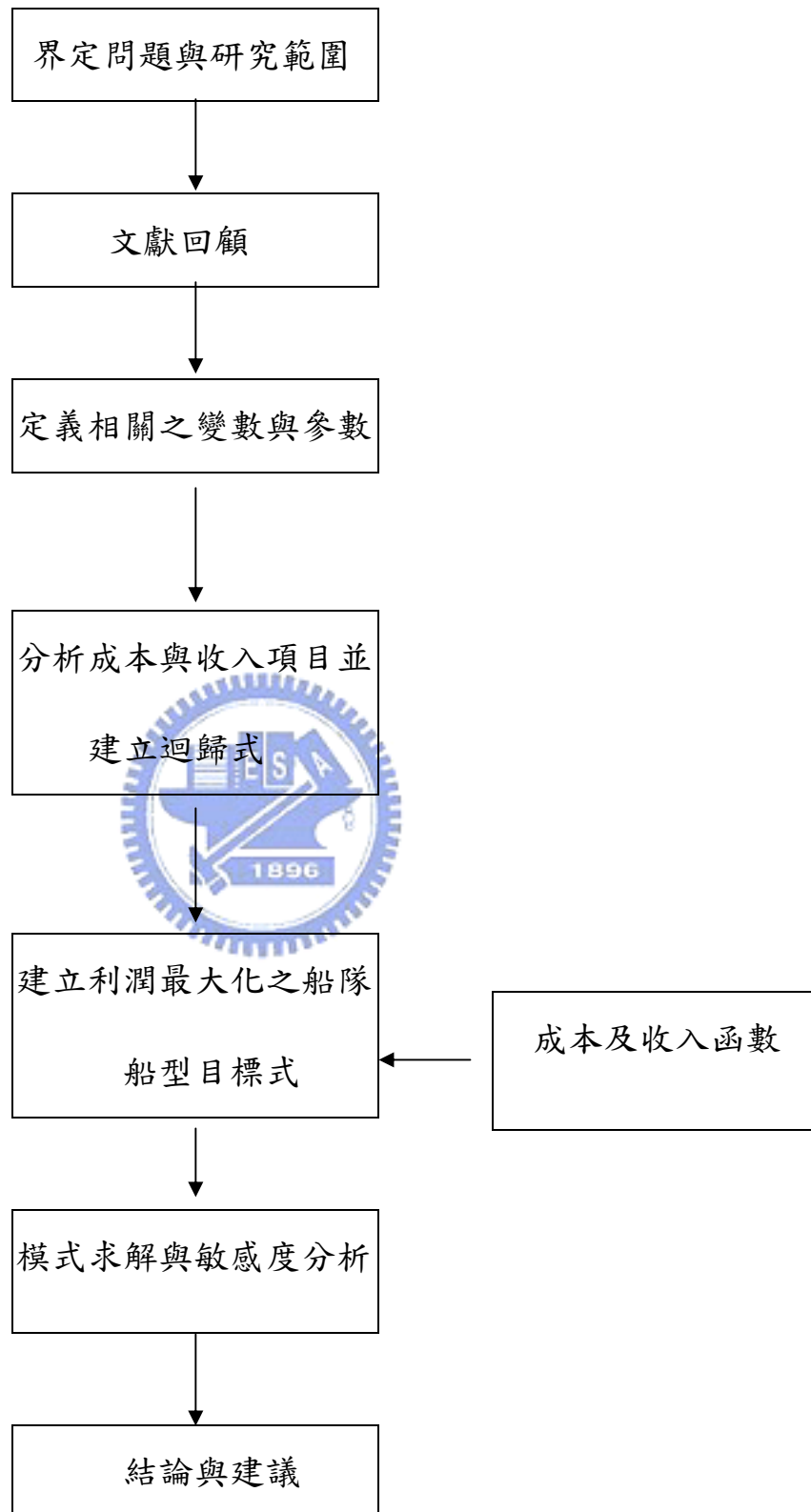


圖 1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 貨櫃船舶的大型化

航商為了降低單位營運成本，近年來各航商紛紛使用較大型的貨櫃船舶，而隨著貨櫃船大型化的趨勢，貨櫃船舶演進的速度也益發快速。由下表貨櫃船型的演進，可明顯看出近年來貨櫃船舶朝大型化發展的趨勢：

表 2-1 貨櫃船型的演進

時期	1960 末期	1970 小型貨 櫃船	1980 初期 次巴拿馬 極限型	1980 末期 巴拿馬極 限型	1990 初期 超巴拿馬 極限型	1990 末期 超級巴拿馬 極限型	1997-2005 超大型
TEU	752	1887	2464	4626	4340	6418	8400
總長(m)	187	263	247	281	261	302	360
船寬(m)	26.0	32.2	32.2	32.3	39.4	42.8	43
吃水深 度(m)	10.5	11.5	13.2	13.5	12.5	14.0	14.8
航速 (knot)	22.6	26.0	19.5	24.5	24.2	25.0	26

(資料來源: MOMAF, Korea, 2005)

郭石盾(2006) 指出由於經濟考量以及貿易上的壓力，促使近期航運界訂購超大型貨櫃船的熱潮。最新的統計結果顯示 2005 年一月訂購 7500 TEU 以上的貨櫃船已達 174 艘，運輸能量可達 1,459,619 TEU。預計到 2008 年，大於 7500 TEU 的貨櫃船，將佔有全球貨櫃運輸能量的 15.4%，也就是將達到 1,651,240 TEU 對 10,723,993 TEU 之比例。根據最近 COSCO 所訂購 4 艘 10,000 TEU 超大型貨櫃船(船長 349 公尺，船寬 45.6 公尺，船深 27.2 公尺)，部分觀察家已預期將來的競賽過程將很快出現 12,500 TEU 或更大型貨櫃船。表 2-2 為全球 15 大貨櫃航商訂購 6000 TEU 以上貨櫃船之統計表。

貨櫃船舶越趨向大型化，越可產生經濟規模效益，使每櫃單位營運成本較低，一般而言，6000TEU 貨櫃船之每 TEU 運送成本較 4000TEU 低約 5%，而 8000TEU 貨櫃船之每 TEU 運送成本較 4000TEU 約低 10%，因此經營遠洋航線的航商，為有效的將營運成本降低並且提高競爭力，紛紛建立船員額少、船速快、貨櫃載運量大、燃油消耗量低的大型貨櫃船船隊。

貨櫃船大型化除了每單位營運成本降低的優點外，仍需考量到船舶建造、新建港口設施如橋式機(quay crane)、港口水深加深等大量資金成本的投入等因素。王克尹(2004)指出貨櫃船容量的大小對於航次利益的影響，可能會隨著船的購買價格、營運成本的高低、費率水準、航次頻率、以及分攤固定成本所使用的會計方法不同而有所變動。

表 2-2 2005 年全球 15 大貨櫃航商訂製 6000TEU 以上船舶統計表

航商	貨櫃船型 x 艘數	交船日期
MAERSK	8400x4 6070x7 6600x8	2007-2008 2006-2007 2007
MSC	8400x4 9200x4	2006-2007 2007
EVERGREEN	8100x8 6724x10	2005-2006 2005-2007
P&O Nedlloyd	8152x6	2004-2006
CMA CGM	8200x8	2006
HANJIN	7700x5	2005-2006
COSCO	9200x5	2008
MOL	8100x8 6400x8	2008 2005-2007
NYK	6238x3 6200x1	2003-2004 2003-2004
K Line	8120x4	2006-2007
OOCL	8063x8	2004-2006
Yang Ming	8000x4 8200x5	2006-2007 2008
Hapag-Lloyd	8000x3 8600x2	2005-2006 2006-2007
CSCL	8076x5 9500x4	2004-2005 2006-2007
Hyundai	6800x5	2006

資料來源: Containerisation International (2005)

單位: TEU

2.2 貨櫃船大型化的影響及衝擊

在貨櫃船舶大型化的趨勢下，也影響了航商與傳統港埠的經營模式，其對航商與港口營運所造成的衝擊為：

一、 航線趨向軸心化，減少船舶靠港次數。由於大型的貨櫃船每日的營運成本較高，航商會將大型貨櫃船作為母船，配置於航程較長的主要航線上，而母船所選擇停靠的少數港埠即為軸心港(轉運港)；而支線上由於航程較短及港埠較分散，故配置較小型的集貨船，集貨至母船停靠的軸心港轉運。因為航商配置在主線上的母船越來越大，使得航商必須減少母船所停靠的港口數量，以降低母船靠港所產生的營運成本。

二、 傳統港埠的限制。傳統港埠經營面臨船舶大型化所面臨的障礙為：



1. 天然條件與環境的限制(如港灣水深、土地面積等)
2. 貨櫃起重機數量(gantry crane)及配置的限制
3. 場站的高投入成本。

大型的貨櫃船對於港口的航行條件(如水深、航道、船席長度等)與裝卸設備的要求也相對的提高，目前大部分的港埠都已濬深到 12-14m，但為了要容納未來不斷增大的貨櫃船型，就必須要再濬深及加寬航道。若要安裝更大型的橋式起重機時，既有港埠之濬深也要考慮到碼頭基樁之承載力，綜合以上的因素，使得能夠符合大型貨櫃船停靠需求的港口數量有限。

三、 貨櫃船大型化使得海運市場競爭更為激烈，航商紛以結盟的方式提高競爭力。吳偉銘(2002)藉由計量經濟之 Panel Data 回歸模式與 SUR 回歸模式，探討國籍貨櫃航商船舶大型化對其經營績效的衝擊，發現大型化趨勢造成市場運價下滑幅度大於航商再營運成本上節省之效益，要提升營運績效，市場競爭壓力的減緩與否才是關鍵。為了提高競爭力，1998-2001 年間航商紛紛採用簽訂合約或協議合作的方式組成策略聯盟，以增加資源的利用、調度的靈活性及增加作業據點，提高營運的績效。全球著名的航商聯盟有四大集團，如表 2-3 所示。

表 2-3 海運聯盟及組成航商

海運聯盟	組成航商
New World Alliance	APL/NOL、MOL、Hyundai
Grand Alliance	Hapag-Lloyd、NYK、OOCL、MISC
CKYH	COSCO、K-Line、Yang Ming、 Hanjin(DSR-Senator)
A.P.Moller-Maersk	Maersk Sea-Land、P&O Nedlloyd、 Safmarine
EVERGREEN Group	EVERGREEN、Italia Marittima S.p.A.、 Hatsu Marine Limited
CMA CGM Group	ANL Container Line、MacAndrews Co.,Ltd.、Delmas、Kursiu Linija

資料來源: MOMAF, Korea ,2006

2.3 貨櫃船型的最適化與規模經濟

文獻中最早探討貨櫃船規模經濟性的學者為 Jansson and Shneerson(1982)兩位學者，其主要的結論為貨櫃船型的規模經濟顯現在資金成本與海上航行成本上，亦即貨櫃船的船型愈大，每運載一 TEU 的單位資金成本與海上航行成本會呈現遞減的現象；而規模不經濟則發生在港埠作業成本上，即船型愈大，每運載一 TEU 的單位港埠作業成本會呈現遞增的現象。此兩項成本的總合即為運載一 TEU 的平均成本，其相對於船型的函數圖形會是一條 U 形曲線，其最低點即對應最適貨櫃船型。

Talley(1990)以船舶靠港的多寡、航行的距離、靠港時間三方面來探討其對於最適貨櫃船型的影響，得到的主要結論為：(1) 當航行距離和靠港時間固定時，最適貨櫃船型會隨靠港數量的增加而減小；(2) 當航行距離和靠港數量固定時，最適貨櫃船型會隨靠港時間增加而減小；(3) 當靠港時間和靠港數量固定時，最適貨櫃船型會隨航行距離增加而增大。

在 Talley 的成本模式中，將貨櫃船的營運成本與資金成本再分成海上成本(sea cost)及港口成本(port cost)兩大類，模式如下：

$$\text{海上成本: } C_{si} = C_{osi} + C_{ci} \quad \text{港口成本: } C_{pi} = C_{opi} + C_{ci} + C_{pgi}$$

其中 C_{si} 為貨櫃船 i 於海上航行之每日成本；

C_{pi} 為貨櫃船 i 靠港之每日成本；

C_{osi} 為貨櫃船 i 每日海上營運成本；

C_{opi} 為貨櫃船 i 每日滯港營運成本；

C_{ci} 為貨櫃船 i 每日資金成本；

C_{pgi} 為貨櫃船 i 每日港口費用；

建立航線上每單位航段成本模式：

$$C_i = \frac{D_i C_{si}}{L_i H_{0i} V_i} + \frac{P_i C_{pi} T_{pi}}{n H_i}$$

其中 D_i 為總航程距離； P_i 為靠港次數； V_i 為貨櫃船 i 每日平均航速；

L_i 為航段數； T_{pi} 每次靠港時間； H_{0i} 為貨櫃船 i 裝櫃數量；

H_i 為靠港每小時裝卸貨櫃數； n 為每日實際裝卸櫃時數；

接下來主要是以對數線性迴歸方程式來建立各項成本的迴歸式，並將模式簡化為單一變數函數，求得最適解。其中貨櫃船資金成本的攤提是以 CRF(Capital Recovery factor)法來計算，假設貨櫃船使用年限為 20 年，利率為 12%。

Lim(1994)以成本和收益觀念，討論租傭船之規模經濟。雖然航商之競爭力是和船舶之購買成本息息相關，但作者認為貨櫃船之經濟規模也受許多外在變數影響，例如航線特性、航行距離、靠港數、運費水準、目標裝載率等。由於比較不同船型之實際成本結構，出現船舶規格、營運標準、會計方式不一，而對最適船型沒有一般解法，因此作者認為大型貨櫃船沒有規模經濟效益。

McLellan(1997)則認為貨櫃船具有規模經濟效益，並指出貨櫃船大型化後可能面臨的問題，例如港口之水深、橋式機吊臂的長度及船舶之動力等；最後作者認為由於存在這些大型化的後續問題，在未來幾年內貨櫃船型噸位的增加應會趨於平緩。

Cullinane and Khanna(1999)以成本函數觀念，對 370 艘船隻的實際航行資料進行迴歸分析，探討貨櫃船型增大對規模經濟的影響。作者認為小於 1,500 TEU 的船型較不具規模經濟性，目前最適船型約為 8,000 TEU，之後並在 2000 年的後續研究中指出，最適船型與港口附近集貨中心、運送成本、港口條件以及貨物處理能力有密切關係。

然而除了貨櫃船型以外，船速是另一項關鍵的分析變數(Gilman,1980)。變動船速可能會有下列情況：

- (1)相同噸位之貨櫃船，船速快者其訂造成本較高；
- (2)船速快之貨櫃船，在相同期間內之航行距離較長，燃油成本會較高；靠港次數多，益增加港埠作業成本；
- (3)船速快之貨櫃船，相同時期航次增多，可增加貨櫃載櫃量，收入會增加。

因此貨櫃船船速的快或慢，會影響航商在航線上的成本和收入，此抵換(trade off)效果會改變相同時期，同一航線之利潤。

綜觀上述對於船舶規模經濟(Economies of scale)的研究，多藉由船型變動對營運成本與資金成本之影響進行分析，目標多為追求單位營運成本最小。謝尚行與郭重佑(2003)依據經濟學的原理，認為航商基本上是追求利潤最大，而非單純追求單位成本最小，並且考慮船速變化對於貨櫃船成本及收入影響的重要性，將船速視為一重要變數，分析以利潤最大化為目標之最適貨櫃船型。而此篇研究建構之最適貨櫃船型模式，不同於過去文獻所用之方法，主要特性在於：

- (1)此模式不僅分析成本面，且擴及收益面，以利潤最大化為目標，決策貨櫃最適船型。
- (2)此模式不僅考慮船型，並納入船速，較以往研究更為完整與具體。
- (3)此模式為雙決策變數，沒有限制式，目標函數為嚴格凸向上函數(strictly

concave function)，存有唯一的全域最佳解。

研究最後以高雄到洛杉磯遠洋航線為例，在只有一艘貨櫃船的假設下，求解最適的船型以及船速，唯得到的結果為一船型大、船速小的組合，由於船速過小，使得往返航線所需的時間較長，航次也較少，而對於現今競爭激烈的海運市場來說，遠洋定期船必須要每個星期一個船次，才能使的航商具備一定的競爭力，以及符合實務上的需求。

本研究以謝尚行與郭重佑(2003)的利潤最大化模式為基礎，並於原本的模式中加入船隊數量的參數，將一艘船提升為一個船隊以符合實際營運的狀況，以及於模式中加入航線上一年所需要船次數量的限制式，即航商預期一年所要提供航次服務數量的限制，期望能夠了解船隊數量和船速以及船型間抵換(trade off)的效果，並且改進航次不足的缺點，求得一組最適的船隊數量、船型以及船速，使得航商在特定航線上所獲得的利潤最大，以及保持航線上營運的競爭力。



第三章 模式構建

3.1 模式概述

本研究模式的主要目標，在建立「以利潤最大化為目標之最適貨櫃船隊船型與船速模式」。為使得航商之利潤最大化，首先必須要確認影響貨櫃船運獲得利潤的因素，再分析這些因素與利潤之間的關係。

根據經濟學的原理，利潤 = 收入 - 總成本，而總成本包含了固定成本和變動成本，所以利潤 = 收入 - (固定成本 + 變動成本)。貨櫃船隊提供服務所產生的固定成本包含了資金成本與營運成本兩類(Talley, 1990)，前者是指折舊和利息，為貨櫃船的主要成本，後者包括船員薪資、保險費、維修費、停泊燃料費、物料費、行政費用等。在變動成本方面，隨運貨量變動而變動的成本包含了船隊航行的燃料費用、港口作業費用兩類，其中港口作業費用的主要項目有船舶碇泊費、領港費、貨櫃裝卸費、拖船費、入港費等。本研究據此選擇與船型和船速有關的主要成本項目，作為模式分析的基礎。

本研究以 Talley(1990)的成本模式為基礎，並將船型和船速兩變數納入成本模式中(謝尚行與郭重佑, 2003)，再加入船隊數量此一參數，建立利潤最大化模式，分析船速、船型之變化對收入與成本的影響，檢驗在不同的船隊數量下，何種船速以及船型可使得航商利潤最大，並分析不同的船隊數量所對應的最適船速，其所能提供的船次是否能夠使得航商在此航線上具備足夠的競爭力，進而決定最佳的船速、船型以及船隊數量。

3.2 貨櫃船成本項目分析

本研究採用海運實務界成本習性的分類方式，將貨櫃船各項投入成本分成固定成本與變動成本。

1. 固定成本

固定成本即指無論船舶是否從事運送服務，皆必須支付的費用，且此項成本並不會隨著營運量而變動，通常指資金成本。

(1) 資金成本

a. 船舶折舊：

船舶是一種投資設備也是固定資產，由於資產的使用而發生的損耗，某段時間後其價格應遞減，此即為折舊。乃按照其使用年限來攤還船價，使船舶在使用年限中，按照各國稅法的規定在公平以及適當的原則下，逐年攤還折舊費用。

b. 利息費用

在此所指的利息費用，專門針對投資及設備的利息，不包括與營業有關的利息開支，各國政府為獎勵海運事業的發展，均訂定低利息長期貸款政策。

2. 變動成本

變動成本乃是在運送成本中，其費用會隨營運量成比例變動的部分，及船舶因載運貨物而發生的成本。主要包含碇泊費、燃油費與裝卸費；其他變動成本併為一類，稱為營運成本。

(1) 碇泊成本

碇泊成本指船舶入港作業的使用費用，此項成本的計算方式以每小時為單位，主要目的是各港口要降低船席靠港時間，提高本身作業效率。一般各港對此費率訂定，會隨船舶總噸位增加而區段遞增，超過特定噸位則不再增加。

(2) 航行燃料成本

在貨櫃船航運成本中，燃料費用佔了很大的比例。尤其近年來油價一值上漲，更使得海運經營者特別重視燃料費用的節省，而燃料消耗量及其使用油類是隨著採用的機器而改變的。

(3) 貨物裝卸費用成本

即船舶為裝卸貨載所應支付的各項費用，包括裝卸貨工資、貨物檢驗費、理或費、墊材費、機具租金等等。



(4) 營運成本

a. 船員費用：

船員由於海上生活風險大且精神生活不如陸地上，其薪資自較一般陸上人員為高；不過由於船籍、國籍、素質之不同，其薪水亦有差異。包括船員薪津、加班費、職務加給、醫藥費、伙食費、眷屬補助金、各項獎金、福利補助費、勞工保險費、遣送船員回原僱傭港及送上船之交通費、膳宿費等。

b. 維修費：

船舶建造完成後，為維持船籍、保養船舶，每年均近船塢檢修，並有經常性的維修，但這種經常性的維修通常佔修理費用的比例不大。

c. 物料費：

包含了日用品、船舶維護用的保養品，亦即船上甲板部、機艙部以及事務所等單位使用的各種工具、物料耗損品等。

d. 保險費：

船舶的保險費隨著船東的需要、法定責任的大小及海上險難的多寡而有不同金額，不同的承保風險及不同的保險標的。一般而言，船舶的保險費包含了船體檢、船東責任險、兵險、貨物險及運費險等。

e. 業管費：

包含人事費、辦公費、福利費、交通費、旅費、文具費、郵電費等。

f. 停泊燃料費：

在港時發電機用油之成本費用。



3.3 利潤最大化模式與相關變數、參數之定義

本研究為適當簡化實務上的複雜度，讓問題易於模式化，在分析上所必須的基本假設條件如下：

1. 貨櫃船隊行駛於單一航線上，只停靠起、迄兩港
2. 貨櫃船隊於航線上往返的貨櫃平均承載率為一預設定值
3. 貨櫃船隊的固定成本會隨船型/船速變動而變動
4. 規劃期間內港口間之運費水準由市場決定且維持固定
5. 為了使航商於航線上提供之服務維持一定的水準以及一致性，貨櫃船隊皆為同一船型



本研究所建立之利潤最大化模式，為下式(1)~(6)所示：

目標式：

$$\pi = \underset{(V,T)}{\text{Max}} N f(V, T) = \underset{(V,T)}{\text{Max}} N (R_y - C_y) \quad (1)$$

限制式：

$$N Q_y = 365 \div \left[\left(\frac{2D}{V} \div 24 \right) + \left(\frac{(L_a + L_b)T}{t_a} + \frac{(L_a + L_b)T}{t_b} + Y_n \right) \div 24 \right] \times N = Z \quad (2)$$

參數以及變數說明如下：

V : 貨櫃船的航行速度(船速) ; 單位以節(knot)表示 ;

T : 貨櫃船的載櫃容量，即船型 ; 單位以 TEU 表示 ;

R_y : 貨櫃船在航線 \overline{ab} 上每年總收入 ; 單位以美元/年表示 ;

C_y : 貨櫃船在航線 \overline{ab} 上每年總成本 ; 單位以美元/年表示 ;

Q_y : 貨櫃船在航線 \overline{ab} 上每年總航次數 ;

P_{ab} : 貨櫃船在航線 \overline{ab} 上的運價 ; 單位以美元/TEU 表示 ;

P_{ba} : 貨櫃船在航線 \overline{ba} 上的運價 ; 單位以美元/TEU 表示 ;

L_k : 貨櫃船在港口 k 的平均承載率， $k=\{a,b\}$; 此值介於 0 與 1 之間 ;

D : 航線 \overline{ab} 的海上距離 ; 單位以哩表示 ;

C_f : 貨櫃船每日之燃油成本 ; 單位以美元/噸表示 ;

t_k : 貨櫃船於港口 k 每小時之貨櫃裝卸數量， $k=\{a,b\}$; 單位以櫃/小時表示 ;

O_k : 貨櫃船於港口 k 每小時之貨櫃裝卸費率， $k=\{a,b\}$;

C_c : 貨櫃船之購買價格 ; 單位以美元/艘表示 ;

C_c^y : 貨櫃船每年所分攤之資金成本 ; 單位以美元/年表示 ;

C_o^y : 貨櫃船每年營運成本 ; 單位以美元/年表示 ;

C_w^k : 貨櫃船於港口 k 的每日碇泊成本 ; 單位以美元/TEU 表示 ;

E_p : 貨櫃船每航次的平均滯港天數 ;

E_s : 貨櫃船在航線 \overline{ab} 上每航次之平均航行天數

N : 船隊中船舶數量

Z : 航商一年於航線 \overline{ab} 上所提供的航次數

Y_n : 貨櫃船入港以及出港所需的準備時間; 單位以小時表示



3.4 模式說明

在目標式(1)中， π 表示模式之最大值， $\text{Max}_{(V,T)} N f(V,T)$ 表示由船型(T)

和船速(V)所構成函數的最大值，而此一函數又可表示成 $\text{Max}_{(V,T)} N (R_y - C_y)$ ，

即貨櫃船隊總收入($N R_y$)減去總成本($N C_y$)的函數之最大值，而總收入函

數($N R_y$)與總成本函數($N C_y$)的說明如下：

$$N R_y = N \times [(P_{ab} \times L_a \times T) + (P_{ba} \times L_b \times T)] \times Q_y \quad (3)$$

表示年總收入模式，等於船隊數量、運費、載櫃量與航次(Q_y)的乘積，而載

櫃量與貨櫃船型 i 的容量以及往返港口間的承載率有關。目標式(1)內，

$$N C_y = N \times [(C_c^y + C_o^y) + Q_y (L_a + L_b) (O_a + O_b) T + (C_w^k \times E_p \times Q_y) + (C_f \times E_s \times Q_y)] \quad (4)$$

表示年總成本模式，包括資金成本(C_c^y)、營運成本(C_o^y)、貨櫃裝卸費、碇泊成

本(C_w^k)，及燃油成本(C_f)等四項，這些成本皆與船型和船速有關。模式(3)與(4)

內，

$$Q_y = 365 \div \left[\left(\frac{2D}{V} \div 24 \right) + \left(\frac{(L_a + L_b)T}{t_a} + \frac{(L_a + L_b)T}{t_b} + Y_n \right) \div 24 \right] \quad (5)$$

表示單一貨櫃船在航線上每年往返的總次數，而總航次數與航行距離、船

速、港口裝卸效率以及載櫃量有關。

總成本模式(4)內，

$$E_p = \left[\left(\frac{(L_a + L_b)T}{t_a} + \frac{(L_a + L_b)T}{t_b} + Y_n \right) \div 24 \right] \quad (6)$$

表示貨櫃船每航次的滯港日數，港口是 24 小時作業。 Y_n 表示貨櫃船在兩港口的入港前置時間與出港準備時間，由於這兩項與船型和船速關係甚小，故可視為一定值。在總成本模式(4)內， $(L_a + L_b)(O_a + O_b)T$ 表示單一貨櫃船往返一航次於起訖港口的貨櫃裝卸成本。

在限制式(2)中：

$$N Q_y = 365 \div \left[\left(\frac{2D}{V} \div 24 \right) + \left(\frac{(L_a + L_b)T}{t_a} + \frac{(L_a + L_b)T}{t_b} + Y_n \right) \div 24 \right] \times N = Z$$

表示在船隊數量為 N 的情形下，航線上船隊一年所提供的總航次需要有 Z 個航次。

第四章 運送成本與船型和船速之迴歸式分析

本模式先對資金成本、營運成本、燃油成本，以及碇泊費用等選用的成本，利用統計軟體“SPSS”建立與船型/船速之迴歸式，以作為分析的基準。從過去文獻的研究中(JS,1982;Tally,1990)均顯示非線性迴歸式配適良好，其中又以指數式或線性對數式(log-linear equation)分析能力較佳。例如資金成本(C_c^y)與貨櫃船型(T)和船速(V)之關係，其迴歸式： $\ln C_c^y = \alpha + \beta \ln T + \gamma \ln V$ ，此式相當於下式：

$$C_c^y = AT^\beta V^\gamma \quad (7)$$

其中， β 是資金成本(C_c^y)對船型(T)的彈性，表示在船速(V)固定時，當船型變動1%，則資金成本會變動 $\beta\%$ ，因此若 $\beta < 1$ 表示資金成本對船型具有規模經濟性；反之($\beta > 1$)，則具規模不經濟性； γ 則是資金成本(C_c^y)對船速的彈性。至於 β 與 γ 值，則隨船型/船速不同而有別。本研究其他各項成本如營運成本、燃油成本，以及碇泊成本，亦可類推建立相對於船型/船速的迴歸式。

4.1 資金成本與船型和船速

本研究參考國際貨櫃化期刊(Containerization International)2004 以及 2005 兩年間共 82 筆的新建船舶資料，以線性對數模式，分析資金成本與船速和船型之相關性，資金成本以當期新船之價格，以淨現值每年提列方式估算，估算採用 CRF(Capital Recovery Factor)法(Talley,1990)，計算式為

$$CRF = [r(1+r)^n] / [(1+r)^n - 1]$$

，計算式中 r 是年利率， n 是資本財使用年限，假定以一年期計算，當 $n=20$ ， $r=5\%$ ，則 $CRF=0.08$ ，如果當年貨櫃船購買價為 C ，則每年資金成本等於 $CRF \times$ 購船成本($0.08C$)，此值即為每艘船的每年資金成本(參見 Viton,1981)。本研究假設貨櫃船使用年限為 20 年，利率水準 5%，以估算 CRF 值提列每年資金成本，經迴歸式配適檢測，結果為：

$$\ln C_c^y = -1.257 + 0.583 \ln T + 0.822 \ln V$$

$$\text{此式相當於： } C_c^y = e^{-1.257} T^{0.583} V^{0.822} \quad (8)$$

此迴歸式 $R^2=0.863$ ，調整後為 0.859，顯示模式的解釋能力良好，又 F 檢定值為 248.071，P 值 < 0.001 ，可知此迴歸模式顯著。從式(8)可知，資金成本(C_c^y)對船型(T)的彈性為 0.583，即當船速(V)固定時，船型每變動 1%，資金成本將變動 0.583%，同理資金成本對船速的彈性為 0.586。可見購買新船的資金成本不論是對於船型或船速均具有規模經濟性。

4.2 燃油成本與船型和船速

關於燃油成本(bunker price)與船速和船型的相關性分析，本研究以國際貨櫃化期刊(Containerisation International)所公佈的 195 艘船齡較新之貨櫃船的耗油量為基準，先對貨櫃船每日耗油量 T_f (單位:每日/噸)與船型及船速之關係進行線性對數迴歸分析，結果如下：

$$\ln T_f = -6.501 + 0.447 \ln T + 2.413 \ln V$$

$$\text{此式相當於： } T_f = e^{-6.501} T^{0.447} V^{2.413} \quad (9)$$

此迴歸式 $R^2=0.946$ ，顯示模式的解釋能力良好，又 F 檢定值為 1698.044，P 值 < 0.001 ，可知此迴歸模式顯著。從式(9)可知，每日耗油量(T_f)對船型(T)的彈性為 0.447，即當船速(V)固定時，船型每變動 1%，每日耗油量將變動 0.447%，同理每日耗油量對船速的彈性為 2.413(>1)。因此，貨櫃船每日耗油量對船型具有規模經濟性，對船速則不具規模經濟性。

由於近年來油價持續上漲，船用燃油已經從 2004 年的 172 美元/每噸，漲至 2006 年 3 月的 250 美元/每噸，因此本研究假設燃油價格為 250 美元/每噸。將燃油價格乘上貨櫃船每日耗油量 T_f 即可得到貨櫃船每日燃油成本 C_f ，如下式(10)所示：

$$C_f = 250 \times e^{-6.501T^{0.447}V^{2.413}} \quad (10)$$

4.3 營運成本與船型和船速

營運成本對於航商來說具有商業敏感性，因此不易取得實際的資料，過去的研究亦有類似的問題(Cullinane and Khanna,1999;Lim,1994)。因此本研究採用估算的方式來計算航商之營運成本，根據 Buxton(1985)對貨櫃船的成本結構分析指出，一年的船員薪資與福利占營運成本約 40%、船舶維修費占 30%、船舶保險費占 20%、物料費占 10%，而年營運成本則占總成本約 10%，年資金成本占總成本約 13%，LSE(2002)的研究亦得到相近的結果。因此本研究參考 Buxton(1985)的分析值作為貨櫃船營運成本估算的基準，先從國際貨櫃化期刊(CI,2004~2005)中 82 筆的貨櫃船新船價格提列出每年資金成本，再按比例換算出年營運成本。貨櫃船的營運成本與船型和船速之關係，經線性對數迴歸分析後，結果得到：

$$\ln C_o^y = -1.518 + 0.583 \ln T + 0.822 \ln V$$

此式相當於： $C_o^y = e^{-1.518} T^{0.583} V^{0.822}$ (11)

此迴歸式 $R^2=0.863$ ，調整後為 0.859，顯示模式的解釋能力良好，又 F 檢定值為 248.071，P 值 < 0.001，可知此迴歸模式顯著。從式(11)可知，營運成本(C_o^y)對船型(T)的彈性為 0.583，即當船速(V)固定時，船型每變動 1%，營運成本將變動 0.583%，同理營運成本對船速的彈性為 0.822。可見營運成本不論是對於船型

或船速均具有規模經濟性。

4.4 碇泊費用與船型

港口費用以碇泊費為代表，其餘如領港費、拖船費與入港費等與船型的變異低(Cullinane and Khanna,1999)，可不考慮。本研究參考謝尚行與郭重佑之研究，選用高雄港的碇泊費為分析的基準(見表 4-1、4-2)，並將其換算為每日碇泊費用，因碇泊費只和船型有關，此項迴歸式只有船型一種變數，其迴歸式為：

$$C_w^k = 23.9517T^{0.582} \quad (12)$$

此迴歸式 $R^2=0.943$ ，顯示模式的解釋能力良好，又 F 檢定值為 83.34，P 值 < 0.0001，可知此迴歸模式顯著。碇泊成本(C_w^k)對船型(T)的彈性為 0.582，即船型每變動 1%，碇泊成本將變動 0.582%，因此碇泊成本對船型具有規模經濟性。



表 4-1 貨櫃輪碼頭碇泊費 1

計費單位:每船每小時/元

等 級	費 率
總噸位未滿 500 噸之船舶	822
總噸位 1,000 噸以上未滿 3,000 噸之船舶	904
總噸位 3,000 噸以上未滿 5,000 噸之船舶	1,069
總噸位 5,000 噸以上未滿 10,000 噸之船舶	1,397
總噸位 10,000 噸以上未滿 20,000 噸之船舶	1,890
總噸位 20,000 噸以上未滿 40,000 噸之船舶	2,958
總噸位 40,000 噸以上未滿 60,000 噸之船舶	3,944
總噸位 60,000 噸以上之船舶	5,916

(資料來源:高雄港務局)

表 4-2 貨櫃輪碼頭碇泊費 2

計費單位:每船每日/美元

等 級	費 率
500TEU	961.5
1000TEU	1300.8
2000TEU	2035.9
3000TEU	2035.9
4000TEU	2714.5
5000TEU	4071.8
6000TEU	4071.8

(資料來源:高雄港務局, 2006)

4.5 建構利潤最大化模式

將迴歸式(8)、(10)、(11)、(12)式代入原目標式(1)內，整理化簡後即可得到一個二維非線性目標函數如下式(13)：

$$\begin{aligned}
 \pi = \underset{(V,T)}{Max} N f(V, T) &= \underset{(V,T)}{Max} N (R_y - C_y) \\
 &= N \left[(P_{ab} \times L_a \times T) + (P_{ba} \times L_b \times T) \right] \times \\
 &8760 \div \left[\left(\frac{2D}{V} \right) + \left(\frac{(L_a + L_b)T}{t_a} + \frac{(L_a + L_b)T}{t_b} + Y_n \right) \right] - \\
 &N \left\{ \left(e^{-1.257} T^{0.583} V^{0.822} \right) + \left(e^{-1.518} T^{0.583} V^{0.822} \right) + 8760 \div \left[\left(\frac{2D}{V} \right) + \left(\frac{(L_a + L_b)T}{t_a} + \frac{(L_a + L_b)T}{t_b} + Y_n \right) \right] \right. \\
 &\quad \times (L_a + L_b)(O_a + O_b)T + \left[23.9517 T^{0.582} \left(\frac{(L_a + L_b)T}{t_a} + \frac{(L_a + L_b)T}{t_b} + Y_n \right) \times \right. \\
 &\quad \left. \left. 365 \div \left[\left(\frac{2D}{V} \right) + \left(\frac{(L_a + L_b)T}{t_a} + \frac{(L_a + L_b)T}{t_b} + Y_n \right) \right] \right] \right\} + \\
 &\quad \left[\left[250 \times e^{-6.501} T^{0.447} V^{2.413} \times \left(\frac{2D}{V} \right) \times 365 \div \left[\left(\frac{2D}{V} \right) + \left(\frac{(L_a + L_b)T}{t_a} + \frac{(L_a + L_b)T}{t_b} + Y_n \right) \right] \right] \right]
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

第五章 模式求解與實例分析

在模式求解與實例分析方面，綜合地域、國家、世界港口排名等因素，本研究決定選取屬於太平洋遠洋航線之高雄至洛杉磯航線為例。由表 5-1 可得知，高雄港以及洛杉磯港皆排名於世界貨櫃裝卸量前十大港中，因此可知此航線具有充分之代表性。

表 5-1 2005 年全球前十大貨櫃港

排名	港口	國別
1	香港	中國
2	新加坡	新加坡
3	上海	中國
4	深圳	中國
5	釜山	韓國
6	高雄	台灣
7	鹿特丹	荷蘭
8	洛杉磯	美國
9	漢堡	德國
10	安特衛普	比利時

(資料來源：Containerisation International,march 2006)

5.1 模式參數之設定

本研究選定高雄-洛杉磯航線作為實例求解分析，貨櫃船隊由高雄港至洛杉磯港做往返航行，在此高雄港相當於模式中之 a 港；而洛杉磯港則為模式中之 b 港。在實例求解中假設貨櫃船的承載率為去程 80%(高雄-洛杉磯)、回程 50%(洛杉磯-高雄)，即 $L_a = 0.8$ ， $L_b = 0.5$ 。此假設雖較為樂觀，但大致上符合近年來的平均市場情況。高雄至洛杉磯航線的基本資料如表 5-2 所示，高雄港與洛杉磯港航線的距離為 7318 哩；兩港的貨櫃裝卸費率分別為每 TEU 86 美元與 109 美元，即 $O_a = 86$ ， $O_b = 109$ 。

而貨櫃的運費以及貨櫃裝卸效率本研究則以 Maersk-Sealand（台灣快桅公司）之作業資料為基準，Maersk 在高雄港 118 號碼頭共有兩個船席，每個船席各有兩台橋式起重機(quay crane)，對於大型貨櫃船的裝卸作業，該碼頭通常會使用 2 台橋式起重機對一艘貨櫃船進行裝卸櫃作業。根據實地訪問該貨櫃場作業經理的結果，得知航商計算貨櫃裝卸效率均以每小時有多少個有效動作來計算(moves/per hour)，高雄港 118 號碼頭的貨櫃裝卸率為每台橋式起重機 30 moves/hour，若以 2 台橋式起重機的作業效率來看，一個小時共可達到 60 moves/hour，相當於 72 TEU，因此若將 moves/hour 換算成 TEU/hour，可得到以下結果：

$$1 \text{ moves}=72/60=1.2 \text{ TEU}$$

而根據 Maersk 的作業資料，洛杉磯港的橋式機處櫃效率為每台橋式起重機 27 moves/hour，2 台橋式起重機則為 54 moves/hour，以 1 moves 等於 1.2 TEU 的方式換算，即為每小時 65 TEU，高雄港則為 72 TEU；在運費方面，高雄運往洛杉磯之每櫃運費為 1530 美元，洛杉磯運往高雄之每櫃運費為 910 美元，即 $P_{ab} = 1530$ 、 $P_{ba} = 910$ 。

表 5-2 高雄-洛杉磯航線基本資料 1

項目/港口	高雄	洛杉磯
航線距離	7318 哩	
燃油價格	250 美元/噸	
碼頭工時	24 小時/天	
工作天數	365 天/年	
每櫃裝卸費	86 美元/TEU	109 美元/TEU
承載率(模式假設)	80%	50%

(資料來源:本研究整理)

表 5-3 高雄-洛杉磯航線基本資料 2

Maersk-Sealand		
項目/港口	高雄	洛杉磯
每櫃運費	1530 美元/TEU	910 美元/TEU
貨櫃裝卸效率 (moves)	60 moves/hour	54 moves/hour
貨櫃裝卸效率 (TEU)	72 TEU/hour	65 TEU/hour

(資料來源:Maersk-Sealand Kaohsiung, 台灣快桅 2006, 3 月)

從高雄-洛杉磯航線之基本資料中，本研究將與模式相關的各參數值代入第四章所建立的利潤最大化模式中，並利用 Mathematica 5.2 軟體求解。由於目前海運市場上所航行的貨櫃船型多在 1000TEU~9000TEU 的範圍之內，而根據 Containerisation International 期刊中截至 2005 年底的新船訂單資料，未來市場上最大的貨櫃船型為 10000TEU，為中國 Cosco 海運公司所訂造，預計在 2009 年交船，因此本研究將貨櫃船型的範圍定為 1000TEU~10000TEU 之間。另外根據國際貨櫃化期刊所提供的資料，現在市場上所航行的貨櫃船之設計船速多在 16 節~26 節之間，因此本研究將船速的上限定為 26 節。

本研究參考全球各主要航商如 Maersk-Sealand、Cosco、K-Line、長榮、萬海、陽明、Hanjin、OOCL、NYK、Hapag-Lloyd、MOL 等重要的海運公司之船期表，將高雄至洛杉磯航線之定期船班資料整理如下表 5-4：

表 5-4 各航商高雄-洛杉磯航線船班間隔

航商	起港	迄港	航班間隔(天)
Maersk-Sealand	高雄	洛杉磯	7
Cosco	高雄	洛杉磯	7
K-Line	高雄	洛杉磯	7
長榮	高雄	洛杉磯	7
萬海	高雄	洛杉磯	7
陽明	高雄	洛杉磯	7
Hanjin(韓進)	高雄	洛杉磯	7
OOCL	高雄	洛杉磯	8
NYK	高雄	洛杉磯	7
Hapag-Lloyd	高雄	洛杉磯	7
MOL	高雄	洛杉磯	7

(資料來源:本研究整理)

表 5-4 顯示各航商於高雄至洛杉磯航線之定期船航班間隔多在 7~8 天，也就是約一個禮拜提供一個航次的服務，即可在海運市場中保有競爭力，因此本研究將航商一年在高雄-洛杉磯航線上所提供的總航次數設為 52 次(一個禮拜一個航次)，即 $Z = 52$ ，提供海運業者作為參考。

5.2 模式實例求解

在貨櫃船隊一年提供 52 個船次的服務水準限制下，不同的船舶數量的最適船型、船速以及船隊一年所獲得的最大利潤如表 5-5 所示：

表 5-5 不同船舶數量下的最適船型、船速以及船隊之最大利潤

船舶數量(艘)	最大利潤(美元)	最適船型(TEU)	最適船速(節)
1	X	X	X
2	X	X	X
3	X	X	X
4	173580000	2917.48	25.9998
5	478672000	7350.41	25.9997
6	674910000	10000	23.2066
7	692575800	10000	18.3151
8	703109600	10000	15.1267
9	709997400	10000	12.8838
10	714799000	10000	11.2202
11	718308800	10000	9.9370
12	720968400	10000	8.9172

(資料來源:本研究整理)

表 5-6 不同船舶數量下的貨櫃船隊最大利潤變化情形

船舶數量(艘)	最大利潤(美元)	邊際利潤(美元)
4	173580000	--
5	478672000	305092000
6	674910000	196238000
7	692575800	17665800
8	703109600	10533800
9	709997400	6887800
10	714799000	4801600
11	718308800	3509800
12	720968400	2659600

(資料來源:本研究整理)

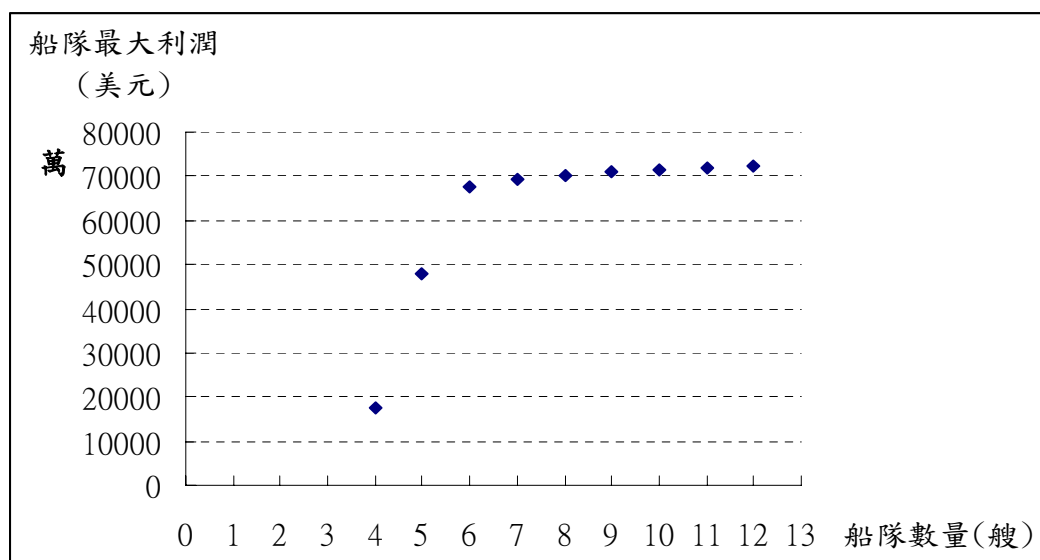


圖 2 不同船隊數量下的船隊最大利潤變化情形

模式求解的結果顯示，在貨櫃船隊一年提供 52 個船次的服務水準限制下，當船舶數量為 1 至 3 艘時並無法滿足此限制條件(模式無法求解)，必須要 4 艘船以上才能使船隊符合此服務水準之限制。

由表 5-5 顯示當船舶數量為 4 艘、5 艘船時，最適船速皆維持在 26 節的航行速度，而最適船型會隨著船隊數量增加而變大，船隊之最大利潤值也呈現遞增的現象，尤其在船舶數量由 4 艘船增加至 5 艘船時的變動幅度最大。當船舶數量增加至 6 艘船後，最適船速會隨著船舶數量增加而變小，最適船型皆到達模式所設定的上限 10000 TEU，而船隊最大利潤值還是隨著船舶數量增加而變大，但增加的幅度越趨平緩。由表 5-6 可看出船隊的邊際總利潤值，會隨著船隊中船舶數量的增加而遞減。

本研究最初曾經嘗試對船型以及船速不設限制的情況下求解，所得到的結果為最適船型會隨著船舶數量增加而增加，船速會隨著船舶數量增加而變小，而船隊最大利潤值還是隨著船舶數量增加而變大，但所求得的船型和船速都已經超出現今造船科技所能達到的範圍(ex. 當船舶數量為 6 艘船時，最適船型為 19426 TEU，最適船速為 57.8 節)，因此在考量此情形下決定在符合現況的假設下進行求解。由表 5-5 顯示當船舶數量增加至 6 艘船以後，之後不論船舶數量如何增加，最適船型皆為 10000 TEU，其原因可能就是因為本研究於模式設定的上限值是 10000 TEU，使得原本會隨著船舶數量增加而增大的船型，到達此上限後就被限制而不增加。

5.3 運送時間(Transit Time)與最適船舶數量、船型及船速

在目前海運運能過剩，供過於求的市場環境下，各航商的競爭也日益激烈。近年來航商競爭的重點主要為運價以及運送的服務品質，其中運價主要用來作為市場區隔的標準(如運送時間為 21 天的運價比運送時間為 13 天的運價低)，而非一昧的惡性競價，因此運送服務的品質仍為航商保持顧客忠誠度的重點。運送時間(transit time)為運送服務品質中最重要的一項指標，近年來各航商紛紛以縮短運送時間的方式來提升其服務的競爭力，因此本研究參考全球各主要航商如 Maersk-Sealand、Cosco、K-Line、長榮、MOL(Mitsui O.S.K Lines)、陽明、Hanjin、OOCL、NYK、Hapag-Lloyd 等重要的海運公司之船期表，將高雄至洛杉磯航線之定期船單程運送時間(transit time)整理如下表 5-7:

表 5-7 各航商高雄-洛杉磯航線船班間隔

航商	起港	迄港	運送時間(天)
Maersk-Sealand	高雄	洛杉磯	11~13
Cosco	高雄	洛杉磯	12
K-Line	高雄	洛杉磯	11
長榮	高雄	洛杉磯	13
MOL	高雄	洛杉磯	11
陽明	高雄	洛杉磯	13
Hanjin(韓進)	高雄	洛杉磯	11
OOCL	高雄	洛杉磯	13
NYK	高雄	洛杉磯	11
Hapag-Lloyd	高雄	洛杉磯	11

(資料來源:本研究整理)

由表 5-7 可知目前經營高雄-洛杉磯航線之各主要航商所提供的運送服務，其運送時間多以 11~13 天居多，因此為了使航商在此航線上保有競爭力，貨櫃船隊的運送時間也應該在 11~13 天的範圍內。

表 5-8 為利用 5.2 節所求得不同船舶數量的最適船速，換算出不同船舶數量於高雄-洛杉磯航線上所需要的運送時間：

表 5-8 不同船舶數量下的運送時間

船舶數量(艘)	最大利潤 (美元)	最適船型 (TEU)	最適船速(節)	運送時間(天)
4	173580000	2917.48	26	11.72
5	478672000	7350.41	26	11.72
6	674910000	10000	23.20	13.14
7	692575800	10000	18.31	16.65
8	703109600	10000	15.12	20.16
9	709997400	10000	12.88	23.66
10	714799000	10000	11.22	27.18
11	718308800	10000	9.93	30.68
12	720968400	10000	8.91	34.22

(資料來源:本研究整理)

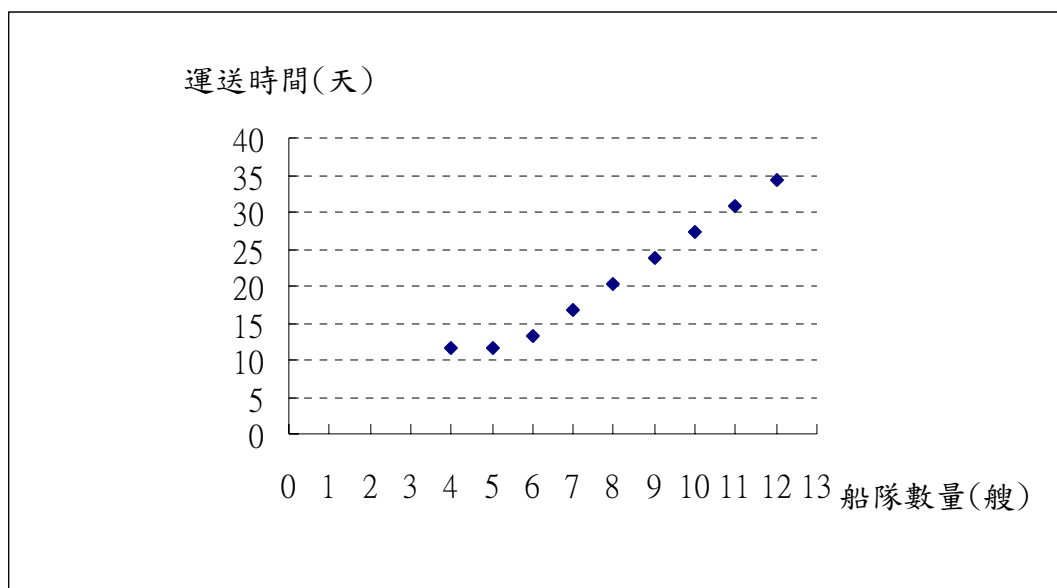


圖 3 不同船舶數量下的運送時間變化情形

上圖 3 顯示當船舶數量增加時，在各別最適船速下的運送時間也會隨之增加。表 5-9 為提供不同運送時間的服務，其所對應的最佳船舶數量、船型、船速，當最大可容忍之運送時間為 13 天時，最佳船隊數量為 6 艘船，當最大可容忍之運送時間為 12 天以及 11 天時，最佳船舶數量為 5 艘船。

表 5-9 運送時間與最適船舶數量 1

最大可容忍之運送時間	最適船舶數量	最適船型	最適船速	船隊總利潤
13 天	6 艘	10000 TEU	23.20 節	674910000 美元
12 天	5 艘	7161.74 TEU	26 節	478672000 美元
11 天	5 艘	7161.74 TEU	26 節	478672000 美元

(資料來源:本研究整理)

從另一個角度來看，若欲將運送時間設定必須為 13 天以內，則對高雄-洛杉磯航線上運行的貨櫃船來說，船速必須要大於等於每小時 23 節的速度才有可能達到此一要求，因此將此一船速的限制加入模式中求解，所得到的結果為下表 5-10:

表 5-10 船速大於等於 23 節的最適船型與船速

船舶數量(艘)	最大利潤 (美元)	最適船型 (TEU)	最適船速(節)	運送時間(天)
4	173580000	2917.2	26	11.72
5	478672000	7350.41	26	11.72
6	674910000	10000	23.20	13.14
7	X	X	X	X
8	X	X	X	X
9	X	X	X	X
10	X	X	X	X
11	X	X	X	X
12	X	X	X	X

(資料來源:本研究整理)

由表 5-10 顯示當船舶數量為 4~6 艘船時，其結果與之前所求得的结果相同，但當船舶數量增加到 7 艘船以後，模式便無法在一年 52 個船次的限制式下求解，因為當船舶數量增加到七艘船後，若貨櫃船以大於等於每小時 23 節的船速航行，則一年的總船次必定會大於 52 航次，此結果也說明了在目前的海運市場狀況下，若航商欲在高雄-洛杉磯航線提供一年 52 個航次，以及運送時間小於等於 13 天以內的服務以保有競爭力，則船隊中的船舶數量不需要大於 6 艘船即可做到此運送服務的要求。

5.4 每船一年航行整數個航次之討論

在模式的限制式中：

$$N Q_y = 365 \div \left[\left(\frac{2D}{V} \div 24 \right) + \left(\frac{(L_a + L_b)S}{T_a} + \frac{(L_a + L_b)S}{T_b} + K_n \right) \div 24 \right] \times N = 52$$

其中 Q_y 為每船一年所航行的航次數，可表示為下式：

$$Q_y = 365 \div \left[\left(\frac{2D}{V} \div 24 \right) + \left(\frac{(L_a + L_b)S}{T_a} + \frac{(L_a + L_b)S}{T_b} + K_n \right) \div 24 \right] = \frac{52}{N}$$

由上式可以發現，隨著船舶數量的不同，每艘船一年所航行的航次數可能為整數也可能非整數，例如當船舶數量為 4 艘船時，每艘船一年所航行的航次數為 $52/4 = 13$ 個航次，而當船舶數量為 5 艘船時，每艘船一年所航行的航次數則為 $52/5 = 10.4$ 個航次。因此本節將討論當船舶數量不同，而每艘船一年皆航行整數個航次時，在船隊一年至少提供 52 個航次限制下的最適船型、船速以及船隊年總利潤之變化情形。

以下將討論當船舶數量為 4 艘、5 艘、6 艘、7 艘、8 艘、9 艘船時，每艘船一年航行整數個航次，並且船隊一年的總航次數需至少為 52 時的最適船型、船速以及船隊總利潤之變化情形，而年總利潤的計算方式如下表 5-11 所示，若船隊的總航次數大於 52 時，則將多餘的航次利潤併入下一年度計算，而船隊一年的利潤計算還是以 52 個航次為基準。

表 5-11 每船航行整數航次之船隊年總利潤計算

船舶數量(艘)	每船一年之航次	船隊之總航次數	船隊之年總利潤 計算方式
4	13	52	$\bar{\pi} = \pi$
5	11	55	$\bar{\pi} = \pi \times \frac{52}{55}$
6	9	54	$\bar{\pi} = \pi \times \frac{52}{54}$
7	8	56	$\bar{\pi} = \pi \times \frac{52}{56}$
8	7	56	$\bar{\pi} = \pi \times \frac{52}{56}$
9	6	54	$\bar{\pi} = \pi \times \frac{52}{54}$

(資料來源:本研究整理)

由表 5-11 顯示，當船隊的船舶數量為 4 艘船時，則每船一年需航行 13 個航次以達到總航次最少為 52 的限制；而當船舶數量為 5 艘船時，則每船一年需航行 11 個航次；當船舶數量為 6 艘船時，則每船一年需航行 9 個航次；當船舶數量為 7 艘船時，則每船一年需航行 8 個航次；當船舶數量為 8 艘船時，則每船一年需航行 7 個航次；當船舶數量為 9 艘船時，則每船一年需航行 6 個航次。

表 5-12 每船一年航行整數航次的最適船型、船速以及船隊之年總利潤

船舶數量(艘)	最適船型(TEU)	最適船速(節)	船隊之年總利潤 (美元)
4	2917.48	26	173580000
5	6141.15	26	394589709
6	10000	24.67	669297777
7	10000	20.47	684996000
8	10000	16.8	697692171
9	10000	13.55	707987800

(資料來源:本研究整理)

上表 5-12 為在船舶數量為 4 艘、5 艘、6 艘、7 艘、8 艘、9 艘船時，每船一年航行整數航次並且船隊總航次至少為 52 次的限制下，其所對應的最適船型、船速以及船隊之年總利潤。結果顯示最適船速會隨著船舶數量的增加而遞減，最適船行會隨著船舶數量增加而增大，當船舶數量增加至六艘船後，最適船型也達到 10000 TEU 的上限值而不在增加。船隊之年總利潤也同樣會隨著船舶數量的增加而遞增，但隨著船舶艘數的增加，其增加之幅度也越趨於平緩。

下表 5-13 為在船舶數量為 4 艘、5 艘、6 艘、7 艘、8 艘、9 艘船時，每船一年航行整數航次並且船隊總航次至少為 52 次的限制下，其所對應的單程運送時間。

表 5-13 不同船舶數量下，每船一年航行整數航次的單程運送時間

船舶數量(艘)	最適船型(TEU)	最適船速(節)	運送時間(天)
4	2917.48	26	11.72
5	6141.15	26	11.72
6	10000	24.67	12.36
7	10000	20.47	14.9
8	10000	16.8	18.15
9	10000	13.55	22.5

(資料來源:本研究整理)

表 5-13 顯示當船舶數量增加時，在個別所對應的最適船速下的運送時間也會隨之增加。表 5-14 根據不同運送時間的需求，其所對應的最佳船舶數量、船型、船速，當最大可容忍之運送時間為 13 天以及 12 天時，最佳船隊數量為 6 艘船，當最大可容忍之運送時間為 11 天時，最佳船舶數量為 5 艘船。

表 5-14 運送時間與最適船舶數量 2

最大可容忍之運送時間	最適船舶數量	最適船型	最適船速	船隊總利潤
13 天	6 艘	10000 TEU	24.67 節	669297777 美元
12 天	6 艘	10000 TEU	24.67 節	669297777 美元
11 天	5 艘	6141.15 TEU	26 節	394589709 美元

(資料來源:本研究整理)

第六章 結論與建議

本章回顧本研究之內容，歸納與分析模式所獲得的結果，並且檢討本研究不足之處，最後提出幾點建議，期望能給未來的相關研究作為參考。

6.1 結論

本研究以船型以及船速為變數，並於模式中加入船隊數量的參數，將一艘船提升為一個船隊以符合實際營運的狀況，考慮一個船隊在滿足每個港口每周有一船班的前提下，船隊之船舶數量、噸位以及船速對於成本面以及收益面的抵換 (trade off) 關係，並且以利潤最大化為目標，建立一個非線性規劃模式，分析航商如何決定在既有航線上貨櫃船隊之最佳船舶數量、船型及船速。最後並以高雄-洛杉磯航線為例，在符合航線實際所需船次的前提下，利用敏感度分析，找出所對應的最適船型、船隊之船舶數量以及船速，使得航商在航線上所獲得的利潤最大，以及保持於航線上營運的競爭力。

本研究選定高雄-洛杉磯航線作為實例求解分析，在貨櫃船隊一年提供 52 個船次的服務水準限制下，求解在不同的船舶數量下的最適船型、船速以及船隊一年所能獲得的最大利潤。在使得所提供的航次服務間隔時間以及運送時間於目前海運市場上具有競爭力的前提下，得到的結果為當最大可容忍之運送時間為 13 天時，最佳船隊數量為 6 艘船，最適船型為 10000 TEU，最適船速為 23.2 節；當最大可容忍之運送時間為 12 天以及 11 天時，最佳船舶數量為 5 艘船，最適船型為 7161.74 TEU，最適船速為 26 節。

之後也討論了每船一年航行整數個航次的情形，得到的結果為當最大可容忍之運送時間為 13 天以及 12 天時，最佳船隊數量為 6 艘船，最適船型為 10000 TEU，最適船速為 24.67 節；當最大可容忍之運送時間為 11 天時，最佳船舶數

量為 5 艘船，最適船型為 6141.15 TEU，最適船速為 26 節。

以下將本研究模式實例分析所得到的幾項重要結論整理為下列幾點：

- (1)對於像高雄-洛杉磯航線這樣的遠洋航線來說，在貨櫃船隊一年提供 52 個航次的服務水準限制下，當船舶數量為 1 至 3 艘時並無法滿足此限制條件(模式無法求解)，必須要 4 艘船以上才能使船隊符合此服務水準之限制。
- (2)在沒有對貨櫃船型設定上限的情況下，貨櫃船隊之最適船型會隨船舶數量增加而增加，最適船速會隨著船舶數量增加而變小，而船隊之最大利潤值也隨著船舶數量增加而呈現遞增的現象。
- (3)當船舶數量增加時，由於最適船速會隨著船舶數量增加而變小，運送時間也會隨之增加。
- (4)根據本研究之分析，在目前的海運市場狀況下，若航商欲在高雄-洛杉磯遠洋航線上提供一年 52 個航次，以及運送時間小於或等於 13 天的服務以保有競爭力，則船隊中的船舶數量不需要大於 6 艘船即可做到此運送服務的要求，因此在航線距離不超過高雄-洛杉磯遠洋航線距離的情形下，航商不需提供超過 6 艘船的船隊即可營運。
- (5)本研究之分析結果顯示，在現今海運市場景氣及碼頭作業效率良好的狀況下，大型貨櫃船的確會帶給航商較大的利潤。根據國際貨櫃化期刊(Containerisation International)中的新船訂單資料，未來市場上最大的貨櫃船型為中國 Cosco 海運公司所訂造之 10,000 TEU 貨櫃船，由 Hanjin Heavy Ind 造船廠建造，預計在 2009 年交船，這也說明了隨著造船科技的進步，預期未來海運市場上會有更多大於 10,000 TEU 的大型貨櫃船在市場上營運。

6.2 對後續研究之建議

航商以大型貨櫃船於航線上營運，在現實上仍需要注意是否有足夠的貨量來支持，本研究中模式所假設的貨櫃船載櫃率對於現今的海運市場狀況來說較為樂觀，實際上貨運需求有限，希望將來的相關研究能把實際的貨運需求限制加入模式中考量，以求得更符合實際市場狀況的貨櫃船型。

另外在航線上停靠港口的數量方面，本研究考慮較為單純，假設貨櫃船隊只停靠起訖兩港，而未來的模式可以考慮結合海運軸幅路網之研究，分析軸心港選擇問題以及貨櫃船隊定線問題，在貨櫃船隊停靠多個港口的架構下進行分析，使研究內容更能符合實際的營運狀況。



參考文獻

1. 郭重佑(民 92),「以利潤最大化為目標之最適貨櫃船型模式之研究」, 交通大學運輸科技與管理學系碩士論文。
2. 董孝行(民 75),「貨櫃船規模經濟的分析」, 運輸計畫季刊, 第十五卷第二期, 頁 279-299。
3. 謝尚行、王賢崙(民 89),「貨櫃船最適船型的理論與實務探討」, 中華民國運輸學會第十五屆學術論文研討會論文集, 頁 755-764。
4. 王克尹,「國際海運現況與發展趨勢分析」, 港灣報導, 58 期, 頁 40-70, 2001。
5. 吳偉銘,「國籍貨櫃航商船舶大型化之績效研究」, 航運季刊, 第十一卷, 第三期, 頁 51-62, 2002。
6. 張雅富、葉乃紋、郭珮玲,「當前港口面臨極大型貨櫃船的問題」, 港灣報導, 71 期, 頁 35-40, 2005。
7. 郭石盾,「新生代貨櫃碼頭設施與設備」, 港灣報導, 73 期, 頁 38-50, 2006。
8. Boyer, K.D. (1998), Principles of Transportation Economics, Addison Wesley Longman, Inc.
9. Containerisation International Yearbook (2002)
10. Containerisation International, Jan 2003 -April 2006.
11. Cullinane, K. and Khanna, M. (1999), "Economics of Scale in Large Container Ships, " Journal of Transport Economics and Policy, " Vol.33, Part 2, pp.185-208.
12. Cullinane, K. and Khanna, M. (2000), "Economics of Scale in Large Container Ships: Optimal Size and Geographical Implications," Journal of Transport Geography, 8, pp.181-195.

13. Drewry Shipping Consultants (1995), Muli-Purpose Cargo Ships -London: Drewry Shipping Consultants.
14. Gilman,S. (1980), Shipping Choice in the Container Age -Liverpool, UK: Marine Transport Center.
15. Lim, S.D. (1994), "Economics of Container Ship Size: A New Evaluation," Maritime Policy and Management, Vol.21, No.2, pp.149-160.
16. McLellan, R.G (1997), "Bigger Vessel: How Big is too Big?" Maritime Policy and Management, Vol.24, No.2, pp.193-211.
17. Shneerson, D. and Jansson, J.O. (1982), "The Optimal Ship Size," Journal of Transport Economics and Policy, Vol.16, No.3, pp.217-38.
18. Shneerson, D. and Jansson, J.O. (1985), "A Model of Scheduled Liner Freight Services: Balancing Inventory Cost against Ship owner's Costs," The Logistics and Transportation Review, Vol.21, No.3, pp.195-215.
19. Talley, W.K. (1990), "Optimal Containership Size," Maritime Policy and Management, Vol.17, No.3, pp165-175.

附錄 一. 新建船舶資料

船型(TEU)	船速(knot)	船價(10000 US\$)
8200	25	7900
2700	21.7	4580
2478	22.3	3750
1500	16	1700
1200	19	4350
5100	25	5700
4250	24	4700
8600	25	9400
6070	25	8000
3500	23.4	4500
2824	23.5	4250
4550	23	5830
2824	23.5	4430
2478	22.5	3750
1043	20	1650
6800	25	8300
5100	24.5	6700
3500	23.4	4100
3400	22.5	5000
4250	24.2	5100
3500	23.4	4445
2556	22	4200
1740	18	2650
1118	18	1900
6019	24	6700
3091	22.3	4050
8400	25	9700
4300	25.2	6650
4253	24.5	5750
6500	25	9150
5089	24.5	7000
9200	25	11500
8400	25	10850

2750	21	4100
1100	17	2000
8530	25.6	9300
2700	22.5	4300
2500	22.5	4000
1100	19	1950
6500	25	9200
2600	23	3100
2600	22	4500
1108	19	2450
1100	20	2670
9600	26	13100
3200	22	6200
2800	23	5500
1700	20	4200
1300	18	3300
3400	22.5	6300
2824	23.5	5000
10000	25	10000
8400	25.5	12800
4300	26	7300
4250	24.5	7000
2700	23	5350
1819	20	4000
6800	25	10600
6500	25	10500
5600	23.3	8500
4900	23	6300
4334	25	6800
4250	24.2	5900
2741	22	5400
8600	25.8	13000
6500	25.6	9500
5100	24.3	8000
4900	25	7200
4700	25	7850
4300	24.4	6400
3400	23.5	5700

2741	22.3	5100
1900	20	4500
1800	20	3925
10000	25.8	12740
2824	23.5	4850
1000	20	3600
5762	26	8800
4275	24.5	6380
6800	25	6900
5576	24	6500
1300	20	3200

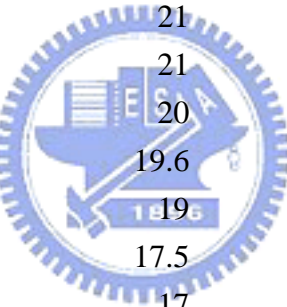
(資料來源:國際貨櫃化期刊, 本研究整理)



附錄 二. 燃油成本資料

船型(TEU)	船速(knot)	每日耗油量(ton/day)
3680	24	125
3530	22.5	97.5
2870	22.5	90
2810	22.4	100.5
2490	20	67.5
2480	20	69
2090	18	49.9
2070	20.8	84.5
1790	18.5	46
1600	18.2	48
1500	21	64.8
1430	18.5	56.3
1270	18	51
1050	17.5	30.5
1020	17.6	32
950	18.5	44.3
940	19	44
830	18	36.75
640	18	29
600	17.5	21.9
570	16.5	26.5
550	15	23.4
550	17.5	28
540	16	16.1
540	17.5	21.5
510	15.5	15
440	14.5	15
410	16	15.5
2540	22	77.8
2530	21.9	87
2450	21	73
2260	22.3	85.8
2110	20	58

2080	21	72
2060	21	73
1800	20	50.7
1740	18.8	48
1740	19.5	47.5
1740	20.5	61.5
1730	20	55
1710	21.8	67.3
1700	19	49.5
1700	19.6	53.5
1700	19	49.5
1680	19.5	53
1680	20	49.5
1650	21	72.5
1640	17.5	37
1610	20	55.5
1600	21	60.5
1580	21	60.5
1550	20	49
1510	19.6	47
1450	19	45
1200	17.5	37
1160	17	30.5
1120	18.5	41.5
1120	19	44
1100	19	42.5
1100	20	43
1030	17.5	32.5
1010	17.5	30.5
920	17	28
4000	24	149
3910	23.5	131
3600	23.8	123
2990	21	91
2820	20.5	86
1680	19.5	48
1600	18.2	48
1180	17.5	44.3



1020	17.3	30
2200	20.5	86.75
2110	20	58
2080	21	72
2000	20.8	73
1740	19.5	47.5
1730	20	54.5
1700	19.6	53.5
1600	21	60.5
1590	18	45
1510	19.6	47
1500	20	49
1380	18.6	46
1120	19	44
1120	16	31.5
1100	18.5	43.5
3980	24.5	149
3600	23.8	118
2800	22	93
2480	20.5	79
1890	19.25	67.5
1500	21	64.8
1400	19	43
2470	21	66.5
2270	19.6	68
2060	21	73
1790	18.7	48
1730	20	54.5
1700	19	49.5
1550	20.5	58
1550	19.5	48
1510	19.6	44.5
1450	18.5	47
1300	17	29.4
1280	18	47.5
1180	17.2	35.5
1120	18.5	43.5
1120	19	45

1100	20	43
3460	23.8	110
2070	21	77
1890	19.25	68.5
1210	22.2	66
2760	23	103
2520	21.6	78
2450	21	73
2250	20	67.3
2210	20.5	86.75
1740	20.5	61.5
1720	19.6	54
1710	21.8	67.3
1620	21	66.5
1550	20	49
1120	19	45
3010	21.6	97
2520	22	78
2470	21	70
2060	19.5	50.7
1800	19.5	48
1790	18.5	46
1640	21	63.7
3010	21.6	97.01
2520	22	78
2460	22	78
2200	21.5	79
1740	20.5	61.5
1500	20.5	58
1120	18.5	41.5
1120	19	45
1100	20	43
4130	24.25	144.1
4000	25	149
3530	22.5	97.5
2820	24	99
1200	22.2	66
4130	24.25	144.1

3420	23	109
1670	21	63.7
2160	20	55
1120	19	45
3600	23.8	118
1610	19.3	42
3460	23.5	112
2480	20	75
3010	21.6	97
2760	23	103
2540	22.4	81.2
2440	21.8	75
2160	19.7	54.7
1620	21	66.5
1550	20.5	58
1100	20	43
2730	22.5	89.3
1730	23	100
4840	24	142
1610	19.3	50.1
4380	24.5	173
1210	22.2	69.5
2760	22.8	108
2520	22.1	89
2470	22.3	74
1730	20	55
1710	21.8	67.3
1550	20.5	58
1070	19.5	55
2820	24	101.5
1670	21	63.7
1210	22.2	66
1150	19	38
3010	21.6	97
1550	20	49
1110	19.2	41
4890	24	142
4700	25	149

1670	21	63.7
1650	23	100
1210	22.2	66
2520	21.7	78.5
1740	20.5	61.5
1070	19.5	55.6
1720	20	54.5
2210	20.5	86.75
1100	20	43
2080	21	72

(資料來源:國際貨櫃化期刊, 本研究整理)



附錄三. 對貨櫃船型及船速無限制的情況下求解

船舶數量(艘)	最適船型(TEU)	最適船速(節)
1	X	X
2	3462.31	71.28
3	7511.08	66.55
4	11282.8	62.6
5	15335	59.93
6	19426.1	57.82
7	23545.7	56.09
8	27687	54.64
9	31845.4	53.39
10	36017.6	52.29
11	40201.2	51.32
12	44394.4	50.45