

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景

1970 年代貨櫃化運輸的興起，使得海運市場的營運型態轉變為以定期航運為主之發展，並經全球國際貿易的快速拓展及物流系統的導入，促使船舶大型化的發展。Slack(1985)指出貨櫃化的趨勢使得競爭形勢越漸擴大，研究分析出航商及貨主選擇港埠的各種準則。由於海運市場中，貨物流量的不均與不確定性之問題，使得此產業所要面臨的環境更為棘手。另外，就海運營運成本而言，港埠成本佔有極高的比重，為降低每單位運送成本，利用大型船舶經營軸心港構成之主航線，輔以小型接駁船經營集線港的經營策略，亦即以海運軸輻路網為定線基礎，發展船隊航線指派策略以降低運費成本，獲得較高的利潤、廣大服務路網、服務水準，以增強整體的競爭力。

藉由航商考慮成本的因素，是故開始利用規模經濟產生更大的效益，因而導致大型船舶的發展。大型船舶可以攤薄成本費，使得航商可節省其營運成本，增加其經濟利益之最大驅動力。根據新民週刊報導，關於海運船舶研究顯示出當載運同樣數量的貨物，6,000 TEU 超巴拿馬型貨櫃船可比 4,000 TEU 的貨櫃船節省大約 30% 的船員費用，20% 的燃料費用，15% 的港口費用及 10% 的保險費用(因為近幾年所建造的船舶平均造價下降 25% 至 30%)。

根據法國資深經紀公司 Barry RogloanoSalles 編纂的 Alphaline 統計資料顯示，1996 年配載 5,000 TEU 以上的船隻僅佔全球總貨櫃船船舶的 1%，直至 2001 年初期同類船型以上之總貨櫃船已上升至全球總貨櫃船船隻運能的 12.7%，估計未來兩年內 5,000 TEU 以上的貨櫃船舶將會佔全球貨櫃船運能的三分之一。再者，Barry RogloanoSalles 公司預計目前將近 8,000 TEU 的貨櫃船之新船訂單大約將近為 100 艘。故面對大型船舶的成長趨勢，海運市場更必須面臨配貨的壓力，妥善安排配置其船舶航線的部署。

全球最大航商“Maersk Sealand”於 1996 年後陸續使用超巴拿馬極限船，大於 6,000 TEU 的貨櫃船，至今其下的船舶有 26 艘貨櫃船舶大於 6,000 TEU。而 2001 年年底世界上最大的貨櫃船“漢堡快航”下水，開啟了大於 7,000 TEU 大型貨櫃船另一個里程碑。由此可知，大型船舶的發展已是航商們針對主要航線所必備的船型。

大型船舶規模經濟的特性可減少每單位貨櫃平均的運送成本外，容量大也可載運較多的貨櫃，增加運費收入。Hayut(1981)說明航商為了減少營運成本所採行的基本策略為：(一)以利大型船舶航型開闢高運量的國際航線，(二)減少船隻泊靠港口。但當貨物流量不足時或者流量不均時，利用大型船舶運送貨物，只是造成更多資源浪費，反而只是讓航商背負著更多虧損的壓力罷了。為解決此不穩定的產業型態及跟隨著潮流的發展，航商須改變其營運型態，利用船舶大型化減少每單位運送成本之策略參與營運，並以海運軸輻路網的配套措施，開發更有競爭力的船隊航線策略，迎接轉變迅速的產業變動。因此本研究將朝著更為細膩且完善的方式輔助航商規劃船隊航線，求解軸心港及集貨港的選擇及配置，以最大利潤為目標，切確地分配定期貨櫃航線配置，強化競爭優勢。

眾所皆知新加坡港(Port of Singapore-PSA)為首屈一指以轉運貨櫃為主的轉運港口，其積極開發港務，並以科技優勢、自由貿易及完善的港口設施吸引顧客。2002年更在世界十大港口排名中居第二名。由於新加坡成功的經營新加坡港，使之成為主要的轉運中心，使得馬來西亞政府亦汲汲於發展成為著名的轉運中心，故自1997年起開始處心積慮地以新加坡港為競爭對手，並在2000年開發PTP (Port of Tanjung Pelepas)，設定其目標與新加坡港一樣的轉運業務。故PTP港自2000年由世界排名第108竄升至全球30大港之內，貨櫃量自418,218 TEU增至2,050,000 TEU，成長率達390%。

顯而易見，海運軸輻路網的建立是未來的趨勢，也是航商對於大型船舶貨物配置問題的解決之道。近年來船舶的大型化，明顯顯現出並非所有大型船舶都可安全進出所制定航線的港埠，而且也並非所有港口的貨物量都需要大型船舶運送，故為了使航商能有效利用船隻，節省成本，創造最大利潤。改變傳統海運所採用典型的單一航線模式作航線規劃選擇，主要以選擇運量大、獲利大的港口，依據地理方位來回航行。但面對運量較小的港口可能會因攬貨上之需求而停泊，這樣只是更為浪費航商的營運成本，所得到了利益也相對地小。因而發展主線及支線模式(將航線分為主線與支線型態探討之，亦稱之為海運軸輻路網)的營運方式，以幫助航商降低運送成本。Godon and Neufville(1973)研究中說明，接連同等數目的場站時，軸輻式網路的經營方式，可大幅減少直接相連的路線數，並相較於直接服務網路更具經濟效益。

## 1.2 研究動機

然對於軸心港與集貨港位置及個數的選擇該用何種方法，以使航商確切降低運輸成本及提升利潤。謝尚行與張斐茹(2000)，利用 O'Kelly (1987)之軸輻路網模式為基礎，應用於定期貨櫃船航線制定上，以建立「海運軸輻路網模式」，使總運送成本最小為目標。其模式簡化為一整數線性規劃模式，雖方便計算，但求解主線及支線的配置，尚未盡完善。

航商如何在眾多港口中選擇軸心港與集貨港，用以作分配，增加運費收入，減少運送成本。O'Kelly(1987)的研究模式求解方式，分為 HEUR1 先假設軸心站的個數，窮舉所有軸心站的組合，求解出單一指派中候選的軸心站；HEUR2 對單一指派解(軸心站之選擇)進行支線的分配處理，利用啟發式(選擇離軸心站較近的支線站)之方法求解。游至誠(2001)以航商最小成本為目標，建立海運軸輻路網。求解主線與支線上的配置(同於 O'Kelly 的求解方式)。宋灼俊(2002)利用利潤最大化之目標及母船與子船容量之限制，找出合適的軸心港與集貨港。模式求解以啟發式概念(同於 O'Kelly 的求解方式)求解，所求得之解只為最佳區域解，非模式最佳確切解。

為了真正區別啟發式與窮舉法在海運軸輻路網問題之真正差異，因而驅使我們往窮舉法的路途邁進。再者，由於港口設置數量有限，且研究範圍僅以遠東-美西航線為主，故本研究將採用窮舉法求解海運軸輻路網問題並比較與啟發式的差異，以探討與分析海運軸輻路網主線母船選擇與支線集貨港指派求解結果，以獲得更確切、更適合實際航運狀況之最佳解。

## 1.3 研究目的

本研究將以最大利潤為目標，考慮市場運費、貨物流量、裝卸費成本及港埠費用，使用二次指派(Quadratic Assignment)的整數規劃方法，利用海運軸輻路網的概念，建立軸心港與支線港最大利潤的模式，並用窮舉法求解兩個模式(模式一為軸心港的選擇，模式二為集貨港的指派)，以求得最適解。而後，探討與比較啟發式求解結果的差異及成效，進行分析討論，以提供最佳航線部署。並利用此解制定國際定期船舶航線與船隊部署，使得航商於眾多港口中，能夠確切的規劃軸心港及集貨港位置的選擇及配置。

由於軸輻路網模式建立之不同及求解方式之差異，可能會使得結果不盡理

想，航商無法確切的得到實際上的優勢。故本研究以宋焯俊(2002)所建立之模式加以修改，並以窮舉法的求解方式，求得其最佳解，而後加以比較分析啟發式解法與窮舉法之差異及二次海運軸輻路網航線選擇與配置，求得最佳的軸心港與集貨港分派。

#### 1.4 研究範圍

由於大陸的開發，使得全世界貨櫃船公司極力爭取此市場，因而有超大型之 8,000 TEU 貨櫃船急欲快速加入遠東至美西航線。再者，根據 JOC-PIERS 發表資料顯示，2002 年亞洲往美國之貨櫃量較去年增加 20.2%，更新了過去以往的成長率，成為史上第一。除此之外，亦可從 2002 年長榮海運與陽明海運營運航線的營收比重看出，美洲航線所給予航運公司的市場價值大於其他航線。表 1-1 為兩家海運公司營運比重。故本研究針對目前海運界最有獲利價值之區域進行航線規劃。

表 1-1 營運航線營收比重

航線	美洲線	歐洲線	亞洲線
長榮海運	57.5%	21.5%	21.0%
陽明海運	42.5%	37.5%	20.2%

資料來源：長榮、陽明

以經營定期貨櫃船舶之航商為研究對象，以越太平洋航線(遠東—北美西岸)為實例，探討航商於一年規劃期間內(因方便於會計年度的計算)，對 12 個候選港口(由東到西分別為：新加坡、馬尼拉、香港、高雄、上海、基隆、釜山、神戶、橫濱、東京、洛杉磯、長堤)，依照地理位置順序的海運特性，建立海運軸輻路網模式以制定船隊定線策略，並利用窮舉法求得最佳解。

本研究僅對航商利用海運軸輻路網方式，以數學規劃技巧建構利潤最大化之模式，並利用窮舉法求解候選之港口中選擇船隊航線之軸心港與支線港的部署，並將比較啟發式求得解的差異，探討並說明之。

## 1.5 研究流程

首先，回顧海運軸路網的發展及探討航線制定的相關問題，以更確切明瞭海運軸輻路網的發展及其優勢。其次，建立與改善數學模式以窮舉法求解軸心港及支線港指派方式，獲取最大利潤之目標。再者，以越太平洋航線(遠東-北美西岸)為例，以實際資料進行求解。最後，比較啟發式解法與窮舉法的結果差異，提出研究結果之重要結論與建議，並加以分析探討。圖 1.1 為研究流程圖。



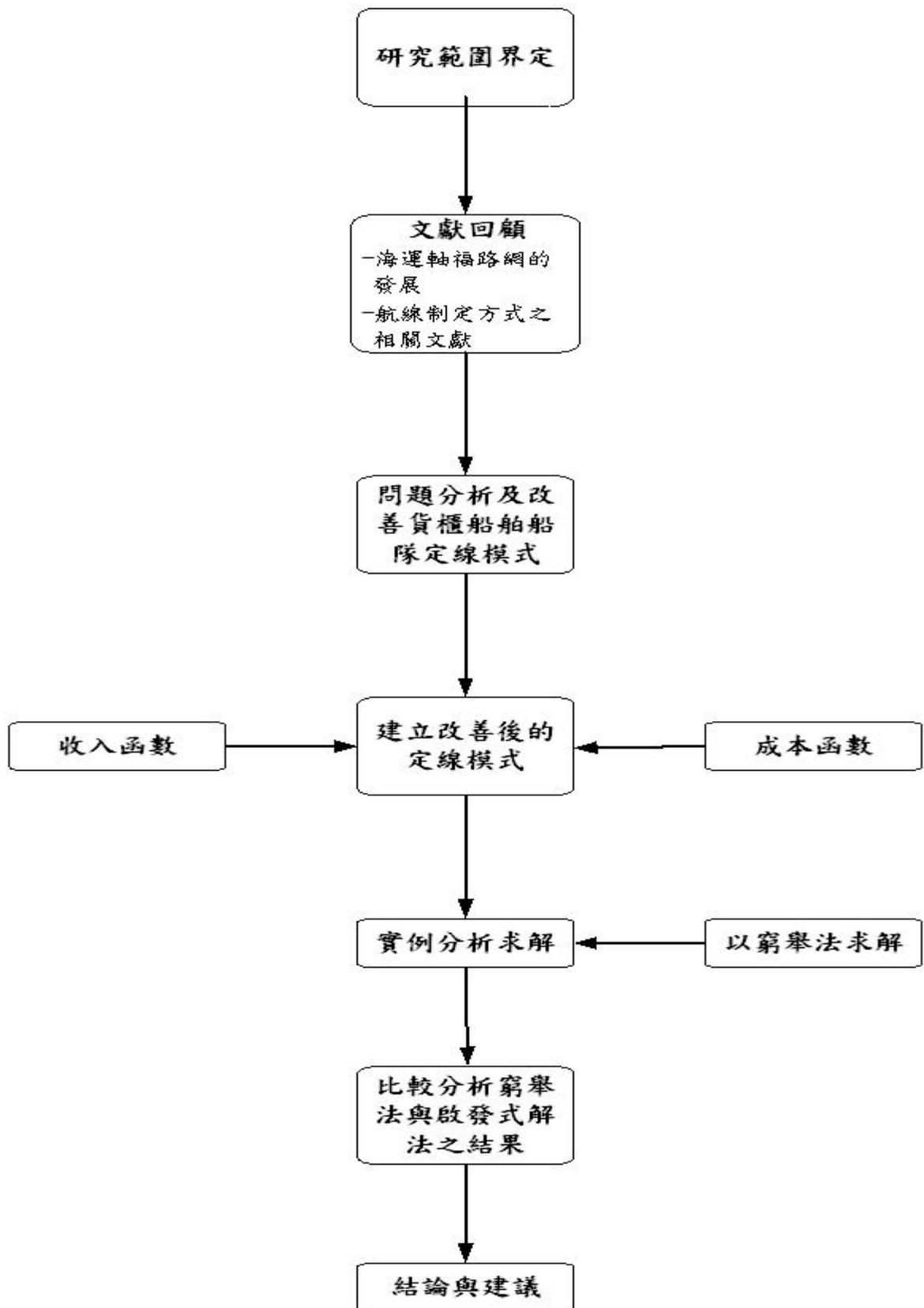


圖 1.1 研究流程圖

## 1.6 研究架構

利用容量的限制建立兩個整數規劃的數學模式，並以此求解軸心港與集貨港的配置，並以利潤最大化之原則為目標。使用窮舉法求解模式，所得結果再與以比較啟發式之解，並獲得最低成本的船舶航線配置，也就是利潤最大化的船隊指派。圖 1.2 為研究架構圖。



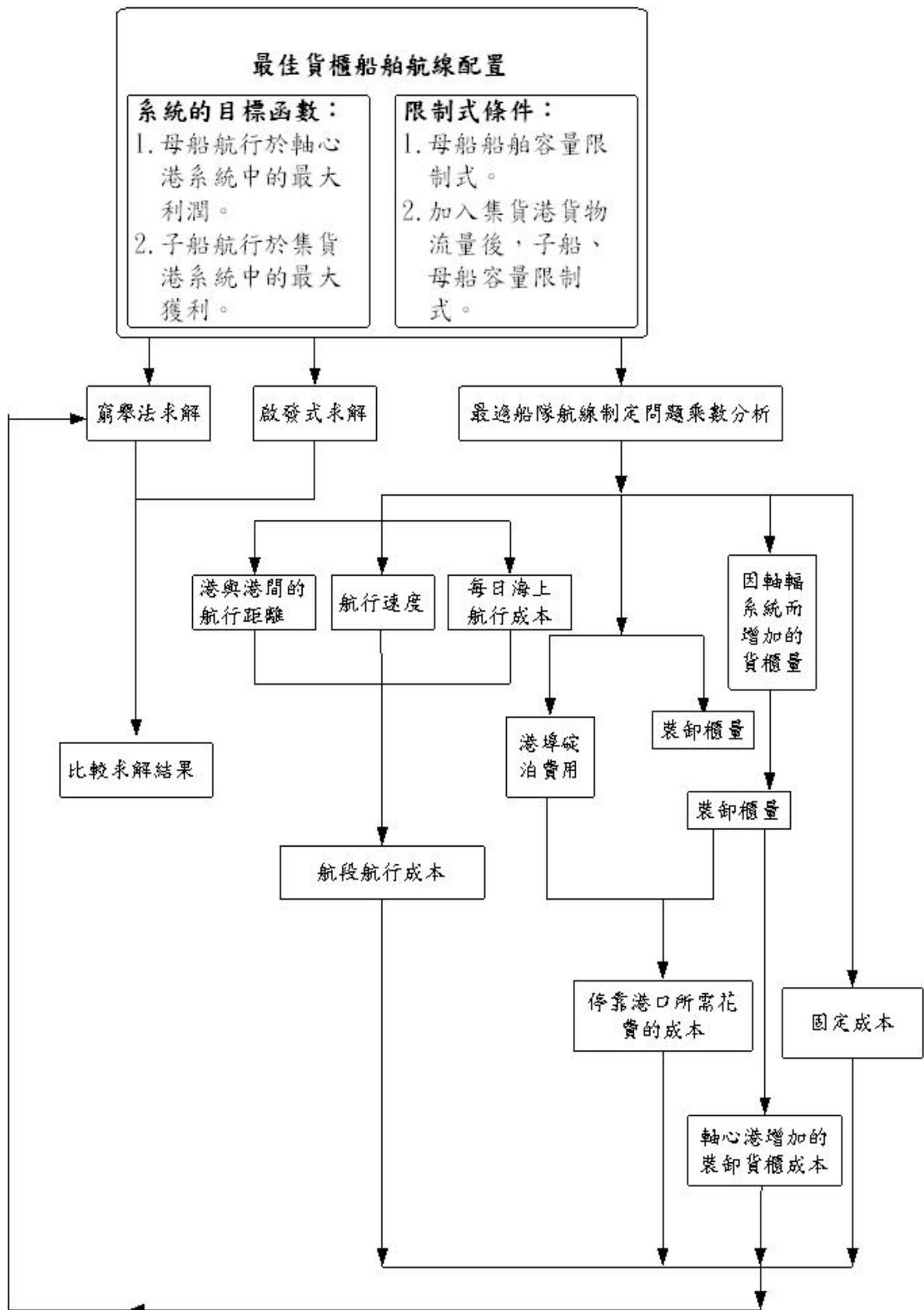


圖 1.2 研究架構圖

## 第二章 文獻回顧

本研究文獻回顧主要以海運航線制定方式之相關問題與海運軸輻路網的發展兩方面作探討。

### 2.1 海運航線制定方式

早期最適船舶航線制定之方式，通常是以模擬或動態規劃的技巧獲取船隊航線之配置。Olson, Sorenson and Sullivan(1969)使用模擬的方式獲得貨櫃船船隊航線選擇及船期表的規劃。但由於資料取得不易及模擬步驟繁複，故逐漸以數學模式建構的方式取代之。

Bradley(1977)針對美國定期商船以線性規劃模式求解最佳配置，主要決策變數為船舶數量及每年船舶航行次數。以四個結構作規劃，分別為運量、不同船型的營運計畫設計、船舶任務的分派及卸貨港容量。最後以敏感度分析加以分析探討。

彭信坤(1982)構建船舶靠港與裝卸量選擇模式，以動態規劃之方法求解最適船型配置、最適航線及最適船期之決策。變數為裝載率、市場佔有率，現有船舶數量，航次間隔與配置成本等，以此求解出最適合航商之船舶航線的選擇及船型配置的策略，以獲取最大利潤。

陳冠州(1986)研究探討單一航線、單一船型，單一航線、多種船型與多種航線單一船型，此三種情況下貨櫃船舶隊的配置。研究中以貨櫃船舶營運時所需考慮的決策變數(船舶數量、貨櫃量、航行頻次及船席數等)整合，並以營運成本最小之模式作實例分析。

Lane, Heaver, Uyeno(1986)假設起訖點需求量已知的情況下，發展三步驟的方式求解最少船數之船隊部署。第一步驟為列舉出可供航行之船舶以作選擇，第二步驟利用啟發式的演算法求解出船舶最佳排程，第三步驟以分割模式指派的方式，確保船隊起訖點只會運送一次，並以整數規劃求解出最小成本。

Rana and Vickson(1991)利用數學規劃方法，以單一航商所服務的路網中，假設航線兩端點為固定、規劃期間內航次是固定的且航次數為整數及貨物不可能跨越去回程兩次航次。將此建立一貨櫃船航線選擇問題之模式，並以營運利潤最大化為目標求解船舶最適靠港序列、規劃期間內船舶航行次數及任一兩港口間的貨

櫃運送量。因模式為非線性混合整數規劃，故作者使用拉式鬆弛法及分解法，將原始問題分解為數個子問題，每個子問題又再分解為數個混合整數規劃問題，以此求解。其主要將航線分成迴圈方式，故去程與回程不可能重複，亦為整個航次呈現環繞的型式。

Cho and Perakis(1996)利用兩種模式探討航線排程之問題，第一種模式以船隊規模固定之下，建立選擇定期航線之線性規劃模式，以尋求利潤最大化。第二種模式，則針對當船隊規模不確定的情況下，加入投資計畫以擴大船隊策略，並建構整數規劃模式及流量矩陣的模式。

陳春益及張永昌(1997)研究以探討定期貨櫃船航線泊靠港口的選擇問題，以某航商美西到東亞線為例，利用區位選擇之概念構建成本最小化之混合整數規劃之模式求解。模式中僅考量去程之單向性航線、單向航次港埠及相關的營運成本。

林永山(1997)研究分為航線運量之分析與建立船隊最適規模的數學線性規劃及整數規劃，以利潤最大化為目標及市場競爭之概念，求解出定期最適船型、航線港口的配置狀況。

徐育彰(2000)在多條候選航線中，進行船隊部署問題之探討。利用數學規劃技巧構建航線選擇與船隊部署的模式，在滿足載運條件及服務品質的限制下，追求最適化營運目標。其結果並說明近洋航線具有多港且重複灣靠之特性，遠洋航線則偏向減少灣靠港口數之特性。

在眾多學者的研究當中可發現，從以前以模擬方式的方法求解航線的制定到利用數學模式的構建求解，學者們大多對航線的制定著重於成本最小及利潤最大之決策。如同此研究中所示，「台灣地區貨櫃轉運航線特性及運輸船型分析」(海洋大學，1999)報告中說明，全球船舶可航行的區域中，航商所規劃之航線方式種類繁多，不同環境亦必須對應不同的因應策略，針對港口的功能對船隊的配置作(直運、轉運)出適當的決策。

## 2.2 海運軸輻路網之發展

軸輻路網最初的發展是以航空公司為主，O'Kelly (1987)針對航空路網發展軸輻路網模式，求得軸心站位置的選擇與支線站的指派。O'Kelly 針對模式求解建立兩個模式，HEUR1 為軸心站選擇，係以假設航站選擇的最大利潤為一凸向上函數(Concave Function)選擇中間數個航站，以窮舉方式獲得軸心站最大利潤；HEUR2 係將支線站指派給最近的軸心站，求最短距離下的的指派結果。O'Kelly (1998)說明 Hub and Spoke 的特徵是聚集大量的流量至軸心站，經由軸心站的連結

之功效，進而減低旅客/貨物的旅行成本及航商的營運成本。

而近年來由於船舶的大型化，貨運量分佈不均，故開始發展海運軸輻路網的方式進行船隊航線選擇的配置。Hayut (1981)及 Foggin, Kicer(1985)研究說明船舶容量增加，則易導致運送人(航商)創造”Load-Center”，其功能是将貨物集中，並擔任中間港，在經由支線港運送至目的港。而其”Load-Center”的功能就如同軸心港，經由軸心港的運送可節省更多的營運成本。

謝尚行、張斐茹(2000)利用 O’Kelly 的方式建立海運軸輻路網之二次指派之整數規劃模式，並根據海運特性將二次指派的整數規劃模式簡化為線性模式。求解方式為應用  $P$  個已知軸心港，以成本最小為目標，求得集貨港與軸心港接連之關係，構成海運軸輻路網。如圖 2.1 單一指派之海運軸輻路網。

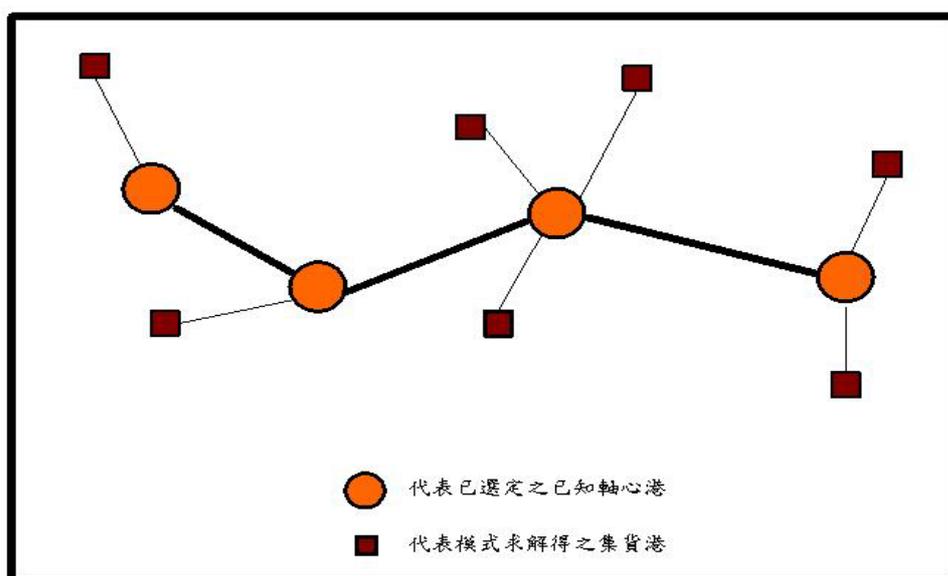


圖 2.1 單一指派之海運軸輻路網

資料來源：本研究整理及繪製

游至誠(2001)以單一指派的基本架構，建立非線性數學規劃模式，並在既有的候選港中，選擇出最佳幾個港口當作軸心港，再由啟發式解法求解出集貨港的指派。學者以 O’Kelly (1987)的模式為基礎，利用成本最小化之模式求解軸心港並允許集貨港可不直接與軸心港連接，以使集貨港展現其經濟特性。先對單一指派模式以窮舉法求得軸輻路網中的軸心港及以啟發式解法求得初步支線解，再進一步針對支線之處理(稱為支線處理機制)，獲取最後的軸輻路網解，研究發現子船以迴圈式航行可獲得較大利潤。如圖 2.2 允許支線港與軸心港不直接相連。

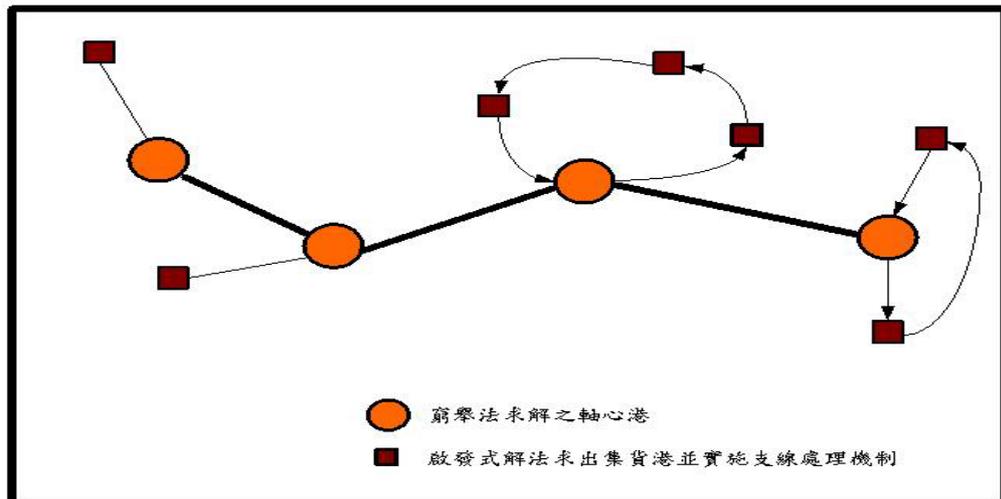


圖 2.2 允許支線港與軸心港不直接相連

資料來源：本研究整理及繪製

宋鈺俊(2002)研究以多個港口間依地理位置依序停靠、依序往返為主，建立二次指派之整數規劃問題。以利潤最大化之目標式，O'Kelly (1987)求解方式為基礎，藉由母船及子船之容量限制，選定四到八個港口作為軸心港，用以決定航線內母船停靠軸心港之選擇。選擇四到八個軸心港後，再將集貨港依最近港口之指派方式求得支線指派問題。主要研究結果之發現：(一)船隊一年總利潤會隨著母船所泊靠的港口數先遞增而後遞減，(二)競爭之鄰近的兩港口，港埠費用較低廉者，於所建立的模式中較容易獲選為軸心港。如圖 2.3 二次指派軸心港與集貨港之選擇。

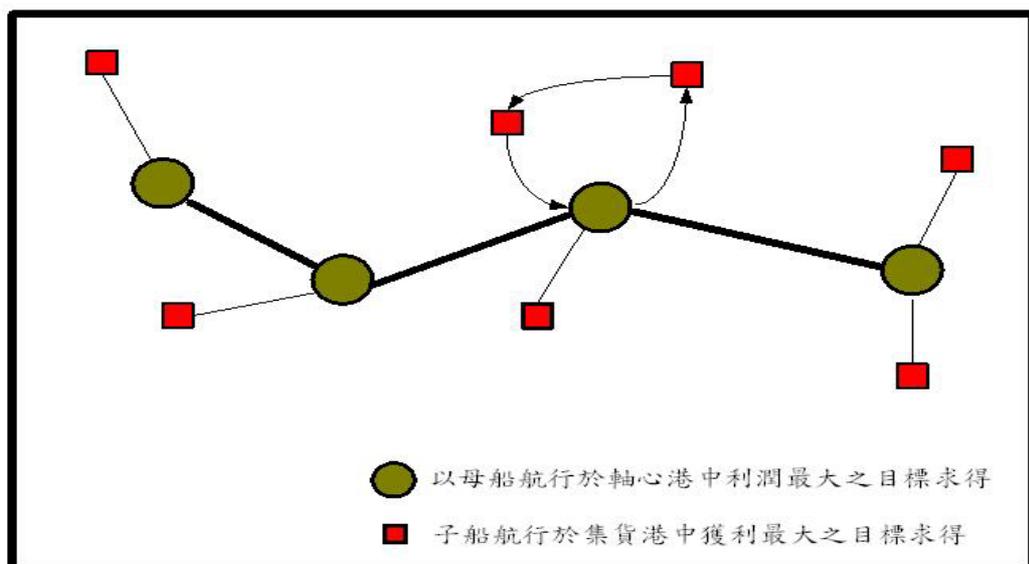


圖 2.3 二次指派軸心港與集貨港之選擇

資料來源：本研究整理及繪製

謝景昌(2002)考慮航線去回程泊靠不同港口，並將成本、航次週期、週班服務，船舶裝載容量限制及各港潛在運量變化納入，發展去回程灣靠港口不需要相同之模式。以混合整數規劃之數學模式，簡化路網行為之方式，建立成本最小化利潤最大化之目標，求解出泊靠港口的選擇航線規劃。其中，以軸輻路網為主體，利用母船(航行主航線)跳蛙式泊靠港口，子船(航行於集貨港)以環繞式航行於母船所泊靠之港口，求解航線的分派，但非使用二次指派之方式求得其解。如圖 2.4 跳蛙與環繞式軸輻路網。

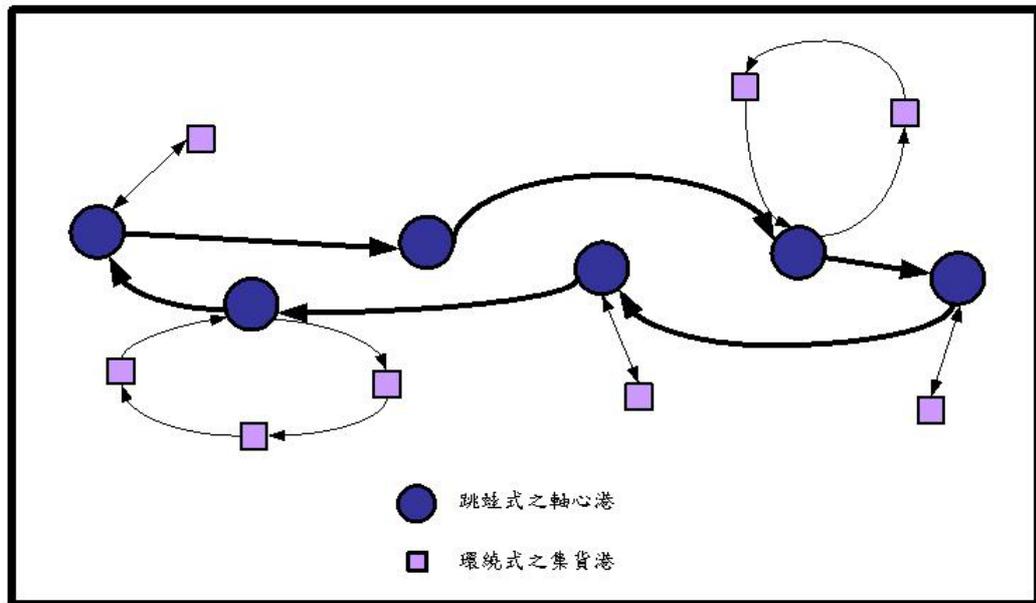


圖 2.4 跳蛙與環繞式軸輻路網

資料來源：本研究整理及繪製

張志鴻(2003)研究探討在多國併櫃的操作下，選擇軸心港之課題(以承運的貨運選擇軸心港之位置)。如圖 2.5 多國併櫃軸心港的研究範圍。以海運承攬業為對象，進行其影響營運成本之要素，並以數學規劃的方法建構多國併櫃軸心港選擇模式，討論併櫃軸心港的選擇及透過軸心港以將集貨港之貨物作有效的運作，建立路網總運送成本最小為目標。如圖 2.6 多國併櫃圖示。不過研究中並未考慮運轉中心互動之因素，僅針對設施之區位問題的選擇，故此研究未將集貨港之選擇納入考量。

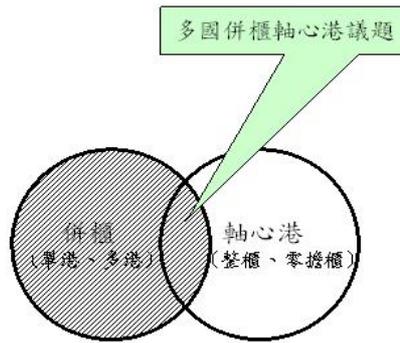


圖 2.5 多國併櫃軸心港的研究範圍

資料來源：本研究整理及繪製

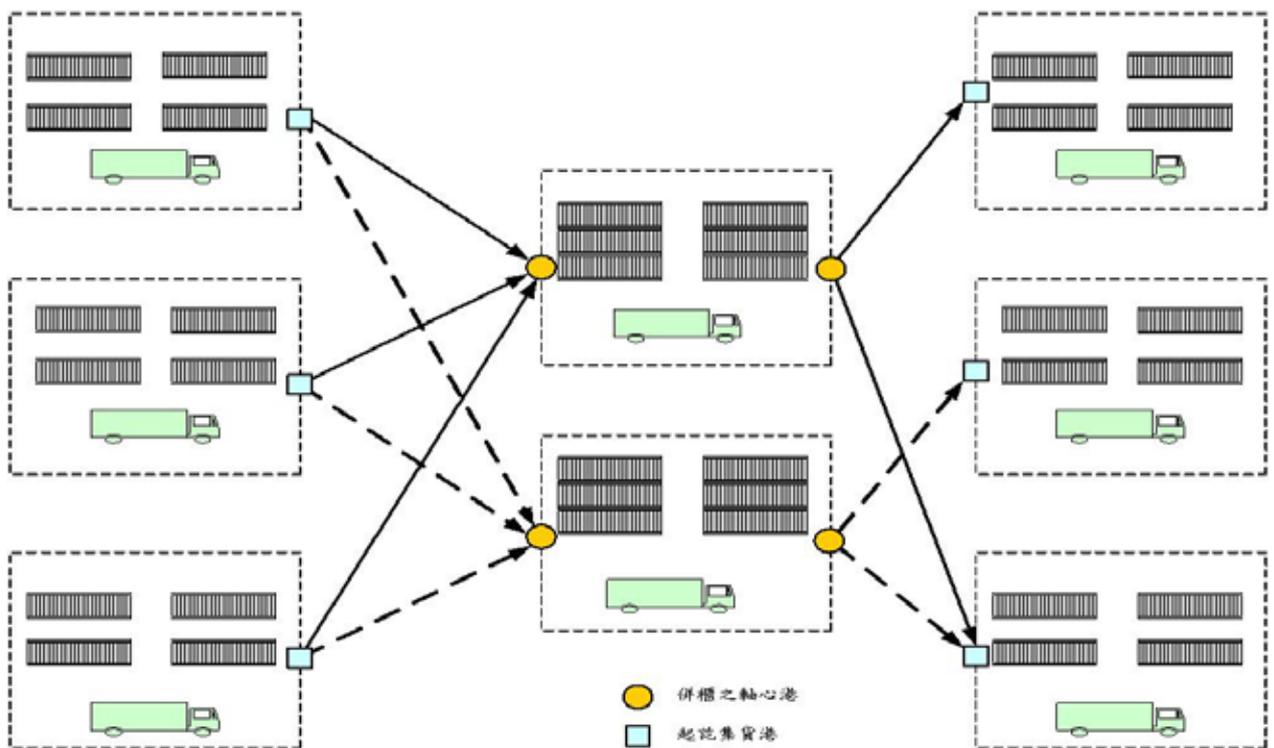


圖 2.6 多國併櫃軸心港選擇圖示

資料來源：本研究整理及繪製

由眾多軸輻路網文獻得知，航線制定方式隨著時代的發展日益革新，迎接千變萬化的需求市場。故航商不僅要節省營運成本，更要求利潤最大化，以增加其航運產業的競爭力。在最後一篇文獻中，更探討以併櫃之方式求得軸心港之模式，顯示出海運市場結合貨物的物流型態，以加強額外的競爭及吸引其他額外附加價值之產業進入，不再是以往單純、保守的海運產業，而是更具優勢的全球性產業。

綜合上述文獻，可發現海運軸輻路網的發展由線性到非線性，由以往的模擬機制到利用數學規劃的方法，進而進入到海運軸輻路網二次指派之方式，眾多的方式只是為了更加確切地求解海運航線制定的問題，而本研究更針對這樣的需求，使用窮舉法以求得問題之全域最佳解(Global Optimal Solution)。



## 第三章 模式構建

### 3.1 建立模式

本研究以利用宋廷俊(2002)所構建的模式加以修正與修改。而後再加以說明整個模式的涵義，並利用不同的研究方法分析解釋之。

#### 3.1.1 軸心港泊靠港口選擇模式

1. 模式的基本假設：

- 已知各港口間的貨櫃流
- 已知各港口間每航段的海上航行成本
- 已知各港口的港埠碇泊費用與裝卸櫃成本
- 已知母船每日的固定成本
- 主航線上航行的母船靠港方式以地理位置多港間依序停靠及往返
- 已知母船數量
- 主航線上航行母船的裝載容量為 5,000 TEU

2. 構建之模式：

Max{ $Z_1$ }

$$Z_1 = k \times R \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ij} l_{ij} z_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Co_{ij} y_{ij} - 2 \sum_{i=1}^n Cp_i x_i \right) - k \times 365 \times C_c \quad \text{-----(1.1)}$$

Subject to

$$a_{i_o} = \sum_{p=1}^i \sum_{j=i+1}^n l_{pj} x_i < L, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad \text{-----(1.2)}$$

$$a_{i_d} = \sum_{p=i}^n \sum_{j=1}^{i-1} l_{pj} x_i < L, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad \text{-----(1.3)}$$

3. 目標值：

$Z_1$ ：母船航行於主航線上一年的總利潤

#### 4. 決策變數：

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{表示母船停靠 } i \text{ 港口} \\ 0 & \text{表示母船不停靠 } i \text{ 港口} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{表示主航線上母船停靠的港口 } i, j \text{ 直接相連} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{表示路網主航線上港口 } i, j \text{ 母船皆停靠} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

#### 5. 決策參數：

$P_{ij}$  : 從  $i$  港到  $j$  港的每個二十呎貨櫃之運費

$l_{ij}$  : 從  $i$  港到  $j$  港的二十呎貨櫃量

$Co_{ij}$  : 航段  $(i, j)$  的航行成本

$Cp_i$  : 船舶停靠港口  $i$  所需花費的成本

$a_{i0}$  : 母船去程航行離開軸心港  $i$  時的承載量

$a_{id}$  : 母船回程航行離開軸心港  $i$  時的承載量

$f_i$  : 母船停靠港口  $i$  時的港埠碇泊費用

$c_i$  : 軸心港  $i$  每櫃的裝卸成本

$C_S$  : 母船每日海上航行成本

$C_C$  : 母船每日固定成本

$L$  : 主航線上母船的載貨容量

$k$  : 主航線上母船船隊配置的數量

$R$  : 在營運規劃期間內母船航行的航次數



表 3.1 目標式 1 的修改

宋廷俊的目標式	$Z_1 = k \times R \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ij} l_{ij} z_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Co_{ij} y_{ij} - \sum_{i=1}^n Cp_i x_i \right) - k \times 365 \times C_c$	未再扣除回程的靠港費用。
本研究的目標式	$Z_1 = k \times R \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ij} l_{ij} z_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Co_{ij} y_{ij} - 2 \sum_{i=1}^n Cp_i x_i \right) - k \times 365 \times C_c$	計算去回程的靠港費用。

目標式(1.1)是以母船獲利最大為目的，由運算航行主航線上貨櫃船二十呎貨櫃的總運費收入減去主航線上總航行成本，及減去泊靠所有港口所需花費的總成本。將以上所得的數值在乘以航行主線上母船的數量及於規劃期間內的航行次數。再扣除每年所有航行主航線母船的固定成本，即可獲得航商營運主線航線每年最大獲利的目標式。

表 3.2 Model 1 數學式解釋說明

數學式	解釋說明
$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ij} l_{ij} z_{ij}$	表示為運費乘以運量乘以決策變數(以確保此軸心港獲選)。
$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Co_{ij} y_{ij}$	表示為每航段的航行成本，而必須在該行段有直接相連的情況下，才計算此成本費用。
$\sum_{i=1}^n Cp_i x_i$	母船必須有停靠此候選港時，始可計算船舶停靠港口所需的費用成本。

將表 3.2 求解獲得的收益與成本相減，則可得到每趟的利潤(還未扣除固定成本)，將此利潤乘以母船數量及母船一年的航行次數，即可獲得一年的利潤(未扣除固定成本)；而後再扣除所有母船的固定成本，固定成本計算方式是以每日的固定成本求算，故需再乘以 365 天與母船船舶的總數；故軸心港選擇總利潤為未扣除固定成本之每年利潤扣除每年的固定成本，即可獲得軸心港總利潤。

主航線上每航段的航行成本，利用主線航行之航段間距離  $d_{ij}$  除以每天母船的平均航行速度  $v$ ，並乘以母船每日的航行成本  $C_s$ 。並以此式子表示之， $Co_{ij} = [d_{ij} \div (v \times 24)] \times C_s$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ 。母船船舶停靠軸心港  $i$  時所必需花費的成本(成本項目以船舶泊港費用及裝卸貨成本為主)，可表示為

$Cp_i = f_i + c_i (\sum_{p=1}^n l_{pi} z_{pi} + \sum_{p=1}^n l_{ip} z_{ip})$ 。  $\sum_{p=1}^n l_{pi} z_{pi}$  表示為母船停靠獲選為軸心港之港口於軸心港  $i$  中母船所卸的貨櫃量;  $\sum_{p=1}^n l_{ip} z_{ip}$  表示為母船停靠獲選為軸心港之港口於軸心港  $i$  所要裝船的貨櫃量。  $f_i$  表示母船停靠軸心港  $i$  的港埠碇泊費用，由於在同一地點裝卸貨，故停靠軸心港  $i$  只需收取一次的費用。

規劃航線內母船的航行次數  $R$  的運算方式，為 365 天除以來回程之主航線上每航程所需的時間及母船於去回程軸心港時的在港時間，表示為
 
$$R = 365 \div (\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t1_{ij} y_{ij} - 2 \sum_{i=1}^n t2_i x_i)。$$

$d_{ij}$  : 主航線上港口  $i$  到港口  $j$  的距離

$v$  : 母船航速，每小時海浬數

$t1_{ij}$  : 主航線上母船航行航段  $(i, j)$  所需航行的時間

$t2_i$  : 母船於軸心港  $i$  時的在港時間



限制式(1.2)及(1.3)是以母船船舶容量限制而構建完成。去程母船容量限制  $i$  表示當母船離開軸心港口  $i$  時，母船的容量  $\sum_{p=1}^i \sum_{j=i+1}^n l_{pj}$  必須小於  $L$ 。  $\sum_{p=1}^i \sum_{j=i+1}^n l_{pj}$  用以描述母船回程離開軸心港口  $i$  時，母船所承載的貨櫃量不會超過船舶容量。

### 3.1.2 集貨港船舶指派模式

#### 1. 模式的基本假設：

- 已知軸輻路網內各港口間的貨櫃量
- 已知軸輻路網內各港口間的平均運價
- 已知軸輻路網內各航段海上航行成本
- 已知軸輻路網內各港口的港埠碇泊費用及裝卸櫃成本
- 支線上航行子船的裝載容量為 1,200 TEU

#### 2. 構建之模式

Max{Z<sub>2</sub>}

$$\begin{aligned}
 Z_2 = & k \times R \left( \sum_{i=1}^n \sum_{w=1}^{m_i} \sum_{j=1}^n P_{(iw)j} l_{(iw)j} x_{iw} z_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{w=1}^{m_j} P_{i(jw)} l_{i(jw)} x_{jw} z_{ij} + \right. \\
 & \sum_{i=1}^n \sum_{w_o=1}^{m_i} \sum_{j=1}^n \sum_{w_d=1}^{m_j} P_{(iw_o)(jw_d)} l_{(iw_o)(jw_d)} z_{(iw_o)(jw_d)} z_{ij} - \sum_{i=1}^n C p_i' x_i \left. \right) - \\
 !! & \sum_{i=1}^n \sum_{w_o=0}^{m_i} \sum_{w_d=1}^{m_i+1} C c o_{(iw_o)(iw_d)} y_{(iw_o)(iw_d)} x_i k_i' R_i' - \sum_{i=1}^n \sum_{w=1}^{m_i} C c p_{iw} x_{iw} x_i - \\
 & \sum_{i=1}^n C c p_i x_i - 365 \times C_c \sum_{i=1}^n k_i' x_i
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Subject to

$$\begin{aligned}
 a_i = & \sum_{p=1}^i \sum_{j=i+1}^n l_{pj} z_{pj} + \sum_{p=1}^i \sum_{j=i+1}^n \sum_{w_d=1}^{m_j} l_{p(jw_d)} x_{jw_d} z_{pj} + \sum_{p=1}^i \sum_{w_o=1}^{m_p} \sum_{j=i+1}^n l_{(pw_o)j} x_{pw_o} z_{pj} + \\
 & \sum_{p=1}^i \sum_{w_o=1}^{m_p} \sum_{j=i+1}^n \sum_{w_d=1}^{m_j} l_{(pw_o)(jw_d)} z_{(pw_o)(jw_d)} z_{pj} \leq L, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

$$\begin{aligned}
 a_i = & \sum_{p=i}^n \sum_{j=1}^{i-1} l_{pj} z_{pj} + \sum_{p=i}^n \sum_{j=1}^{i-1} \sum_{w_d=1}^{m_j} l_{p(jw_d)} x_{jw_d} z_{pj} + \sum_{p=1}^n \sum_{w_o=1}^{m_p} \sum_{j=1}^{i-1} l_{(pw_o)j} x_{pw_o} z_{pj} + \\
 & \sum_{p=i}^n \sum_{w_o=1}^{m_p} \sum_{j=1}^{i-1} \sum_{w_d=1}^{m_j} l_{(pw_o)(jw_d)} z_{(pw_o)(jw_d)} z_{pj} \leq L, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

$$\begin{aligned}
 a_{iw} = & \sum_{p=1}^i \sum_{w_d=w+1}^{m_j} l_{p(iw_d)} x_{iw_d} z_{pi} + \sum_{p=1}^i \sum_{w_o=1}^{m_p} \sum_{w_d=w+1}^{m_j} l_{(pw_o)(iw_d)} z_{(pw_o)(iw_d)} z_{pi} + \sum_{w_p=i}^w \sum_{p=i}^n l_{(iw_o)p} x_{iw_o} z_{ip} + \\
 & \sum_{w_o=1}^w \sum_{p=i+1}^n \sum_{w_d=1}^{m_p} l_{(iw_o)(pw_d)} z_{(iw_o)(pw_d)} z_{ip} \leq L', \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad w = 1, 2, 3, \dots, m_j
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

$$a_i' = \sum_{p=1}^i \sum_{w_d=1}^{m_j} l_{p(iw_d)} x_{iw_d} z_{pi} + \sum_{p=1}^{i-1} \sum_{w_o=1}^{m_p} \sum_{w_d=1}^{m_j} l_{(pw_o)(iw_d)} z_{(pw_o)(iw_d)} z_{pi} \leq L', \quad i = 1, 2, 3, \dots, n
 \tag{2.5}$$

### 3.目標值：

$Z_2$ ：加入集貨港營運時，所獲得的支線營運總利潤

### 4.決策變數：

$$x_{iw} = \begin{cases} 1 & \text{表示軸心港為 } i \text{ 的子船，其停靠集貨港 } iw \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$y_{(iw_o)(iw_d)} = \begin{cases} 1 & \text{表示路網支線上停靠港口 } iw_o, iw_d \text{ 直接相連} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$z_{(iw_o)(jw_d)} = \begin{cases} 1 & \text{表示支線上港口 } iw_o, jw_d \text{ 其子船皆有停靠} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

### 5.決策參數：

$P_{(iw)j}$ ：從集貨港  $iw$  到軸心港  $j$  每二十呎貨櫃之運費

$P_{i(jw)}$ ：從軸心港  $i$  到集貨港  $jw$  每二十呎貨櫃之運費

$P_{(iw_o)(jw_d)}$ ：從集貨港  $iw_o$  到集貨港  $jw_d$  每二十呎貨櫃之運費

$l_{(iw)j}$ ：從集貨港  $iw$  到軸心港  $j$  之二十呎貨櫃量

$l_{i(jw)}$ ：從軸心港  $i$  到集貨港  $jw$  之二十呎貨櫃量

$l_{(iw_o)(jw_d)}$ ：從集貨港  $iw_o$  到集貨港  $iw_d$  港的二十呎貨櫃量

$Cco_{i(iw_o)}$ ：支線航段由軸心港  $i$  出發至  $iw_o$   
並由最終的集貨港  $iw_d$  運送貨櫃至軸心港  $i$  的航行成本

$Ccp_{iw}$ ：子船停靠港口  $iw$  所需花費的成本

$Ccp_i$ ：子船停靠軸心港港口  $i$  所需花費的成本

$Cp_i$ ：因集貨港運送貨物至軸心港  $i$  所增加的裝卸櫃成本

$a_{i0}$  : 加入支線指派後母船去程航行離開軸心港  $i$  時的承載量

$a_{id}$  : 加入支線指派後母船回程航行離開軸心港  $i$  時的承載量

$a_{iw}$  : 子船航行至港口  $iw$  時的承載量

$a_i'$  : 子船離開軸心港  $i$  時的承載量

$L$  : 主航線上母船的載貨容量

$L'$  : 支線上子船的載貨容量

$f_{iw}$  : 子船停靠港口  $i$  時的港埠碇泊費用

$c_i$  : 軸心港  $i$  每櫃的裝卸成本

$c_{iw}$  : 集貨港  $iw$  每櫃的裝卸成本

$C_s'$  : 子船每日的航行成本

$C_c'$  : 子船每日的固定成本

$k'$  : 支線上子船隊配置船的數量

$R'$  : 在營運規劃期間內子船航行的航次數



此目標式(2.1)以子船航行於支線上可獲得最大的利潤為目的，由運算集貨港運送至軸心港及軸心港運送貨物至集貨港的總運費，加上兩不同軸心港之集貨港間所運送貨物之總運費。接著，扣除因集貨港至軸心港間貨櫃運送所增加的裝卸成本，所得之值，再乘以航行主航線上母船的數量及規劃期間內母船的航行次數(由子船集貨於軸心港，且母船必須航行於主航線上，得以運作海運軸輻路網，獲得更多的收益，故必須乘以母船數量及航行次數)。而後，再扣除子船航行於支線上的總航行成本，子船停靠集貨港之總成本，子船停靠軸心港之總成本，及所有子船每年的固定成本，即可獲得航商營運支線航線每年所獲得的最大利潤之目標式。

表 3.3 Model 2 數學式解釋說明

數學式	解釋說明
$\sum_{i=1}^n \sum_{w=1}^{m_i} \sum_{j=1}^n P_{(iw)j} l_{(iw)j} x_{iw} z_{ij}$	集貨港確定指派給軸心港，則由集貨港運送至軸心港貨物之運量乘以運價，即多獲得支線的運費收入。
$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{w=1}^{m_j} P_{i(jw)} l_{i(jw)} x_{jw} z_{ij}$	集貨港確定指派給軸心港，則由軸心港運送至集貨港貨物之運量乘以運價，即多獲得支線的運費收入。
$\sum_{i=1}^n \sum_{w_o=1}^{m_i} \sum_{j=1}^n \sum_{w_d=1}^{m_j} P_{(iw_o)(jw_d)} l_{(iw_o)(jw_d)} z_{(iw_o)(jw_d)} z_{ij}$	不同軸心港間之集貨港存在，則由不同軸心港之集貨港運送貨物至另一不同軸心港之集貨港的運量乘以運價，即多獲得支線指派的運費收入。
$\sum_{i=1}^n C p_i' x_i$	由於軸輻路網的應用使得集貨港貨櫃運送至軸心港及軸心港運送貨櫃至集貨港，故必定增加軸心港的貨物流動之裝卸量，而在軸心港增加貨櫃裝卸貨成本。
$\sum_{i=1}^n \sum_{w_o=0}^{m_i} \sum_{w_d=1}^{m_i+1} C c o_{(iw_o)(iw_d)} y_{(iw_o)(iw_d)} x_i k_i' R_i'$	集貨港運作方式以迴圈航行，故當集貨港有兩個以上時，集貨港間會以迴圈繞行方式進行。故子船航行成本的計算方式為由軸心港出發之集貨港到最後連接之集貨港連接軸心港的距離除以每日航速，再乘以子船每日的航行成本；再乘以子船船舶數量與每年子船的航行次數，即獲得子船航行支線航線每年的航行成本。
$\sum_{i=1}^n \sum_{w=1}^{m_i} C c p_{iw} x_{iw} x_i$	當軸輻路網的型態存在時，子船停靠集貨港一年的成本
$! \sum_{i=1}^n C c p_i x_i$	由於軸輻路網的存在，使得子船需停靠軸心港，以便載運由軸心港流入或流出的貨物，故勢必計算子船停靠軸心港的靠泊費用。
$365 \times C_c' \sum_{i=1}^n k_i' x_i$	由每一艘子船的船數量乘以其每年的固定成本即可獲得所有子船每年的固定成本。

支線航線上，子船停靠集貨港  $iw$  所需花費的靠港成本，包含泊港費用及裝

卸貨成本，為  $C c p_{iw} = k_i' \times R_i' \times f_{iw} + c_{iw} \left( \sum_{p=1}^n l_{p(iw)} x_{iw} z_{pi} + \sum_{p=1}^n \sum_{w'=1}^{m_p} l_{(pw')(iw)} z_{(pw')(iw)} z_{pi} \right)$

$$+ \sum_{p=1}^n l_{(iw)p} x_{iw} z_{ip} + \sum_{p=1}^n \sum_{w'=1}^{m_p} l_{(iw)(pw')} z_{(iw)(pw')} z_{ip} \times k \times R \circ k_i' \times R_i' \times f_{iw}$$

為軸心港為  $i$  的子船舶靠集貨港一年的港埠碇泊費用，費用計算方式為子船於規劃期間內之靠港費用與子船停泊集貨港次數及子船數目。 $\sum_{p=1}^n l_{p(iw)} x_{iw} z_{pi}$  為由軸心港  $p$  運送至軸心港為  $i$  之集貨

港  $iw$  所卸的貨櫃量； $\sum_{p=1}^n l_{(iw)p} x_{iw} z_{ip}$  為軸心港為  $i$  之集貨港  $iw$  運送至軸心港  $p$  所裝之

貨櫃量； $\sum_{p=1}^n \sum_{w'=1}^{m_p} l_{(pw')(iw)} z_{(pw')(iw)} z_{pi}$  為軸心港  $p$  之集貨港  $pw'$  運送至軸心港為  $i$  之集貨

港  $iw$  所卸之貨櫃量； $\sum_{p=1}^n \sum_{w'=1}^{m_p} l_{(iw)(pw')} z_{(iw)(pw')} z_{ip}$  為軸心港為  $i$  之集貨港  $iw$  運送至軸心港

為  $p$  之集貨港  $pw'$  所裝之貨櫃量。由於必須經過軸心港的轉運，貨物始可到達軸心港為  $i$  之集貨港。再將上述所裝及卸的貨櫃量乘以軸心港一年的航行次數與母船數量，再將此值乘以軸心港為  $i$  的集貨港之裝卸櫃費用，即可獲得軸心港為  $i$  之集貨港每年的裝卸貨櫃成本。

子船停靠軸心港  $i$  所需花費的成本，包含碇泊費用及裝卸貨成本，為

$$Ccp_i = k_i' \times R_i' \times f_i + c_i \left( \sum_{p=1}^n \sum_{w=1}^{m_i} l_{p(iw)} x_{iw} z_{pi} + \sum_{p=1}^n \sum_{w_o=1}^{m_p} \sum_{w=1}^{m_i} l_{(pw_o)(iw)} z_{(pw_o)(iw)} z_{pi} \right. \\ \left. + \sum_{w=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n l_{(iw)p} x_{iw} z_{ip} + \sum_{w=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n \sum_{w_d=1}^{m_p} l_{(iw)(pw_d)} z_{(iw)(pw_d)} z_{ip} \right) \times k \times R \circ k_i' \times R_i' \times f_i$$

子船停靠軸心港  $i$  一年的港埠碇泊費用，子船於規劃期間內泊靠軸心港  $i$  之靠港費用為子船停靠軸心港的費用乘以子船一年的航行次數，再乘以子船數目，即獲得子船停靠軸心港的港埠費用。 $\sum_{p=1}^n \sum_{w=1}^{m_i} l_{p(iw)} x_{iw} z_{pi}$  為軸輻路網的營運中，由子船在軸心港  $i$  裝載由主線上

軸心港  $p$  運送至軸心港為  $i$  之集貨港  $iw$  所裝載的貨櫃量； $\sum_{p=1}^n \sum_{w_o=1}^{m_p} \sum_{w=1}^{m_i} l_{(pw_o)(iw)} z_{(pw_o)(iw)} z_{pi}$

為子船在其軸心港  $i$  裝載由軸心港為  $p$  港的集貨港  $pw_o$  運送至軸心港為  $i$  的集貨港  $iw$  之貨櫃量； $\sum_{w=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n l_{(iw)p} x_{iw} z_{ip}$  為子船在其軸心港  $i$  卸下由集貨港  $iw$  將運送至主

線上之軸心港  $p$  貨櫃量； $\sum_{w=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n \sum_{w_d=1}^{m_p} l_{(iw)(pw_d)} z_{(iw)(pw_d)} z_{ip}$  為子船在其軸心港  $i$  卸下由集貨

港  $iw$  將運送至軸心港為  $p$  的集貨港  $pw$  之貨櫃量。再將上述所裝與卸的貨櫃量乘以一年母船航行次數與母船數量，再將此值乘以軸心港  $i$  的裝卸櫃費用，即可獲得子船停靠軸心港  $i$  每年的裝卸貨櫃成本。

實施軸輻路網，使得航行支線的子船必須集貨於軸心港，並產生額外的裝卸貨之動作，故勢必增加軸心港額外的裝卸貨櫃成本，得以運作軸輻路網。

$$Cp_i = c_i \left( \sum_{p=1}^n \sum_{w=1}^{m_p} l_{i(pw')} x_{pw'} z_{ip} + \sum_{w=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n \sum_{w'=1}^{m_p} l_{(iw)(pw')} z_{(iw)(pw')} z_{ip} + \sum_{w=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n l_{(iw)p} x_{iw} z_{ip} + \right.$$

$$\left. \sum_{w=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n \sum_{w'=1}^{m_p} l_{(pw')(iw)} z_{(pw')(iw)} z_{ip} + \sum_{p=1}^n \sum_{w=1}^{m_i} l_{p(iw)} x_{iw} z_{pi} + \sum_{p=1}^i \sum_{w=1}^{m_p} l_{(pw')i} x_{pw'} z_{pi} \right) \text{ 為軸心港 } i \text{ 增加裝卸貨櫃}$$

的成本。支線運作使得主航線上的貨物可以運送至支線上的港口。 $\sum_{p=1}^n \sum_{w=1}^{m_p} l_{i(pw')} x_{pw'} z_{ip}$

為了載運至其他軸心港之集貨港的貨櫃，主航線上軸心港  $i$  必須裝載將運送至另一軸心港  $p$  之集貨港  $pw'$  所裝貨物的貨櫃量，故增加此裝卸費用。

$\sum_{w=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n \sum_{w_d=1}^{m_p} l_{(iw)(pw_d)} z_{(iw)(pw_d)} z_{ip}$  為子船收集集貨港之貨櫃後，利用主航線上母船運送貨

櫃，以使貨櫃抵達目的地，故必須再一次產生裝卸貨櫃的動作。而此式表示軸心港為  $i$  之集貨港  $iw$  運送貨物至軸心港為  $p$  之集貨港  $pw_d$  時必須經過主航線上母船

的運行，故必須增加轉運貨物在軸心港  $i$  所裝載之貨物量。 $\sum_{w=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n l_{p(iw)} x_{iw} z_{ip}$  表示為

軸心港  $i$  之集貨港  $iw$  運送貨物至主航線上軸心港  $p$  的貨櫃量，子船集貨於軸心港後，必須再將貨物裝上航行主線的母船上，勢必增加裝貨成本。

$\sum_{w=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n \sum_{w'=1}^{m_p} l_{(pw')(iw)} z_{(pw')(iw)} z_{ip}$  表示軸心港為  $p$  之集貨港  $pw'$  運送貨物至軸心港為  $i$  之集貨

港  $iw$ ，因此在軸心港  $i$  時必須卸下貨物，故在軸心港增加卸貨成本； $\sum_{p=1}^n \sum_{w=1}^{m_i} l_{p(iw)} x_{iw} z_{pi}$

為由軸心港  $p$  運送貨物至軸心港為  $i$  之集貨港  $iw$  的貨櫃量，須經由母船轉運始可

到達目的港，因而在軸心港  $i$  時必須卸下貨物； $\sum_{p=1}^i \sum_{w=1}^{m_p} l_{(pw')i} x_{pw'} z_{pi}$  表示軸心港為  $p$

之集貨港  $pw'$  運送貨物至軸心港  $i$  的貨櫃量，是故必定增加軸心港  $i$  的卸貨成本。將上述所增加的裝卸貨成本乘以軸心港  $i$  每 TEU 的裝卸貨成本，即可獲得軸心港  $i$  所增加的裝卸貨成本。

經由計算航行支線航線每年所增加的運費收入扣除每年因軸輻路網的運作，所增加的裝卸櫃費用，與每年子船泊靠集貨港的成本、子船泊靠軸心港的成本及每年子船的固定成本，即可獲得支線指派的利潤。

軸心港為  $i$  之支線子船，航行支線總航行成本  $Cco_{i(iw_{od})}$ ，計算方式為利用子船航行軸心港與支線航段間的距離  $d_{i(iw_o)} + d_{(iw_d)i} + d_{(iw_o)(iw_d)}$  (支線航行以迴圈方式航行) 除以子船每天航行速度  $v'$ ，並乘以支線子船每日的航行成本  $C_s'$ ，由下列式子表示之：

$$Cco_{i(iw_{od})} = [(d_{i(iw_o)} + d_{(iw_d)i} + d_{(iw_o)(iw_d)}) \div v' \times 24] C_s', 1, 2, \dots, n。$$

表 3.4 海上子船航行成本的修改

宋玚俊-支線上子船航行成本	$Cco_{i(iw_{od})} = [d_{(iw_o)(iw_d)} \div v' \times 24] C_s'$	未加入軸心港出發到集貨港的距離與最終集貨港到軸心港的距離
本研究-支線上子船航行成本	$Cco_{i(iw_{od})} = [(d_{i(iw_o)} + d_{(iw_d)i} + d_{(iw_o)(iw_d)}) \div v' \times 24] C_s'$	因為支線航行是以迴圈方式進行，故加入軸心港出發到集貨港與最終集貨港到軸心港的距離

## 6. 變數說明

$d_{i(iw_o)}$  : 軸心港  $i$  至支線上港口  $iw_o$  的距離

$d_{(iw_o)(iw_d)}$  : 支線上港口  $iw_o$  到港口  $iw_d$  的距離

$d_{(iw_d)i}$  : 支線上港口  $iw_d$  到軸心港  $i$  的距離

$v_i'$  : 為子船平均航行速度

$k_i'$  : 軸心港為  $i$  之集貨港，其子船船隊數

$R_i'$  : 指派給軸心港為  $i$  之集貨港，其子船每年停靠此迴圈的航次數

表 3.5 子船頻次與船隊計算之說明

變數	計算方法說明
$k_i'$	子船泊靠軸心港 $i$ 裝或卸貨於軸心港的最大貨櫃量乘以母船船數量乘以母船一年航行次數，獲得之值除以子船每年的航次數與子船的船舶容量，即可獲得子船船舶的數量。
$R_i'$	由軸心港為 $i$ 的集貨港，其子船由軸心港 $i$ 出發環繞其支線航線上所有集貨港的時間，最後回到軸心港，以此環繞航行求得子船總航行時間，再加上來回兩次靠泊軸心港的時間與停靠各集貨港的時間。利用一年 365 天除以軸心港為 $i$ 之支線每航次的時間，以此求得每年子船停靠軸心港與集貨港航次數。

限制式(2.2)與(2.3)是以母船船舶容量為限探討加入支線航行後的容量限制，故予以重新構建。由於軸輻路網的運作，故必須針對母船容量  $i$  重新給予限制。去程母船容量限制式(2.2)的  $i$  表示為母船離開軸心港  $i$  時母船所裝載貨櫃量必須小於或等於母船船舶的容量  $L$ ，船上貨物量包含由軸心港  $i$  將運送至另一軸心港的貨櫃量、軸心港  $i$  運送至另一軸心港之集貨港的貨櫃量、集貨港經軸心港  $i$  運送至另一軸心港的貨櫃量及軸心港為  $i$  的集貨港經軸心港  $i$  再運送至另一軸心港之集貨港的貨櫃量。

回程母船容量限制式(2.3)的  $i$  表示為母船於回程時，再次離開軸心港  $i$  時母船所裝載的貨櫃量必須小於或等於母船船舶的容量  $L$ ，船上貨櫃量包含由軸心港  $i$  將運送至另一軸心港的貨櫃量、軸心港  $i$  運送至另一軸心港之集貨港的貨櫃量、集貨港經軸心港  $i$  運送至另一軸心港的貨櫃量及軸心港為  $i$  的集貨港經軸心港  $i$  再運送至另一軸心港之集貨港的貨櫃量。以限制式(2.2)與(2.3)限制去回程母船離開軸心港的時候，母船所裝載貨物必須小於或等於母船船舶的容量  $L$ 。

限制式(2.4)為子船容量限制之探討以軸心港為  $i$  之支線上子船航行其集貨港時的容量限制，以  $i_w$  表示之。包含任一軸心港運送貨櫃至軸心港為  $i$  之集貨港、任一軸心港之集貨港的貨物運送至軸心港為  $i$  之集貨港、軸心港為  $i$  之集貨港運送貨物至任一軸心港之貨櫃、軸心港為  $i$  之集貨港運送貨物至任一軸心港之集貨港。子船離開軸心港為  $i$  之集貨港時，子船所載運的貨櫃量小於或等於子船船舶

的容量  $L'$ 。

限制式(2.5)顯示當軸心港為  $i$  之支線子船將要由軸心港  $i$  出發往其他與軸心港相連接的集貨港時，子船船舶所裝載的貨櫃量必須小於或等於子船船舶容量  $L'$ ，並以  $i'$  表示子船於軸心港出發時的子船所裝載的貨櫃量。其包含任一軸心港運送貨物至軸心港為  $i$  之集貨港、任一軸心港之集貨港的貨物運送至軸心港為  $i$  之集貨港。故當軸心港為  $i$  的子船離開軸心港  $i$  時，子船所載運的貨櫃量必須小於或等於子船船舶的容量  $L'$ 。

藉由支線指派之目標式與其所有的限制式，即可獲得支線指派的最大獲利。而後再將支線指派最大獲利與主航線上母船營運的最大獲利相加，即可獲得航商於一年規劃期間內的最大獲利。

### 3.2 模式應用

本研究利用宋玚俊(2002)之模式，加以修改及說明，以確切反應海運軸輻路網的行為。利用修改完後的模式進行求解利潤最大化為目標之貨櫃船船隊定線問題，並比較其啟發式解法與窮舉法之差異。宋玚俊(2002)軸心港的求解方式是利用 O'Kelly(1987)所提出之 HEUR 1 概念為基礎，假設最佳軸心港個數落於四到八個軸心港中，並以這些軸心港個數窮舉最佳軸心港之組合。其餘未獲選之港口，以單一指派方式分派與航行距離最近的軸心港，而後再使用游至誠(2001)迴圈航線航行於支線上子船的選擇型態，以最小距離為條件，選取最佳的迴圈航程。

為彌補啟發式解法所獲得區域最佳解之不精確及正確得知海運軸輻路網航線配置的因素。本文將要以窮舉法求解可能為軸心港之港口數的選擇方式及集貨港指派軸心港的模式，以獲得整個路網中航線選擇與指派，並使航商營運海運軸輻路網中能獲得最大利潤。

## 第四章 實例求解

### 4.1 範例背景說明

成本計算方式，可分為固定成本與變動成本。固定成本方面，由於海運公司視營運成本為高機密資料，故取得不易。因此，本研究中用以計算固定成本的費用是參考許惠淑(2002)發表的「海運軸輻路網折扣係數之研究」，以租傭船舶中的論時傭船(Time Charter)，以此計算租船佣金替代固定成本。其研究結果顯示，5000TEU 的貨櫃船舶，每天的固定成本約為 16605 美元，1200TEU 貨櫃船舶每日固定成本約為 6930 美元。變動成本的計算，主要考慮航行成本、泊靠港費用及裝卸費用。航行成本的計算，是以航行燃油費用(每小時耗油費)推估，以每噸 160 美元的油價估計而求得。港埠碇泊費用及裝卸費用，是參照各港口的計費方式求得。

本研究所應用的 O-D 運價矩陣、O-D 運量矩陣、裝卸費用資料係由訪談國內兩家知名海運公司及利用 Containertisation International 網站 2003 年的資料推估運價與運量資料。航行時間是以航段間的距離除以速度，因應船速的不同(母船平均船速 25 節，子船平均船速 17 節)，推估出航行軸心港每航段的航行時間及支線港每航段的航行時間。平均靠港時間，是以裝卸貨櫃量除以各港口的裝卸速度而獲得。

表 4.1 O-D 運價矩陣(單位：美元/TEU)

迄 起	新加坡	馬尼拉	香港	高雄	基隆	上海	釜山	神戶	橫濱	東京	洛杉磯	長堤
新加坡	0	500	500	400	400	430	450	650	650	650	1200	1250
馬尼拉	730	0	400	500	500	650	510	800	800	800	1150	1200
香港	250	300	0	300	300	300	300	600	600	600	1100	1100
高雄	250	300	250	0	100	330	300	600	600	600	1100	1100
基隆	250	300	250	100	0	330	300	600	600	600	1100	1100
上海	300	720	250	450	450	0	810	300	300	300	1000	1000
釜山	250	300	300	350	350	850	0	350	350	350	1200	1200
神戶	500	400	550	520	520	350	360	0	150	150	1000	1000
橫濱	500	400	550	520	520	350	360	150	0	150	1000	1000
東京	500	400	550	520	520	350	360	150	150	0	1000	1000
洛杉磯	1100	1100	1000	1000	1000	1150	1100	1000	1000	1000	0	200
長堤	1200	1150	1000	1000	1000	1150	1100	1000	1000	1000	200	0

表 4.2 O-D 運量矩陣(單位：TEU)

迄 起	新加坡	馬尼拉	香港	高雄	基隆	上海	釜山	神戶	橫濱	東京	洛杉磯	長堤
新加坡	0	110	300	216	46	285	200	46	45	75	172	121
馬尼拉	70	0	82	50	16	40	37	15	16	20	22	27
香港	400	66	0	244	51	120	200	102	52	85	194	137
高雄	243	29	283	0	22	140	126	43	22	37	84	59
基隆	55	7	64	24	0	30	29	15	15	19	19	14
上海	250	36	310	135	28	0	161	29	28	47	107	76
釜山	254	33	280	124	26	160	0	26	26	43	99	70
神戶	56	10	66	25	10	30	29	0	10	12	20	14
橫濱	55	10	64	24	10	30	28	10	0	15	19	14
東京	90	10	105	39	10	52	47	19	15	0	31	22
洛杉磯	100	23	200	86	18	110	102	19	18	30	0	48
長堤	120	15	149	56	12	75	67	12	12	20	44	0

表 4.3 軸心港每航段的航行時間(單位：小時)

迄 起	新加坡	馬尼拉	香港	高雄	基隆	上海	釜山	神戶	橫濱	東京	洛杉磯	長堤
新加坡	0	54	59	65	72	88	101	108	116	117	315	326
馬尼拉	54	0	26	22	30	46	57	63	71	71	262	273
香港	59	26	0	14	19	33	46	55	64	64	256	267
高雄	65	22	14	0	9	24	39	45	54	54	245	256
基隆	72	30	19	9	0	17	29	35	46	46	236	247
上海	88	46	33	24	17	0	20	32	42	42	233	244
釜山	101	57	46	39	29	20	0	15	27	28	210	221
神戶	108	63	55	45	35	32	15	0	15	16	208	219
橫濱	116	71	64	54	46	42	27	15	0	1	194	205
東京	117	71	64	54	46	42	28	16	1	0	195	206
洛杉磯	315	262	256	245	236	233	210	208	194	195	0	11
長堤	326	273	267	256	247	244	221	219	205	206	11	0

表 4.4 支線港每航段的航行時間(單位：小時)

迄 起	新加坡	馬尼拉	香港	高雄	基隆	上海	釜山	神戶	橫濱	東京	洛杉磯	長堤
新加坡	0	79	86	96	107	129	148	159	171	171	463	480
馬尼拉	79	0	38	32	43	67	83	92	104	105	384	401
香港	86	38	0	21	28	48	67	81	94	194	376	393
高雄	96	32	21	0	14	36	48	66	79	80	360	377
基隆	107	43	28	14	0	24	43	57	67	68	349	366
上海	129	67	48	36	24	0	27	46	61	62	342	359
釜山	148	83	67	48	43	29	0	22	39	40	308	325
神戶	159	92	81	66	57	46	22	0	21	22	305	322
橫濱	171	104	94	79	67	61	39	21	0	2	285	302
東京	171	105	94	80	68	62	40	22	2	0	286	303
洛杉磯	463	384	376	360	349	342	308	305	285	286	0	17
長堤	480	401	393	377	366	359	325	322	302	303	17	0

表 4.5 港埠碇泊費用(單位：美元)

港口 編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
港口 船型	新加坡	馬尼拉	香港	高雄	基隆	上海	釜山	神戶	橫濱	東京	洛杉磯	長堤
1200TEU	6000	5800	4700	4300	4300	4200	5300	9000	9000	10000	9000	9000
5000TEU	7000	6500	6000	5800	5800	5200	6200	11000	11000	11000	10000	10000

表 4.6 裝卸費用與靠港時間(單位：美元)

港口 編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
港口	新加坡	馬尼拉	香港	高雄	基隆	上海	釜山	神戶	橫濱	東京	洛杉磯	長堤
裝卸費率	106	73	231	166	166	45	91	102	104	110	140	162
靠港時間	7	15	10	12	15	20	14	8	8	8	15	15

## 4.2 求解結果

### 4.2.1 求解軸心港泊靠港口選擇模式

假設母船數量為十艘 5000TEU 的船舶，窮舉所有可能軸心港的數量及所有軸心港的組合，以獲得利潤最大的軸心港選擇方式。

表 4.7 港口編號

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
港口	新加坡	馬尼拉	香港	高雄	基隆	上海	釜山	神戶	橫濱	東京	洛杉磯	長堤

表 4.8 軸心港數量為 2 時，候選港選擇結果

利潤排名	1	2	3	4	5
目標值(*10 <sup>7</sup> )美元	-7.91637	-8.71535	-8.96715	-8.9945	-9.28639
母船航行頻次	21.9	17.1094	13.9048	13.2326	16.1029
軸心港選擇	(6)(7)	(3)(11)	(1)(11)	(1)(12)	(3)(12)

軸心港個數為 2 時，損失最小而獲選的軸心港港口為上海港與釜山港，主要獲選的可能原因是兩港口的起訖貨運量大，且上海港與釜山港的裝卸費率、港埠碇泊費用均不高。新加坡港與香港未被選擇的可能原因為兩港均有較高的裝卸費用與港埠碇泊費用。

表 4.9 軸心港數量為 3 時，候選港選擇結果

利潤排名	1	2	3	4	5
目標值(*10 <sup>7</sup> )美元	-6.49352	-6.50438	-7.33531	-7.346524	-7.67064
母船航行頻次	19.0435	40.5556	13.6649	13.9048	17.8049
軸心港選擇	(6)(7)(11)	(1)(6)(7)	(1)(6)(11)	(1)(3)(11)	(6)(7)(12)

軸心港個數為 3 時，損失最小而獲選的軸心港港口為上海港、釜山港及洛杉磯，主要獲選可能因素是港口的起訖貨運量大。新加坡港與香港未被選擇的可能原因為新加坡港與香港的港埠碇泊費用與裝卸費用高。

表 4.10 軸心港數量為 4 時，候選港選擇結果

利潤排名	1	2	3	4	5
目標值(*10 <sup>7</sup> )美元	-4.59652	-5.099	-5.68797	-5.71963	-5.98316
母船航行頻次	13.7736	16.654	13.1138	17.2441	13.4769
軸心港選擇	(1)(6)(7)(11)	(3)(6)(7)(11)	(1)(6)(7)(12)	(4)(6)(7)(11)	(1)(3)(6)(11)

軸心港個數為 4 時，損失最小而獲選的選擇的軸心港港口為新加坡港、上海港、釜山港及洛杉磯港，主要獲選的可能因素是各港口起訖貨運量大。香港與高雄港未被選擇的原因可能為裝卸費率較高。

表 4.11 軸心港數量為 5 時，候選港選擇結果

利潤排名	1	2	3	4	5
目標值(*10 <sup>7</sup> )美元	-2.69064	-2.97252	-3.11128	-3.40016	-3.53581
母船航行頻次	13.1138	13.6025	15.6989	12.8846	13.7304
軸心港選擇	(1)(6) (7)(11)(12)	(1)(3) (6)(7)(11)	(3)(6) (7)(11)(12)	(1)(3) (6)(11)(12)	(1)(4) (6)(7)(11)

軸心港個數為 5 時，損失最小而獲選的軸心港港口為新加坡港、上海港、釜山港、洛杉磯及長堤，主要可能的獲選因素是各港口的起訖貨運量大。香港與高雄港未被選擇的可能原因為裝卸費用較高。

表 4.12 軸心港數量為 6 時，候選港選擇結果

利潤排名	1	2	3	4	5
目標值(*10 <sup>7</sup> )美元	0.14017	-1.10491	-1.96333	-2.22159	-2.27016
母船航行頻次	12.9586	13.0746	15.4225	12.659	13.3945
軸心港選擇	(1)(3)(6) (7)(11)(12)	(1)(4)(6) (7)(11)(12)	(3)(4)(6) (7)(11)(12)	(1)(2)(6) (7)(11)(12)	(1)(3)(4) (6)(7)(11)

軸心港個數為 6 時，利潤最大而被選擇為軸心港的港口為新加坡港、香港、上海港、釜山港、洛杉磯港及長堤港，主要獲選的可能因素是各港口的起訖貨運量大。馬尼拉港與高雄港未被選擇的原因可能為馬尼拉港的港埠碇泊費用高，高雄港的貨櫃量相較於香港少，故未被獲選之。

表 4.13 軸心港數量為 7 時，候選港選擇結果

利潤排名	1	2	3	4	5
目標值(*10 <sup>7</sup> )美元	1.33219	0.389257	-0.0426826	-0.228747	-0.496837
母船航行頻次	12.7697	12.2006	12.4786	12.8446	12.4786
軸心港選擇	(1)(3)(4)(6) (7)(11)(12)	(1)(2)(3)(6) (7)(11)(12)	(1)(3)(6)(7) (10)(11)(12)	(1)(3)(5)(6) (7)(11)(12)	(1)(3)(6)(7) (8)(11)(12)

軸心港個數為 7 時，利潤最大而被獲選為軸心港的港口為新加坡港、香港、高雄港、上海港、釜山港、洛杉磯港及長堤港，主要獲選的可能因素是各港口的起訖貨運量大。馬尼拉港、神戶港與東京港未被選擇的可能原因為港埠碇泊費用較高。

表 4.14 軸心港數量為 8 時，候選港選擇結果

利潤排名	1	2	3	4	5
目標值(*10 <sup>7</sup> )美元	1.62201	1.26404	0.932347	0.808393	0.684584
母船航行頻次	12.033	12.3034	12.6957	12.3034	12.3729
軸心港選擇	(1)(2)(3) (4)(6) (7)(11)(12)	(1)(3)(4) (6)(7) (10)(11)(12)	(1)(3)(4) (5)(6) (7)(11)(12)	(1)(3)(4) (6)(7) (8)(11)(12)	(1)(3)(4) (6)(7) (9)(11)(12)

軸心港個數為 8 時，利潤最大而被獲選為軸心港的港口為新加坡港、馬尼拉港、香港、高雄港、上海港、釜山港、洛杉磯港及長堤港，主要獲選的可能因素是港口的起訖貨運量大。神戶港、橫濱港與東京港未被選擇的可能原因為港埠碇泊費用高，而基隆港未被選擇的可能因素為港口起訖貨運量小。

表 4.15 軸心港數量為 9 時，候選港選擇結果

利潤排名	1	2	3	4	5
目標值(*10 <sup>7</sup> )美元	1.64067	1.27795	1.19219	1.081	1.01491
母船航行頻次	11.618	11.9672	11.618	11.68	12.2006
軸心港選擇	(1)(2)(3) (4)(6)(7) (10)(11)(12)	(1)(2)(3) (4)(5)(6) (7)(11)(12)	(1)(2)(3) (4)(6)(7) (8)(11)(12)	(1)(2)(3) (4)(6)(7) (9)(11)(12)	(1)(3)(4) (6)(7)(8) (10)(11)(12)

軸心港個數為 9 時，利潤最大而被獲選為軸心港的港口為新加坡港、馬尼拉港、香港、高雄港、上海港、釜山港、東京港、洛杉磯港及長堤港，主要獲選的可能因素是港口的起訖貨運量相較於基隆港、神戶港與橫濱港大。

表 4.16 軸心港數量為 10 時，候選港選擇結果

利潤排名	1	2	3	4	5
目標值(*10 <sup>7</sup> )美元	1.47653	1.39345	1.33635	0.921896	0.912753
母船航行頻次	11.5263	11.618	11.5567	11.5873	11.5567
軸心港選擇	(1)(2)(3)(4) (6)(7)(8) (10)(11)(12)	(1)(2)(3)(4) (6)(7)(9) (10)(11)(12)	(1)(2)(3)(4) (5)(6)(7) (10)(11)(12)	(1)(2)(3)(4) (6)(7)(8) (9)(11)(12)	(1)(2)(3)(4) (5)(6)(7) (8)(11)(12)

軸心港個數為 10 時，利潤最大而被獲選為軸心港的港口為新加坡港、馬尼拉港、香港、高雄港、上海港、釜山港、神戶港、東京港、洛杉磯港及長堤港，主要獲選的可能因素是這些港口的起訖貨運量相對於基隆港與橫濱港大。

表 4.17 軸心港數量為 11 時，候選港選擇結果

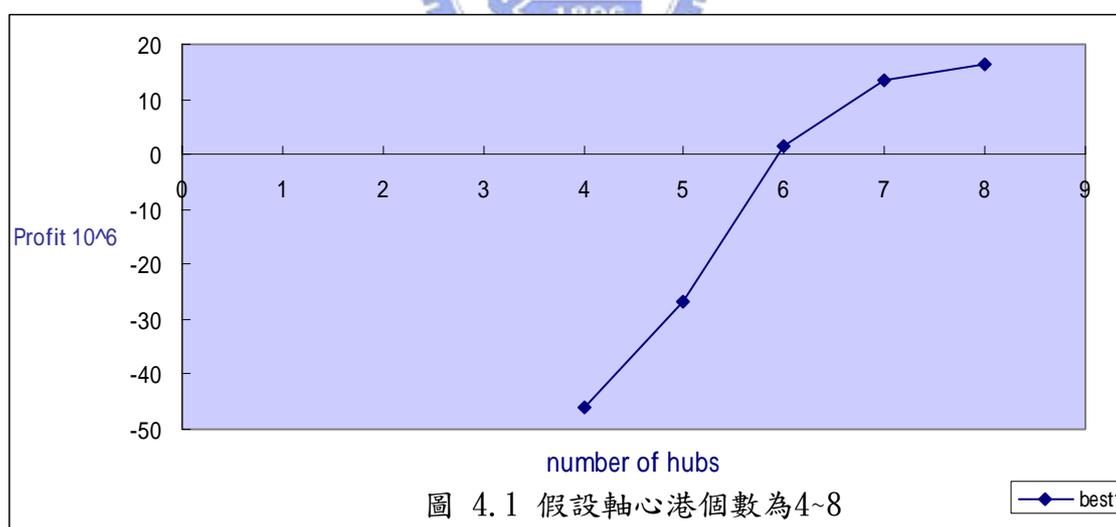
利潤排名	1	2	3	4	5
目標值(*10 <sup>7</sup> )美元	1.2554	1.23057	1.17071	0.69476	0.460561
母船航行頻次	11.466	11.5263	11.5567	11.5263	12.133
軸心港選擇	(1)(2)(3)(4)	(1)(2)(3)(4)	(1)(2)(3)(4)	(1)(2)(3)(4)	(1)(3)(4)(5)
	(5)(6)(7)(8)	(6)(7)(8)(9)	(5)(6)(7)(9)	(5)(6)(7)(8)	(6)(7)(8)(9)
	(10)(11)(12)	(10)(11)(12)	(10)(11)(12)	(9)(11)(12)	(10)(11)(12)

軸心港個數為 11 時，利潤最大而被獲選為軸心港的港口為新加坡港、馬尼拉港、香港、高雄港、基隆港、上海港、釜山港、神戶港、東京港、洛杉磯港及長堤港，主要獲選的可能因素是各港口的起訖貨運量相較於橫濱港大。

求解軸心港利潤最大模式可以發現軸心港之主要選擇因素為取決於泊靠港口的起訖運量，因為運量大，相對的運費收入高，獲得利潤亦可能較大。

#### 4.2.2 比較與分析軸心港泊靠港口選擇的結果

利用 O'Kelly(1987)所設計的求解法概念 HEUR1，設定軸心港個數為給定的範圍(4-8 個軸心港)，窮舉所有軸心港的組合，獲得最大利潤，由求解軸心港泊靠港口選擇模式，得到結果如下圖 4.1。



由求解結果發現事先假定利潤最大化之最佳軸心港選擇個數會坐落於 4-8 個軸心港，由圖 4.1 可發現軸心港個數到 8 為止，仍為持續上升的情況，可能的原因為選作軸心港口數目不足，導致無法確切獲得在最大利潤下，最佳的軸心港個數，故無法得到一個凸向上的圖形。

不考慮使用 O'Kelly(1987)設計之 HEUR1 的概念，列舉所有可能作為軸心港

的個數，並以窮舉法求解軸心港泊靠港口選擇模式，並列舉前五大獲利利潤，所得結果如下圖 4.2。

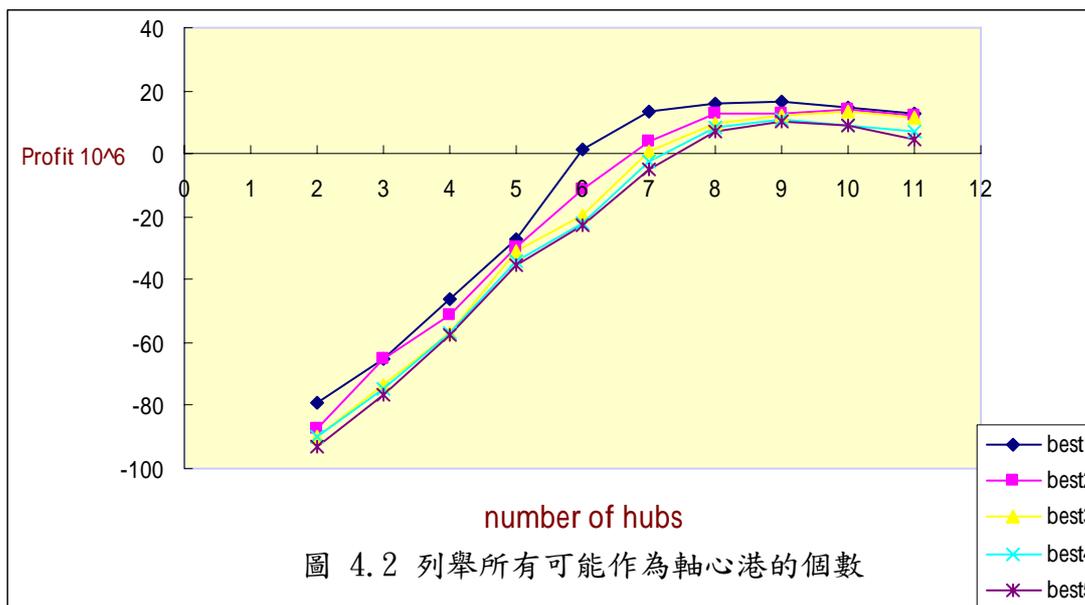


圖 4.2 列舉所有可能作為軸心港的個數

經由列舉所有可能為軸心港的個數，則由圖 4.2 觀測發現，利用可能為軸心港的個數，以窮舉的方式獲得最大獲利為軸心港個數為 9 個，最大利潤為  $1.64067 * 10^7$  (Global Optimal)。

#### 4.2.3 求解集貨港指派模式

1. 以啟發式（以最短距離原則）求解，求得表 4.18。

由於支線子船船舶容量限制與迴圈航行機制的結果，導致當軸心港個數為二個與三個時，子船船舶所裝載的貨櫃量會超過船舶的裝載容量，無法滿足限制式，故無法求得支線指派模式的最佳解。

表 4.18 啟發式支線求解

軸心港個數	停靠港編號	指派情況	支線利潤 (*10 <sup>7</sup> )
4	1, 6, 7, 11	{1, 6}, {2, 6}, {3, 6}, {4, 6} {5, 6}, {8, 7}, {9, 7} {10, 7}, {11, 12}	-42.4854
5	1, 6, 7, 11, 12	{2, 6}, {3, 6}, {4, 6}, {5, 7} {8, 7}, {9, 7}, {10, 7}	-44.6482
6	1, 3, 6, 7, 11, 12	{2, 3}, {4, 3}, {5, 6}, {8, 7} {9, 7}, {10, 7}	-12.9068
7	1, 3, 4, 6, 7, 11, 12	{2, 4}, {5, 4}, {8, 7}, {9, 7} {10, 7}	-5.71266
8	1, 2, 3, 4, 6, 7, 11, 12	{5, 4}, {8, 7}, {9, 7} {10, 7}	-5.3667
9	1, 2, 3, 4, 6, 7, 10, 11, 12	{5, 4}, {8, 10}, {9, 10}	-4.28593
10	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12	{5, 4}, {9, 10}	-6.13562
11	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12	{9, 10}	-4.54389

路網指派圖如下所示：

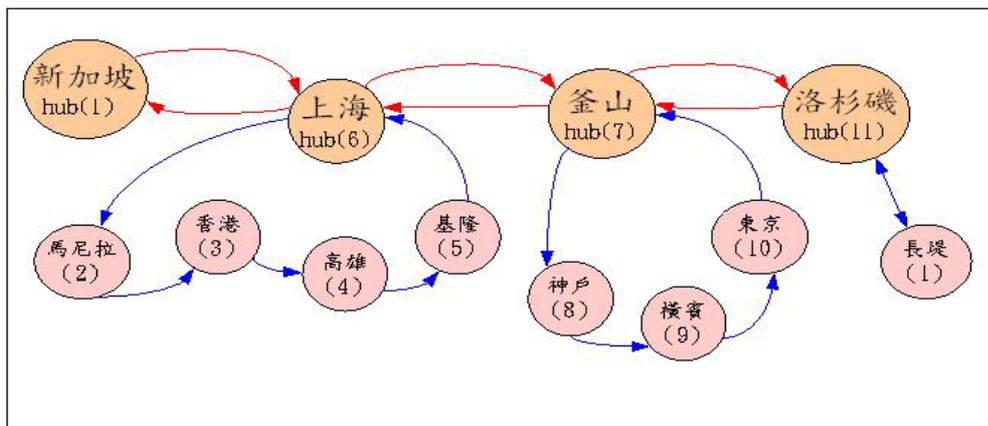


圖 4.3 以啟發式求解 4 個軸心港，8 個集貨港

由軸心港泊靠港選擇模式求解四個軸心港口，分別為新加坡港、上海港、釜山港及洛杉磯港，利用此四個軸心港求解支線港船舶指派模式，以距離最短的方法，分別獲得馬尼拉港、香港、高雄港及基隆港，以迴圈方式指派給上海港；神戶、橫濱、東京、長崎，以迴圈方式指派給洛杉磯港。

戶港、橫濱港及東京港，以迴圈的方式指派給釜山港；長堤港指派給洛杉磯港。詳細圖解為圖 4.3。

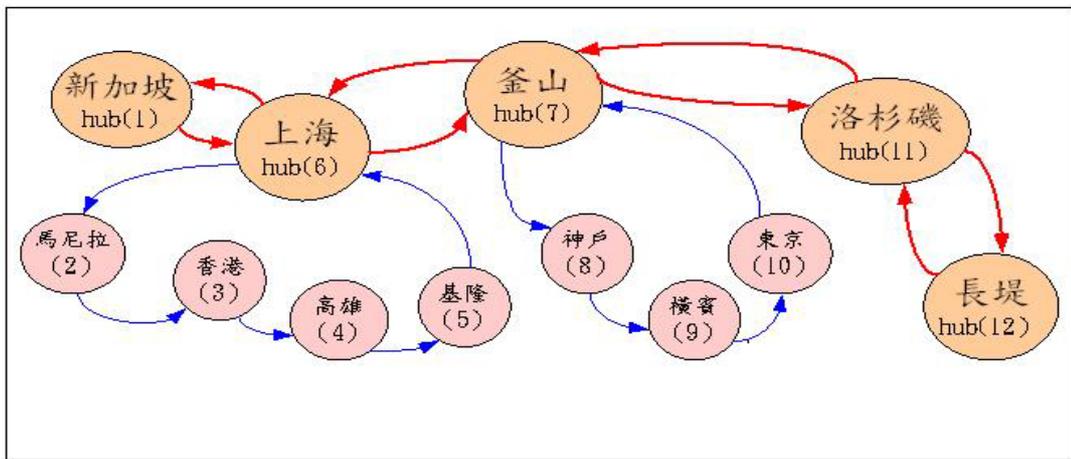


圖 4.4 以啟發式求解 5 個軸心港，7 個集貨港

由軸心港泊靠港選擇模式求解五個軸心港口，分別為新加坡港、上海港、釜山港、洛杉磯港及長堤港，利用此五個軸心港求解支線港船舶指派模式，以距離最短的方法，分別獲得馬尼拉港、香港、高雄港及基隆港，以迴圈方式指派給上海港；神戶港、橫濱港及東京港，以迴圈的方式指派給釜山港。詳細圖解為圖 4.4。

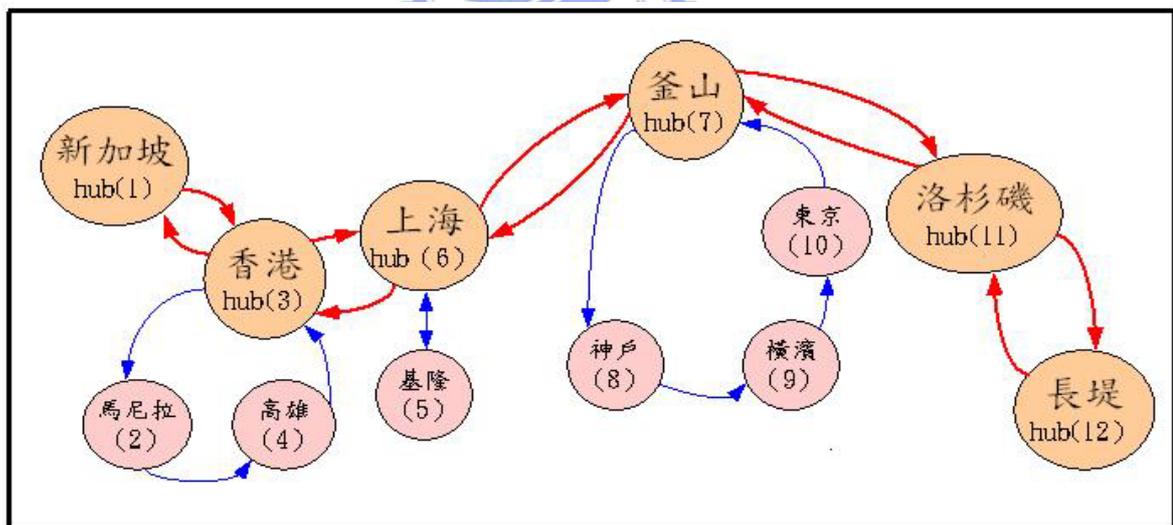


圖 4.5 以啟發式求解 6 個軸心港，6 個集貨港

由軸心港泊靠港選擇模式求解六個軸心港口，分別為新加坡港、香港、上海港、釜山港、洛杉磯港及長堤港，利用此六個軸心港求解支線港船舶指派模式，以距離最短的方法，分別獲得馬尼拉港與高雄港，以迴圈方式指派給香港；基隆港指派給上海港；神戶港、橫濱港及東京港，以迴圈的方式指派給釜山港。詳細圖解為圖 4.5。

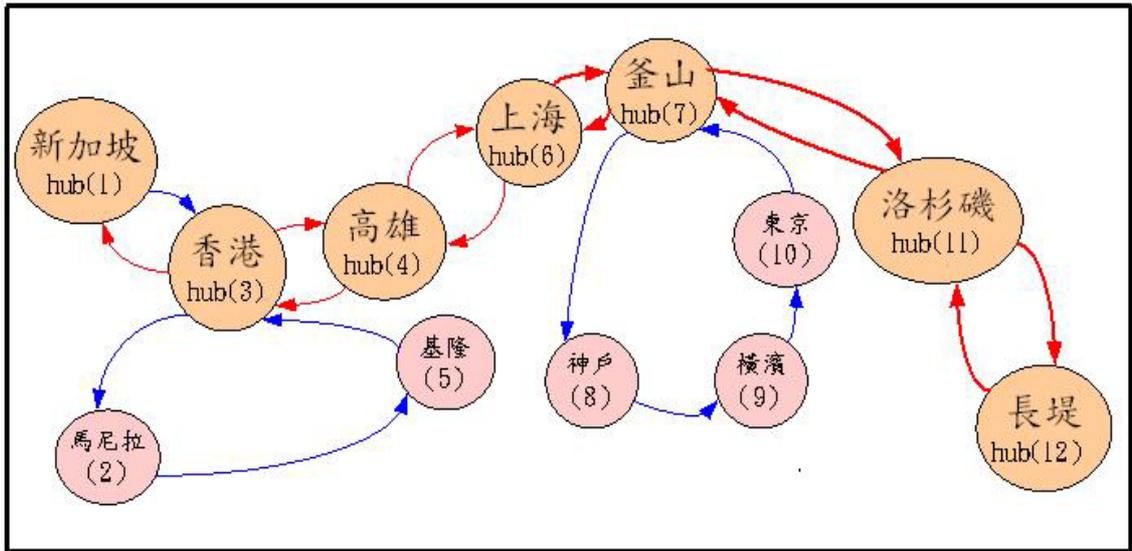


圖 4.6 以啟發式求解 7 個軸心港，5 個集貨港

由軸心港泊靠港選擇模式求解七個軸心港口，分別為新加坡港、香港、高雄港、上海港、釜山港、洛杉磯港及長堤港，利用此七個軸心港求解支線港船舶指派模式，以距離最短的方法，分別獲得馬尼拉港與基隆港，以迴圈方式指派給香港；神戶港、橫濱港及東京港，以迴圈的方式指派給釜山港。詳細圖解為圖 4.6。

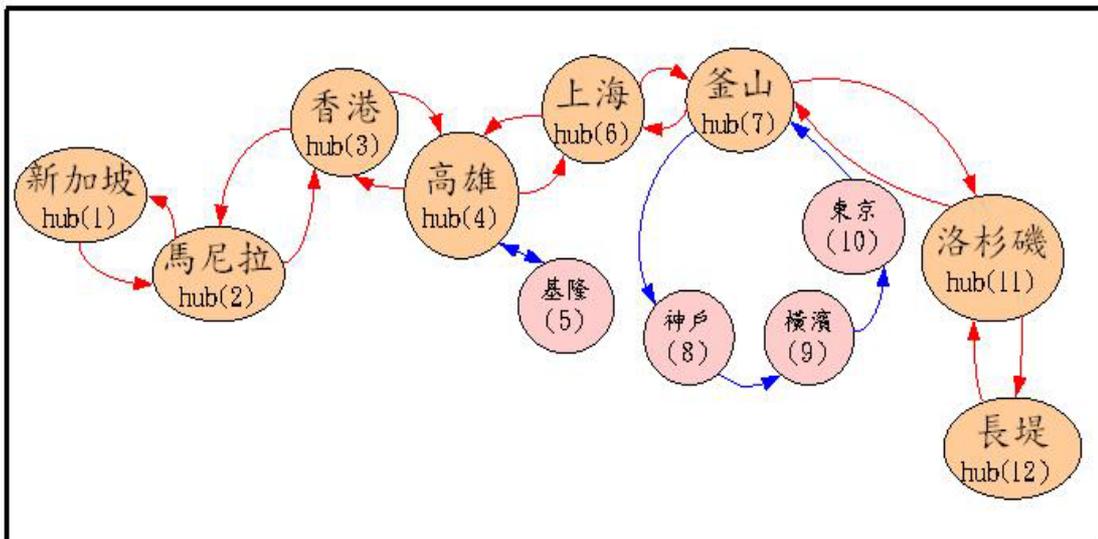


圖 4.7 以啟發式求解 8 個軸心港，4 個集貨港

由軸心港泊靠港選擇模式求解八個軸心港口，分別為新加坡港、馬尼拉港、香港、高雄港、上海港、釜山港、洛杉磯港及長堤港，利用此八個軸心港求解支線港船舶指派模式，以距離最短的方法，分別獲得基隆港指派給高雄港；神戶港、橫濱港及東京港，以迴圈的方式指派給釜山港。詳細圖解為圖 4.7。

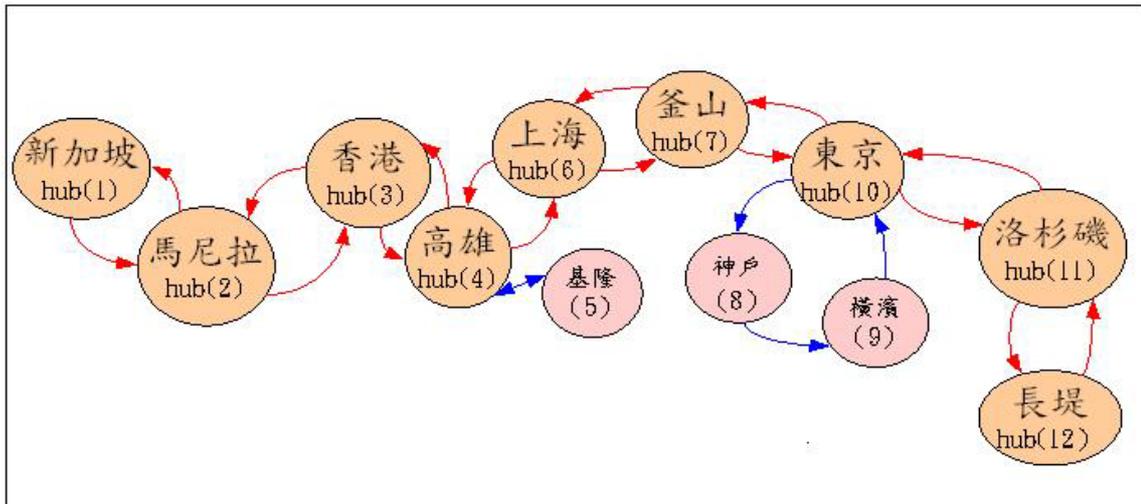


圖 4.8 以啟發式求解 9 個軸心港，3 個集貨港

由軸心港泊靠港選擇模式求解九個軸心港口，分別為新加坡港、馬尼拉港、香港、高雄港、上海港、釜山港、東京港、洛杉磯港及長堤港，利用此九個軸心港求解支線港船舶指派模式，以距離最短的方法，分別獲得基隆港指派給高雄港；神戶港及橫濱港，以迴圈的方式指派給東京港。由此最短距離的方法中，可發現神戶港到釜山港與神戶港到東京港的距離相等，但經由支線求解得到，神戶港指派給東京港所損失的最小，這樣的結果亦符合游至誠(2001)研究發現以迴圈方式航行，可獲得較大的利益。詳細圖解為圖 4.8。

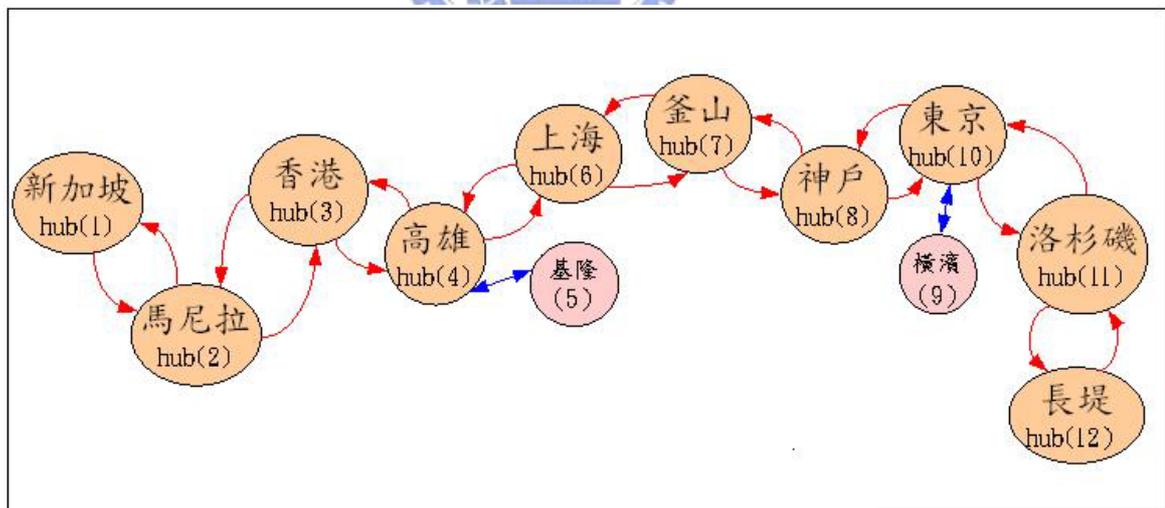


圖 4.9 以啟發式求解 10 個軸心港，2 個集貨港

由軸心港泊靠港選擇模式求解十個軸心港口，分別為新加坡港、馬尼拉港、香港、高雄港、上海港、釜山港、神戶港、東京港、洛杉磯港及長堤港，利用此十個軸心港求解支線港船舶指派模式，以距離最短的方法，分別獲得基隆港指派給高雄港；橫濱港指派給東京港。詳細圖解為圖 4.9。

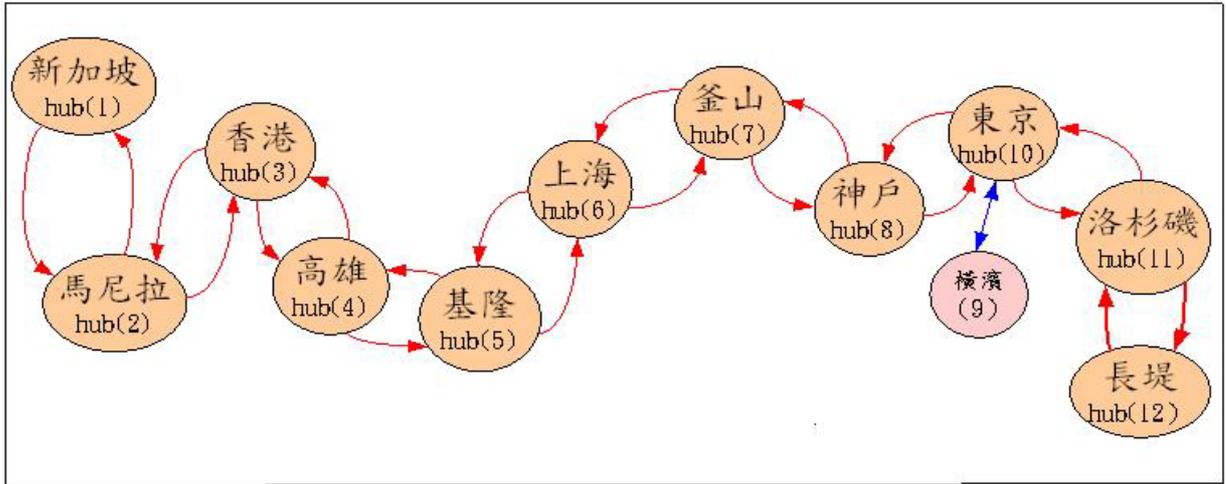


圖 4.10 以啟發式求解 11 個軸心港，1 個集貨港

由軸心港泊靠港選擇模式求解十一個軸心港口，分別為新加坡港、馬尼拉港、香港、高雄港、基隆港、上海港、釜山港、神戶港、東京港、洛杉磯港及長堤港，利用此十一個軸心港求解支線港船舶指派模式，以距離最短的方法，獲得橫濱港指派給東京港。詳細圖解為圖 4.10。

以最短距離之啟發式求解支線港船舶指派模式，且每個支線迴圈亦都為彼此間距離最短之組合，由這樣的理念獲得由一個集貨港到十個集貨港之啟發式指派結果。然全部結果均為負值，亦顯示以海運軸輻路網的概念，利用最短距離的方法求解航線指派並非可行的啟發式解法。

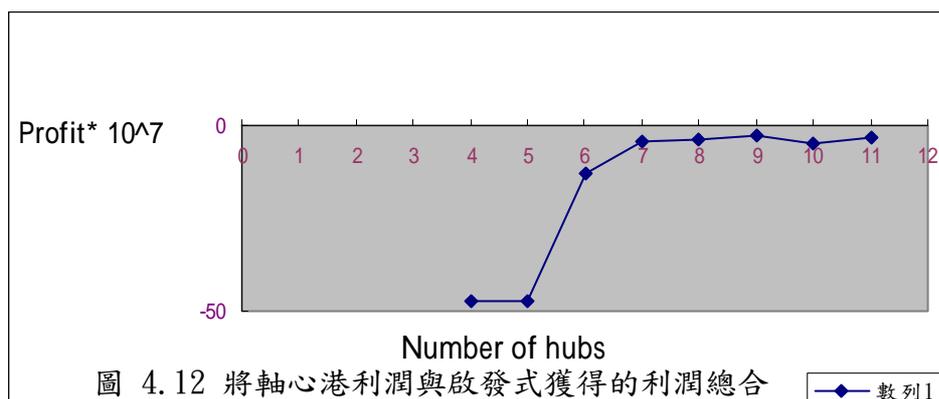
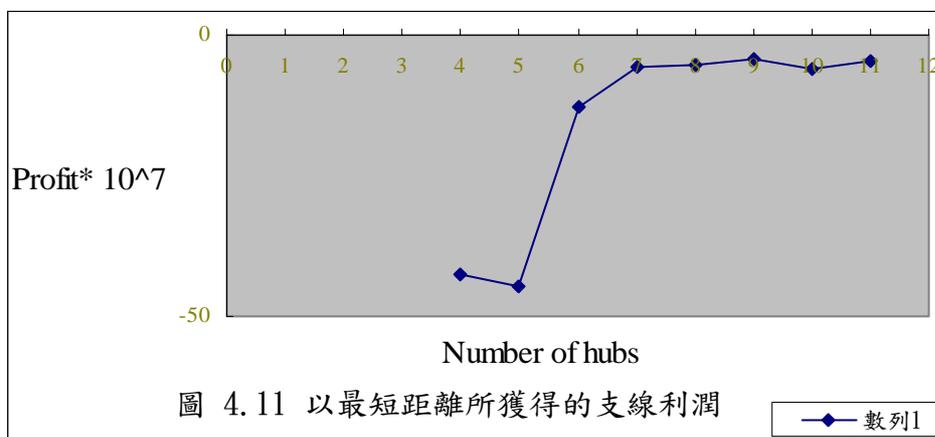
支線指派總利潤與整個系統的總利潤，表 4.19 整理出啟發式求解之目

標與兩模式利潤的總合：

表 4.19 以啟發式求解得的總利潤

軸心港個數	軸心港利潤*10 <sup>7</sup>	集貨港利潤*10 <sup>7</sup>	總合*10 <sup>7</sup>
4	-4.59652	-42.4854	-47.0819
5	-2.69064	-44.6482	-47.3388
6	0.14017	-12.9068	-12.7666
7	1.33219	-5.71266	-4.38047
8	1.62201	-5.3667	-3.74469
9	1.64067	-4.28593	-2.64526
10	1.47653	-6.13562	-4.65909
11	1.2554	-4.54389	-3.28849

由於利用最短距離之啟發式方法求解所獲得的結果之利潤均為負值，且加上軸心港選擇的總利潤後亦為負值，很明顯的可以看出，這樣的啟發式解法，雖可快速求解支線港指派結果，但無法使航商獲得最大的利潤。圖 4.11 與圖 4.12 是將表 4.19 繪製成圖，便於觀察軸心港個數增加時支線港的利潤與總運送利潤。



由圖 4.11 與圖 4.12 可知利用最短距離的啟發式方法，求解支線港指派模式所獲得的利潤，均為負值，也就是航商使用此支線航線指派將會損失資產，且就算軸心港選擇方面可獲取利潤，但就總利潤而言，航商還是虧損的。

2. 以窮舉法求解，得表 4.20。

由於支線子船船舶容量限制與迴圈航行機制的結果，導致當軸心港個數為二個與三個時，子船船舶所裝載的貨櫃量會超過船舶的裝載容量，無法滿足限制式，故無法求得支線指派模式的最佳解。

表 4.20 窮舉法求解支線支派之結果

軸心港個數	停靠港編號	指派情況	支線利潤 (*10 <sup>7</sup> )
4	1, 6, 7, 11	{5, 1}, {8, 1}, {9, 1}, {3, 6}, {2, 7}, {4, 7} {10, 11}, {12, 11}	-12.8009
5	1, 6, 7, 11, 12	{2, 1}, {4, 1}, {3, 6}, {8, 7} {10, 7}, {5, 11}, {9, 11}	-6.89418
6	1, 3, 6, 7, 11, 12	{2, 1}, {5, 1}, {9, 3}, {4, 6} {8, 7}, {10, 7}	2.7693
7	1, 3, 4, 6, 7, 11, 12	{2, 7}, {5, 1}, {8, 11}, {9, 4} {10, 6}	4.39737
8	1, 2, 3, 4, 6, 7, 11, 12	{10, 2}, {5, 1}, {9, 1} {10, 2}	3.55733
9	1, 2, 3, 4, 6, 7, 10, 11, 12	{5, 1}, {8, 2}, {9, 6}	2.53376
10	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12	{9, 2}, {5, 6}	1.44266
11	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12	{9, 6}	1.41353

路網指派圖如下所示：

由於支線子船船舶容量限制與迴圈航行機制的結果，導致當軸心港個數為二個與三個時，子船船舶所裝載的貨櫃量會超過船舶的裝載容量，無法滿足限制式，故無法求得支線指派模式的最佳解。

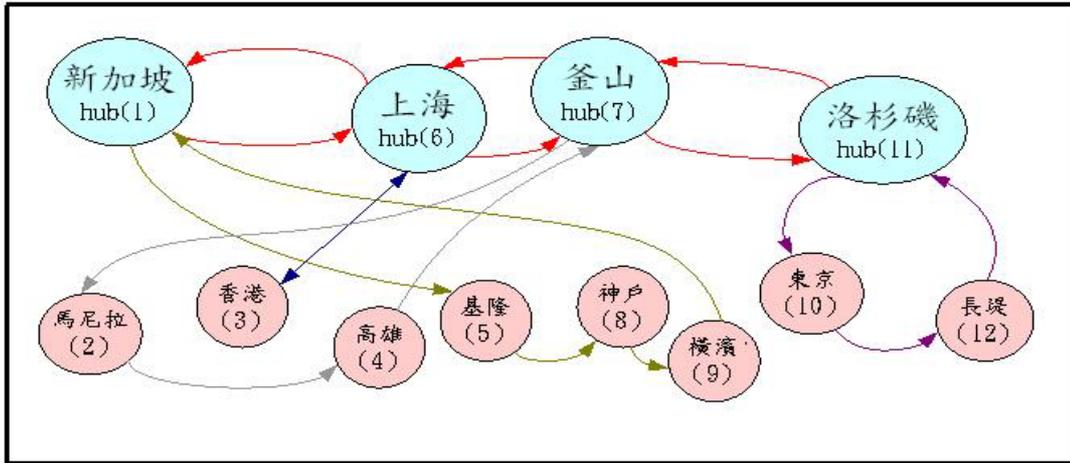


圖 4.13 以窮舉法求解 4 個軸心港，8 個集貨港

以窮舉法獲得軸心港個數為四個時，其支線指派結果為圖 4.13。由結果顯示，基隆港、神戶港及橫濱港指派給新加坡港；東京港與長堤港指派給洛杉磯港，可能是東京港與長堤港離洛杉磯港距離較近；馬尼拉港與高雄港指派給釜山港；香港指派給上海港，可能是香港距離上海港近，且上海港的裝卸費用與港埠碇泊便宜。

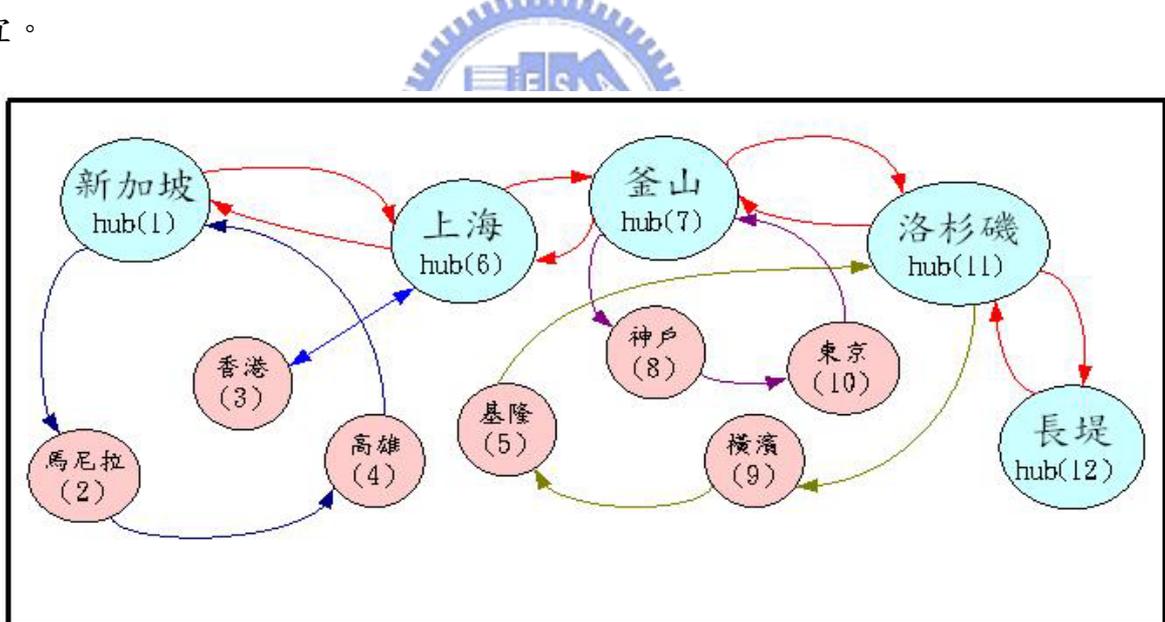


圖 4.14 以窮舉法求解 5 個軸心港，7 個集貨港

以窮舉法獲得軸心港個數為五時，其支線指派結果為圖 4.14。結果顯示馬尼拉港與高雄港指派給新加坡港，可能是馬尼拉港距離新加坡港距離較近，且馬尼拉港到新加坡港的運價高，而高雄港有蠻多的貨櫃量到新加坡港，所以指派給新加坡港；香港距離上海港距離近，所以香港指派給上海港；神戶港與東京港指派給釜山港，可能是因為兩港距離其軸心港較近，所以指派之。基隆港與橫濱港指派給洛杉磯港，可能是因為基隆港與橫濱港到洛杉磯港的運價高，相對的運費收

入就高，故指派給洛杉磯港。

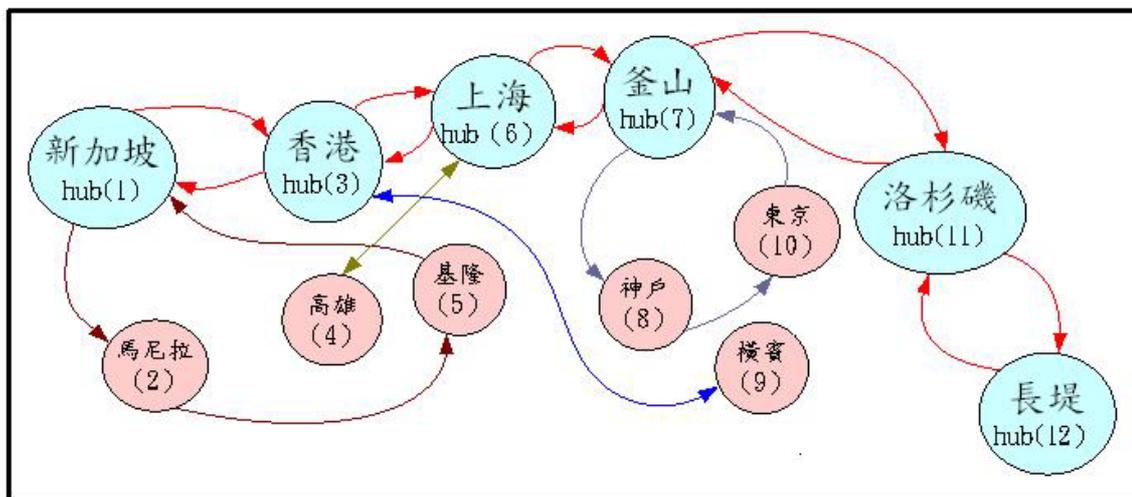


圖 4.15 以窮舉法求解 6 個軸心港，6 個集貨港

以窮舉法獲得軸心港個數為六時，其支線指派結果為圖 4.15。結果顯示馬尼拉港與基隆港指派給新加坡港，可能是兩者均有蠻多的貨櫃量送往新加坡港，且新加坡港到馬尼拉港的運價高；橫濱港指派給香港，可能是橫濱港到香港或香港到橫濱港的有足夠的運量；高雄港指派給上海港，可能是上海港裝卸費用與港埠費用低，且貨量充足、距離近；神戶港與東京港指派給釜山港，可能是兩港距離釜山港近，故指派給釜山港。

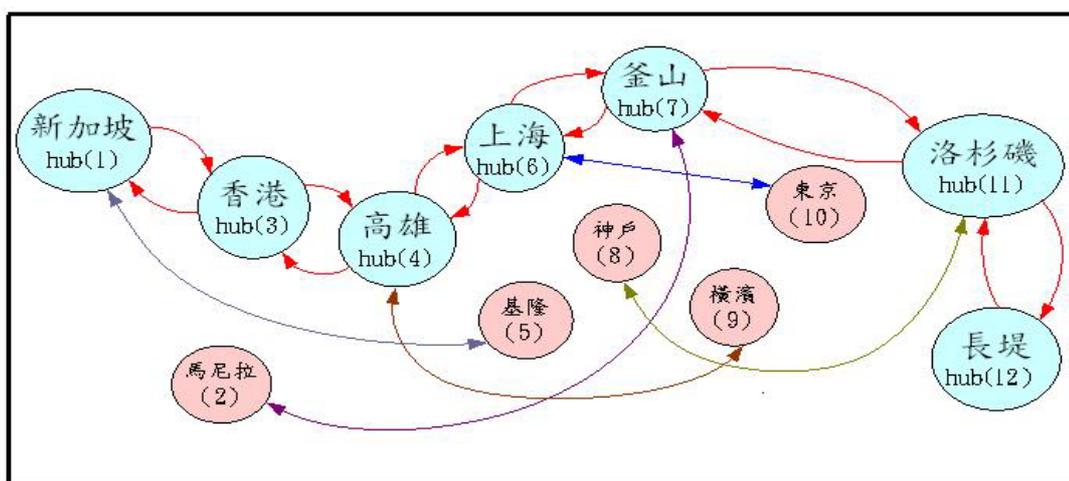


圖 4.16 以窮舉法求解 7 個軸心港，5 個集貨港

以窮舉法獲得軸心港個數為七時，其支線指派結果為圖 4.16。結果顯示基隆港指派給新加坡港，可能是基隆港港埠費用低，故指派之；橫濱港指派給高雄港，

可能是高雄港的港埠費用低，吸引橫濱港靠泊；東京港指派給上海港，可能是上海港的裝卸費率與港埠費用低，吸引東京港靠泊；馬尼拉港指派給釜山港，可能是釜山港的裝卸費用低，吸引馬尼拉港靠泊；神戶港指派給洛杉磯港，可能是神戶港到洛杉磯港或洛杉磯港到神戶港的運費高，且神戶港的裝卸費用低，故指派給洛杉磯港。

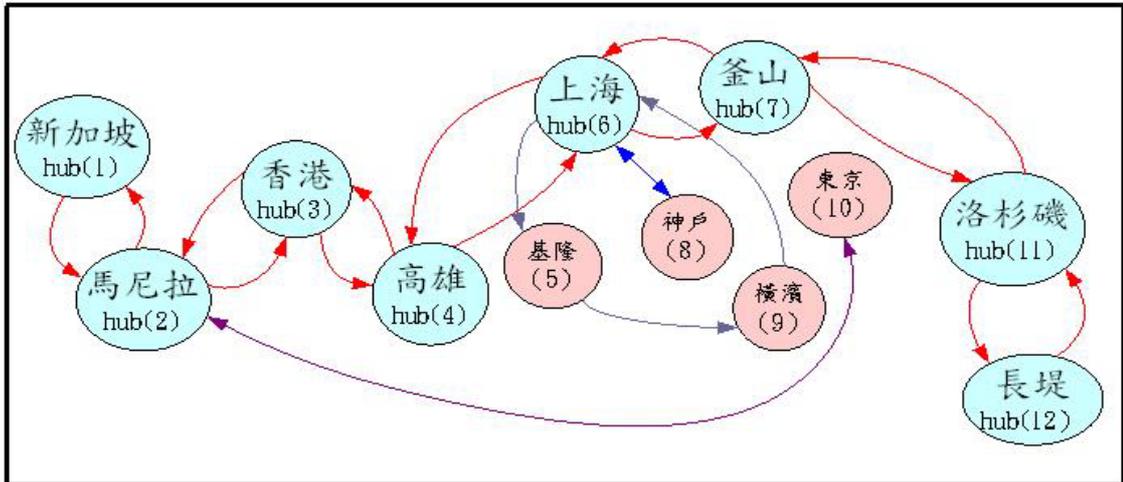


圖 4.17 以窮舉法求解 8 個軸心港，4 個集貨港

以窮舉法獲得軸心港個數為八時，其支線指派結果為圖 4.17。結果顯示基隆港與橫濱港指派給釜山港，可能是釜山港的裝卸費用便宜；東京港指派給馬尼拉港，可能是馬尼拉港的裝卸費用便宜；神戶港指派給上海港，可能是上海港的裝卸費用與靠港費用均便宜，故指派之。

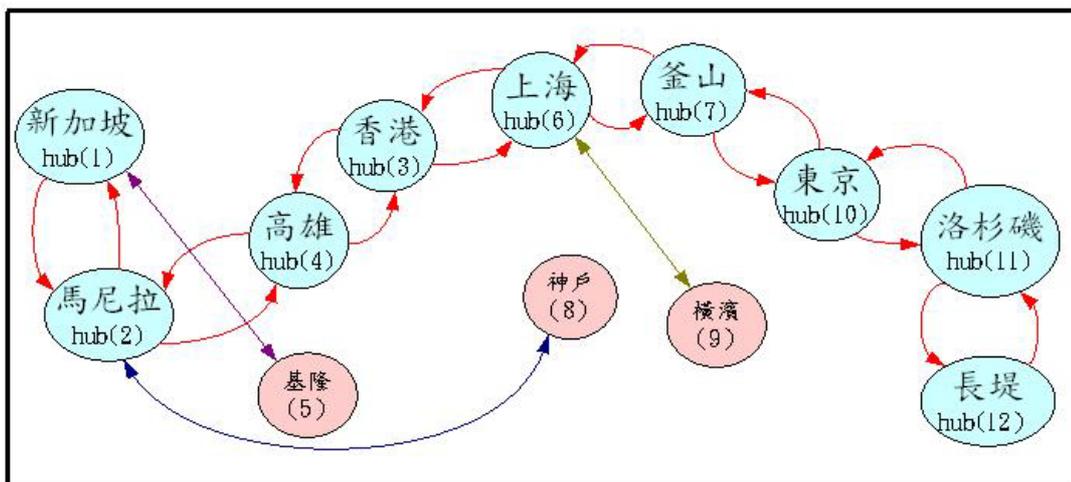


圖 4.18 以窮舉法求解 9 個軸心港，3 個集貨港

以窮舉法獲得軸心港個數為九時，其支線指派結果為圖 4.18。結果顯示基隆

港指派給新加坡港，可能是基隆港的港埠碇泊費用便宜；神戶港指派給馬尼拉港，可能是馬尼拉港的裝卸費用便宜；橫濱港指派給上海港，可能是上海港的裝卸費用與港埠碇泊費用便宜，故指派之。

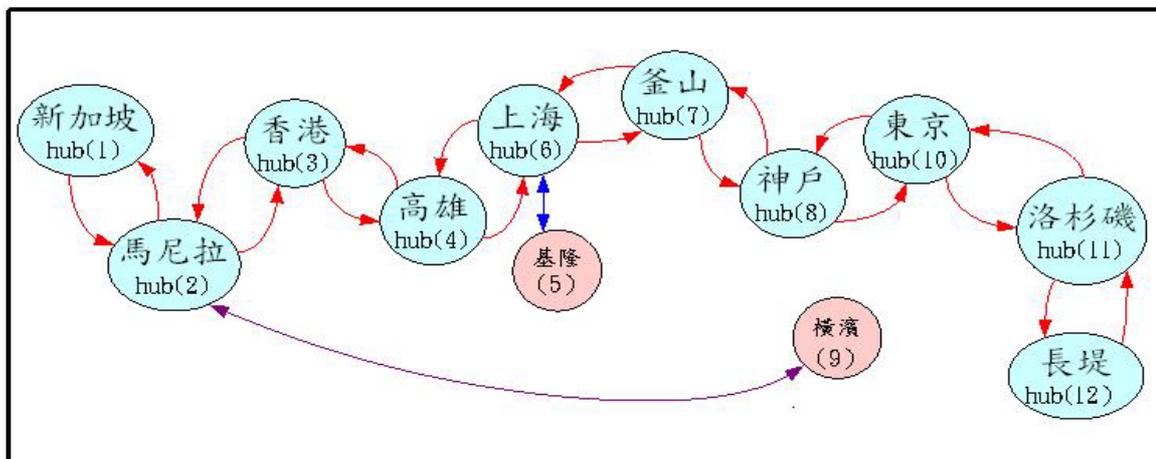


圖 4.19 以窮舉法求解 10 個軸心港，2 個集貨港

以窮舉法獲得軸心港個數為十時，其支線指派結果為圖 4.19。結果顯示基隆港指派給上海港，可能是基隆港與上海港的港埠碇泊費用便宜，且上海港的裝卸費用亦便宜，故指派給上海港；橫濱港指派給馬尼拉港，可能是馬尼拉港的貨櫃裝卸費用低，故指派給馬尼拉港。

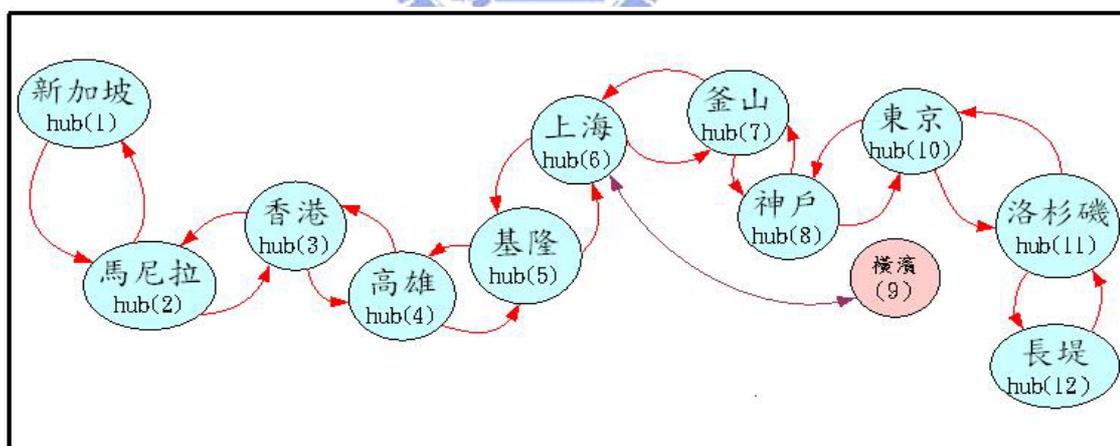


圖 4.20 以窮舉法求解 11 個軸心港，1 個集貨港

以窮舉法獲得軸心港個數為十一時，其支線指派結果為圖 4.20。結果顯示橫濱港指派給上海港，可能是上海港的裝卸費用與港埠費用均較低，故指派之。

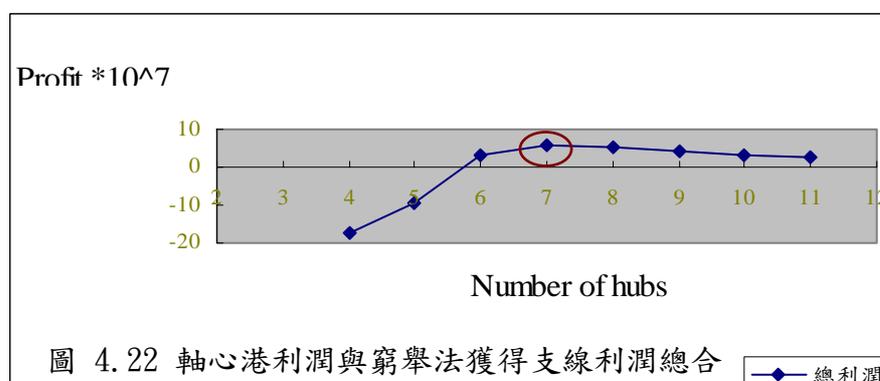
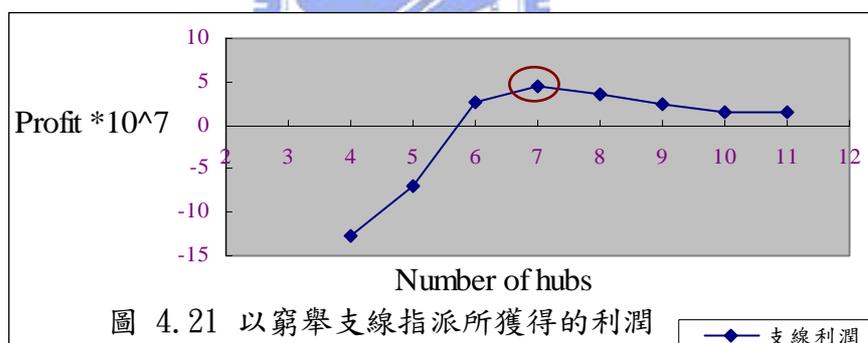
支線指派總利潤與整個系統的總利潤，表 4.21 整理出以窮舉法求解之

目標與兩模式利潤的總合：

表 4.21 窮舉法求解所得之總利潤

軸心港個數	軸心港利潤*10 <sup>7</sup>	集貨港利潤*10 <sup>7</sup>	總合*10 <sup>7</sup>
4	-4.59652	-12.8009	-17.3974
5	-2.69064	-6.89418	-9.58482
6	0.14017	2.7693	2.90947
7	1.33219	4.39737	5.72956
8	1.62201	3.55733	5.17934
9	1.64067	2.53376	4.17443
10	1.47653	1.44266	2.91919
11	1.2554	1.41353	2.66893

比較表 4.21 可得知以窮舉法求解支線指派，可獲得軸心港個數為七時，軸心港利潤為 $1.33219 \times 10^7$ ，支線指派之最大利潤為 $4.39737 \times 10^7$ ，可得到最大總獲利為 $5.72956 \times 10^7$ ，指派方式為基隆港指派港新加坡港，橫濱港指派給高雄港，東京港指派給上海港，馬尼拉港指派給釜山港，神戶港指派給洛杉磯港。由此表亦可得知，支線指派的運作，可獲得的利潤勝過於軸心港的選擇利潤，也就是集貨港的運作，使資源有效的利用，因而使航商獲得更大的利潤。



由圖 4.21 與圖 4.22 可知利用窮舉法求得支線指派利潤，其最大的軸心港個

數為七時，航商可獲得最大利潤；而軸心港利潤加上支線指派利潤的最大總利潤，亦為軸心港個數為七時。由此結果，可知可利用列舉軸心港的個數作為計算時，可利用 O'Kelly(1987)設計之 HEUR1 的概念，只選擇軸心港個數在所選擇的範圍中間數個即可；但支線指派模式的求解，必須利用窮舉的方式，才可使航商獲得最大利潤。

#### 4.2.4 比較與分析的結果

比較圖 4.12 與圖 4.22 可獲得軸心港個數為七時利潤最大。因為啟發式解法只考慮距離的影響，且所得數值均為負值，故無法作為航商船隊定線之參考。而窮舉法考慮市場運費、貨物流量、裝卸費成本及港埠費用的影響，是故求得的解是全域最佳解。

比較支線指派之啟發式與窮舉法的誤差：

表 4.22 比較窮舉法與啟發式

軸心港個數	窮舉法獲得支線利潤*10 <sup>7</sup>	啟發式獲得支線利潤*10 <sup>7</sup>	誤差%
4	-17.3974	-47.0819	1.706261
5	-6.89418	-47.3388	5.866487
6	2.90947	-12.7666	5.387947
7	5.72956	-4.38047	1.764539
8	5.17934	-3.74469	1.723005
9	4.17443	-2.64526	1.633682
10	2.91919	-4.65909	2.596021
11	2.66893	-3.28849	2.232138

比較表 4.22 可得知軸心港個數由四個到十一個，所獲得的啟發式求解支線指派的利潤均為負值，而窮舉法求解支線指派所獲得的解於軸心港個數為六個到十一個之間，其利潤值均為正，且軸心港為七時，可獲得總利潤最大為 5.72956\*10<sup>7</sup>。

由於啟發式解均為負值，故所計算出來的誤差值，均大於 1，表示啟發式與窮舉法間誤差太大無法相互取代，故針對海運軸輻路網求解時使用最短距離方式之啟發式解法會與窮舉法相差甚大，使用啟發式反而會使航商損失更大，故不適合應用於海運軸輻路網上。

## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

本研究以利潤最大化為目標，考慮海運市場的重要因素，以二次指派的整數規劃法，建立軸心港與集貨港之最大化利潤模式，並以窮舉法求解，而後再與以比較使用最短路徑概念的啟發式。

海運軸輻路網求解航線選擇與指派，可使航商能有效利用現有船隊，依照船舶容量的不同，獲得不同航線的配置，達到最佳的經濟效益。而本研究又以利潤最大化為目標，納入航商考量的運費收入、營運成本、貨物流量的影響，所獲得的結果更可成為航商重要的參考資訊。

由計算窮舉法與啟發式求解結果的誤差率得知，海運軸輻路網之支線指派不可只考慮距離的因素，而喪失其他可獲得利潤的因素。雖然說航商距離影響燃油成本，但只考慮距離因素，並非能節省大部分的成本，而獲得最大利潤。航商必須要考慮整體市場的特性以配合貨物需求量的變化，始可為航商帶來最大利潤；亦為當成本小，收益大時，才可獲得最大利潤。

由求得兩模式得知，航商並非一味的增加軸心港個數，就可獲得最大利潤。由研究顯示出，軸心港個數為七個時，系統總利潤最大，且發現支線指派的利潤  $4.39737 \times 10^7$  大於軸心港的利潤  $1.33219 \times 10^7$ ，由此可知，航線的制定必須配合支線指派的運作，才可使整個軸輻路網的運作發揮其最大的效用。

### 5.2 建議

- 1.由於使用的資料是根據訪談與從 Containerisation International 網站所推估的資料，故如果使用更確切的需求資料，結果可能會更符合於現況。
- 2.由結果顯示港口的總起訖量為決定軸心港的主要因素，未來可加入敏感度分析作深入的探討。
- 3.軸心港個數為九時，軸心港利潤最大，但對整體的利潤而言，軸心港個數為七時，所獲得的總利潤更大。原因是軸心港為七個時，其支線指派的獲利大於其他者，因而獲得最大總獲利。

- 4.支線指派的獲利大於軸心港選擇的獲利，故就整個海運軸輻路網而言，並非軸心港獲利大，其集貨港就獲利大，亦並非軸心港個數多，整體的利潤就會越大。
- 5.所使用的啟發式機制只考慮距離因素，所獲得的支線指派差異甚大，亦不符合現況，故如要以啟發式的方式求解，必須再重新規劃。
- 6.未來加入更多變數予以考慮，以更符合實際海運市場的運作。



## 參考文獻

1. 宋玆俊，「以利潤最大化為目標之貨櫃船隊定線模式」，國立交通大學運輸科技與管理學系研究所碩士論文，2002年6月。
2. 林永山，「我國定期航線運量分析與船隊最適規模研究」，國立台灣海洋大學航運管理學系碩士論文，1997年6月。
3. 徐育彰，「定期貨櫃航線選擇與船隊部署之研究」，國立台灣海洋大學航運技術研究所碩士論文，2000年6月。
4. 海洋大學，「台灣地區貨櫃轉運航線特性及運輸船行分析」，1999年。
5. 張志鴻，「多國併櫃軸心港選擇問題之探討」，國立成功大學交通管理科學系研究所碩士論文，2003年7月。
6. 陳冠州，「貨櫃船隊經濟配置與經營計畫最佳調配之研究」，成功大學交通管理科學研究所碩士論文，1986年6月。
7. 陳春益，張永昌，「航商選擇定期貨櫃航線泊靠港之探討」，國家科學委員會研究彙刊：人文及社會科學，第7卷第3期，頁438-444，1997年。
8. 彭信坤，「貨櫃船隊船型配置及航線選擇方案之研究」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，1982年5月。
9. 許惠淑，「海運軸輻路網折扣係數之研究」，國立交通大學運輸科技與管理學系研究所論文，2002年6月。
10. 游至誠，「允許集貨港與軸心港埠直接相連之海運軸輻路網模式」，國立交通大學運輸工程與管理學系研究所碩士論文，2001年6月。
11. 謝尚行，張斐茹，「軸輻路網模式在定期貨櫃船定線之應用」，運輸計畫季刊，第30卷第4期，頁871-890，2001年12月30日。
12. 謝景昌，「定期貨櫃船靠泊港口決策模式探討」，國立台灣海洋大學航運管理學系碩士論文，2002年6月。
13. 「航港新知訊息」，中華民國航運學會、交通部高雄港務局編印，第38期，2002年10月。
14. 「航港新知訊息」，中華民國航運學會、交通部高雄港務局編印，第41期，2003年1月。
15. 「航港新知訊息」，中華民國航運學會、交通部高雄港務局編印，第42期，2003年2月。
16. 「航港新知訊息」，中華民國航運學會、交通部高雄港務局編印，第43期，2003年3月。
17. 「航港新知訊息」，中華民國航運學會、交通部高雄港務局編印，第45期，2003

年 5 月。

18. Bradley, S. P., Hax, A. C. & Magnanti, T. L., "Planning the Mission and Composition of the U.S. Merchant Marine Fleet", Applied Mathematical programming, Addison-Publishing Company, 1977.
19. Cho, S. C. and Perakis, A. N., "Optimal Liner Fleet Routing Strategies", Maritime Policy and Management, Vol.23, No.3, 249-259, 1996.
20. Foggin, J. H. and Kicer, G. N., Disappearing hinterlands: the impact of the logistics concept on port competition. Journal of the Transportation Research Forum, 26, 385-391, 1985.
21. Goden S., and R. de neufville, "Design of Air Transportation Networks", Transportation Research, Vol. 7, 207-222, 1973.
22. Hayut, Y. 1981, Containerization and the load center concept. Economic Geography, 57, 160-176, 1981.
23. Lane, D.E., Heaver, T. D. and Uyeno. D., Planning and scheduling for efficiency in liner shipping, Networks, 1981.
24. Morton E. O'Kelly., "A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities", European Journal of Operational Research, Vol. 32, 393-404, 1987.
25. M. E. O'Kelly, and D. L. Bryan, "Hub location with flow economies of scale", Transportation research part B, Vol. 32. No.8, 605-616, 1998.
26. Olson, C. A., Sorenson, E. E. and Sullivan, W. J., Medium range scheduling for a freighter fleet. Operations Research, 17, 565-582, 1969.
27. Rana. K. and Vickson. R.G., "Routing containership using Lagrangian relaxation and decomposition", Transportation Science, 25, 201-214, 1991.
28. Slack, B., "Containerization, Inter-port Competition and Port Selection", Maritime Policy and Management, Vol.12, No.4, 1985.

## 附錄

軸心港為七個時，Model 1 的程式檔：

```
ClearAll
Array[L, {12, 12}];
Array[TFL, {12, 12}];
TFL = {{0, 110, 300, 216, 46, 285, 200, 46, 45, 75, 172, 121},
       {70, 0, 82, 50, 16, 40, 37, 15, 16, 20, 22, 27}, {400, 66, 0, 244, 51, 120, 200, 102, 52, 85, 194, 137},
       {243, 29, 283, 0, 22, 140, 126, 43, 22, 37, 84, 59}, {55, 7, 64, 24, 0, 30, 29, 15, 15, 19, 19, 14},
       {250, 36, 310, 135, 28, 0, 161, 29, 28, 47, 107, 76}, {254, 33, 280, 124, 26, 160, 0, 26, 26, 43, 99, 70},
       {56, 10, 66, 25, 10, 30, 29, 0, 10, 12, 20, 14}, {55, 10, 64, 24, 10, 30, 28, 10, 0, 15, 19, 14},
       {90, 10, 105, 39, 10, 52, 47, 19, 15, 0, 31, 22}, {100, 23, 200, 86, 18, 110, 102, 19, 18, 30, 0, 48},
       {120, 15, 149, 56, 12, 75, 67, 12, 12, 20, 44, 0}};
L = TFL;
Cp = Array[cp, 12];
Array[Ccp, 12];
Ccp = {106, 73, 231, 166, 166, 45, 91, 102, 104, 110, 140, 162};
Array[F, 12];
F = {7000, 6500, 6000, 5800, 5800, 5500, 6200, 11000, 11000, 11000, 10000, 10000};
Array[Cb1, 12];
Array[Cb2, 12];
Array[Cb5, 12];
Cb1 = {{0, 54, 59, 65, 72, 88, 101, 108, 116, 117, 315, 326},
       {54, 0, 26, 22, 30, 46, 57, 63, 71, 71, 262, 273},
       {59, 26, 0, 14, 19, 33, 46, 55, 64, 64, 256, 267},
       {65, 22, 14, 0, 9, 24, 39, 45, 54, 54, 245, 256}, {72, 30, 19, 9, 0, 17, 29, 35, 46, 46, 236, 247},
       {88, 46, 33, 24, 17, 0, 20, 32, 42, 42, 233, 244},
       {101, 57, 46, 39, 29, 20, 0, 15, 27, 28, 210, 221},
       {108, 63, 55, 45, 35, 32, 15, 0, 15, 16, 208, 219},
       {116, 71, 64, 54, 46, 42, 27, 15, 0, 1, 194, 205}, {117, 71, 64, 54, 46, 42, 28, 16, 1, 0, 195, 206},
       {315, 262, 256, 245, 236, 233, 210, 208, 194, 195, 0, 11},
       {326, 273, 267, 256, 247, 244, 221, 219, 205, 206, 11, 0}};
Cb5 =  $\frac{Cb1}{24}$ ;
Cb2 =  $\frac{29600}{24} * Cb1$ ;
Array[Cb3, 12];
Array[Cb4, 12];
Cb3 = {7, 15, 10, 12, 15, 20, 14, 8, 8, 8, 15, 10};
Cb4 =  $\frac{Cb3}{24}$ ;
```

```

Ro = Array[R, 1];
Ro1 = Array[R1, 5];
R1[1] = 1;
R1[2] = 2;
R1[3] = 3;
R1[4] = 4;
R1[5] = 5;
n = 5;
Array[P, {12, 12}];
Array[TFP, {12, 12}];
TFP = {{0, 550, 550, 450, 450, 480, 500, 700, 700, 700, 1250, 1300},
      {780, 0, 480, 550, 550, 700, 560, 850, 850, 850, 1200, 1250},
      {300, 350, 0, 350, 350, 350, 350, 650, 650, 650, 1150, 1150},
      {300, 350, 300, 0, 150, 380, 350, 650, 650, 650, 1150, 1150},
      {300, 350, 300, 150, 0, 380, 350, 650, 650, 650, 1150, 1150},
      {350, 770, 300, 500, 500, 0, 860, 350, 350, 350, 1050, 1050},
      {300, 350, 350, 400, 400, 900, 0, 400, 400, 400, 1250, 1250},
      {550, 450, 600, 570, 570, 400, 410, 0, 200, 200, 1050, 1050},
      {550, 450, 600, 570, 570, 400, 410, 200, 0, 200, 1050, 1050},
      {550, 450, 600, 570, 570, 400, 410, 200, 200, 0, 1050, 1050},
      {1150, 1150, 1050, 1050, 1050, 1200, 1150, 1050, 1050, 1050, 0, 250},
      {1250, 1200, 1050, 1050, 1050, 1200, 1150, 1050, 1050, 1050, 250, 0}};
P = TFP*1;
Best5 = Array[be, {5, 1}];
be[1, 1] = -100000000;
be[2, 1] = -100000000;
be[3, 1] = -10000000000;
be[4, 1] = -100000000000;
be[5, 1] = -1000000000000;
Array[su3, 12];
Array[su4, 12];
Array[su7, 12];
Array[su8, 12];
SelP = Array[s, {5, 12}];
Profit = Array[pt, 1];
Capa = Array[t, {2, 12}];
Capa1 = Array[ca1, {2, 12}];
Capa2 = Array[ca2, {2, 12}];
Capa3 = Array[ca3, {2, 12}];
Capa4 = Array[ca4, {2, 12}];
Capa5 = Array[ca5, {2, 12}];

```

```

Subca1 = Array[su5, {2, 12}];
Subca2 = Array[su6, {2, 12}];
Subca3 = Array[su9, {2, 12}];
Subca4 = Array[su10, {2, 12}];
X = Array[x, 12];
Z = Array[z, {12, 12}];
Y = Array[y, {12, 12}];
For[a = 1, a ≤ 6, a++,
  For[b = a + 1, b ≤ 7, b++,
    For[c = b + 1, c ≤ 8, c++,
      For[d = c + 1, d ≤ 9, d++,
        For[e = d + 1, e ≤ 10, e++,
          For[f = e + 1, f ≤ 11, f++,
            For[g = f + 1, g ≤ 12, g++,
              For[i = 1, i ≤ 12, i++,
                x[i] = 0;
              ];
            x[a] = 1;
            x[b] = 1;
            x[c] = 1;
            x[d] = 1;
            x[e] = 1;
            x[f] = 1;
            x[g] = 1;
            j = 0;
            While[j < 12, j = j + 1;
              k = 0;
              While[k < 12, k = k + 1;
                z[j, k] = x[j] * x[k];
              ];
            ];
            j = 0;
            While[j < 12, j = j + 1;
              k = 0;
              While[k < 12, k = k + 1;
                y[j, k] = 0;
              ];
            ];
            y[a, b] = 1; y[b, c] = 1; y[c, d] = 1; y[d, e] = 1; y[e, f] = 1; y[f, g] = 1;
            y[b, a] = 1; y[c, b] = 1; y[d, c] = 1; y[e, d] = 1; y[f, e] = 1; y[g, f] = 1;

```

```

i = 0;
While[i < 12, i = i + 1;
  cp[i] =  $\left( \sum_{p=1}^{12} L[[p, i]] * Z[[p, i]] + \sum_{p=1}^{12} L[[i, p]] * Z[[i, p]] \right) * 1 * Cp[[i]] + 2 * 10 * F[[i]]$ 
];

R[1] = 365 /  $\left( \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{12} Co5[[i, j]] * Y[[i, j]] + Co4[[i]] * x[i] \right) // N$ ;

pt[1] = n * R[1] *  $\left( \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{12} P[[i, j]] * L[[i, j]] * Z[[i, j]] - \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{12} Co2[[i, j]] * Y[[i, j]] - \sum_{i=1}^{12} cp[i] * x[i] \right) -$ 
  n * 16605 * 365;
i = 0;
While[i < 12, i = i + 1;
  t[1, i] =  $\sum_{p=1}^i \sum_{j=i+1}^{12} L[[p, j]] * Z[[p, j]]$ 
];
i = 0;
While[i < 12, i = i + 1;
  t[2, i] =  $\sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^{i-1} L[[p, j]] * Z[[p, j]]$ 
];
su1 = -100000;
su2 = -1000000;
Rsu1 = 0;
Rsu2 = 0;
Rsu3 = 0;
Rsu4 = 0;
If[pt[1] > be[5, 1], be[5, 1] = pt[1]; Rl[5] = R[1];
  i = 0;
  While[i < 12, i = i + 1; s[5, i] = x[i]; ca5[1, i] = t[1, i]; ca5[2, i] = t[2, i];
  ];];
If[be[5, 1] > be[4, 1], su1 = be[4, 1]; be[4, 1] = be[5, 1]; be[5, 1] = su1; Rsu3 = Rl[4];
  Rl[4] = Rl[5]; Rl[5] = Rsu3;
  i = 0;
  While[i < 12, i = i + 1;
    su7[i] = s[4, i]; s[4, i] = s[5, i]; s[5, i] = su7[i];
    su9[1, i] = ca4[1, i]; su9[2, i] = ca4[2, i];
    ca4[1, i] = ca5[1, i]; ca4[2, i] = ca5[2, i];
    ca5[1, i] = su9[1, i]; ca5[2, i] = su9[2, i];
  ];];

```



求解軸心港為七個時的支線指派之程式檔：

```
ClearAll
Array[L, {12, 12}];
Array[TFL, {12, 12}];
TFL= {{0, 110, 300, 216, 46, 285, 200, 46, 45, 75, 172, 121},
      {70, 0, 82, 50, 16, 40, 37, 15, 16, 20, 22, 27}, {400, 66, 0, 244, 51, 120, 200, 102, 52, 85, 194, 137},
      {243, 29, 283, 0, 22, 140, 126, 43, 22, 37, 84, 59}, {55, 7, 64, 24, 0, 30, 29, 15, 15, 19, 19, 14},
      {250, 36, 310, 135, 28, 0, 161, 29, 28, 47, 107, 76}, {254, 33, 280, 124, 26, 160, 0, 26, 26, 43, 99, 70},
      {56, 10, 66, 25, 10, 30, 29, 0, 10, 12, 20, 14}, {55, 10, 64, 24, 10, 30, 28, 10, 0, 15, 19, 14},
      {90, 10, 105, 39, 10, 52, 47, 19, 15, 0, 31, 22}, {100, 23, 200, 86, 18, 110, 102, 19, 18, 30, 0, 48},
      {120, 15, 149, 56, 12, 75, 67, 12, 12, 20, 44, 0}};
L= TFL;
Array[TFP, {12, 12}];
TFP= {{0, 550, 550, 450, 450, 480, 500, 700, 700, 700, 1250, 1300},
      {780, 0, 480, 550, 550, 700, 560, 850, 850, 850, 1200, 1250},
      {300, 350, 0, 350, 350, 350, 350, 650, 650, 650, 1150, 1150},
      {300, 350, 300, 0, 150, 380, 350, 650, 650, 650, 1150, 1150},
      {300, 350, 300, 150, 0, 380, 350, 650, 650, 650, 1150, 1150},
      {350, 770, 300, 500, 500, 0, 860, 350, 350, 350, 1050, 1050},
      {300, 350, 350, 400, 400, 900, 0, 400, 400, 400, 1250, 1250},
      {550, 450, 600, 570, 570, 400, 410, 0, 200, 200, 1050, 1050},
      {550, 450, 600, 570, 570, 400, 410, 200, 0, 200, 1050, 1050},
      {550, 450, 600, 570, 570, 400, 410, 200, 200, 0, 1050, 1050},
      {1150, 1150, 1050, 1050, 1050, 1200, 1150, 1050, 1050, 1050, 0, 250},
      {1250, 1200, 1050, 1050, 1050, 1200, 1150, 1050, 1050, 1050, 250, 0}};
P= TFP;
Array[Sailt, {12, 12}];
Sailt= {{0, 79, 86, 96, 107, 129, 148, 159, 171, 171, 463, 480},
      {79, 0, 38, 32, 43, 67, 83, 92, 104, 105, 384, 401}, {86, 38, 0, 21, 28, 48, 67, 81, 94, 94, 367, 393},
      {96, 32, 21, 0, 14, 36, 48, 66, 79, 80, 360, 377}, {107, 43, 28, 14, 0, 24, 43, 57, 67, 68, 349, 366},
      {129, 67, 48, 36, 24, 0, 29, 46, 61, 62, 342, 359}, {148, 83, 67, 48, 43, 29, 0, 22, 39, 40, 308, 325},
      {159, 92, 81, 66, 57, 46, 22, 0, 21, 22, 305, 322}, {171, 104, 94, 79, 67, 61, 39, 21, 0, 2, 285, 302},
      {171, 105, 94, 80, 68, 62, 40, 22, 2, 0, 286, 303},
      {463, 384, 376, 360, 349, 342, 308, 305, 285, 286, 0, 17},
      {480, 401, 393, 377, 366, 359, 325, 322, 302, 303, 17, 0}};
Array[Porthc, 7];
Array[lch, 7];
Array[Parkht, 7];
Array[h, 7];
```

```

h = {1, 3, 4, 6, 7, 11, 12};
Porthc = {6000, 4700, 4300, 4200, 5300, 9000, 9000};
lch = {106, 231, 166, 45, 91, 140, 162};
Parkht = {7, 10, 12, 20, 14, 15, 15};
s = {2, 5, 8, 9, 10};
Portall = {5800, 4300, 9000, 9000, 10000};
Parkall = {12, 15, 8, 8, 8};
lchall = {73, 166, 102, 104, 110};
Array[s1, 1];
Array[so, 1];
Array[sa, 1];
Array[s2, 1];
Array[sx, 1];
Array[lcs1, 1];
Array[lcso, 1];
Array[lcsa, 1];
Array[lcs2, 1];
Array[lcsx, 1];
Array[Portsc1, 1];
Array[Portsc0, 1];
Array[PortscA, 1];
Array[Portsc2, 1];
Array[Portscx, 1];
Array[Parkst1, 1];
Array[Parksto, 1];
Array[Parksta, 1];
Array[Parkst2, 1];
Array[Parkstx, 1];
co4h = Parkht / 24;
co4s1 = Parkst1 / 24;
co4so = Parksto / 24;
co4sa = Parksta / 24;
co4s2 = Parkst2 / 24;
co4sx = Parkstx / 24;
Array[ccpinh, 5];
Array[cph, 5];
Array[B, 5];
Array[R, 5];

```



```

Portsc2= {Portall[[i]]};
Portscx= {Portall[[r]]};
Portsoo= {Portall[[a]]};
Portsoa= {Portall[[b]]};
Portsc1= {Portall[[w]]};
Parkst2= {Parkall[[i]]};
Parkstx= {Parkall[[r]]};
Parksto= {Parkall[[a]]};
Parksta= {Parkall[[b]]};
Parkst1= {Parkall[[w]]};
lcs2= {lchall[[i]]};
lcsx= {lchall[[r]]};
lcs0= {lchall[[a]]};
lcsa= {lchall[[b]]};
lcs1= {lchall[[w]]};
s2= {s[[i]]};
sx= {s[[r]]};
so= {s[[a]]};
sa= {s[[b]]};
s1= {s[[w]]};

```

$$R[1] = \frac{365}{\left( \sum_{p=1}^1 \coth s1[[p]] + 2 * \coth h[[h1]] \right) + \frac{1}{24} \left( (\text{Sait}[[s1[[1]], h[[h1]]]]) + (\text{Sait}[[h[[h1]], s1[[1]]]]) \right) //$$

N;

$$R[2] = \frac{365}{\left( \sum_{p=1}^1 \coth so[[p]] + 2 * \coth h[[h2]] \right) + \frac{1}{24} \left( (\text{Sait}[[so[[1]], h[[h2]]]]) + (\text{Sait}[[h[[h2]], so[[1]]]]) \right) //$$

N;

$$R[3] = \frac{365}{\left( \sum_{p=1}^1 \coth sa[[p]] + 2 * \coth h[[h3]] \right) + \frac{1}{24} \left( (\text{Sait}[[sa[[1]], h[[h3]]]]) + (\text{Sait}[[h[[h3]], sa[[1]]]]) \right) //$$

N;

$$R[4] = \frac{365}{\left( \sum_{p=1}^1 \coth s2[[p]] + 2 * \coth h[[h4]] \right) + \frac{1}{24} \left( (\text{Saitt}[[s2[[1]], h[[h4]]]]) + (\text{Saitt}[[h[[h4]], s2[[1]]]]) \right) //$$

N;

$$R[5] = \frac{365}{\left( \sum_{p=1}^1 \coth sx[[p]] + 2 * \coth h[[h5]] \right) + \frac{1}{24} \left( (\text{Saitt}[[sx[[1]], h[[h5]]]]) + (\text{Saitt}[[h[[h5]], sx[[1]]]]) \right) //$$

N;

$$Tt1 = \text{Max} \left[ \sum_{p=1}^{12} \sum_{k=1}^1 L[[p, s1[[k]]]], \sum_{p=1}^{12} \sum_{k=1}^1 L[[s1[[k]], p]] \right];$$

$$Tt2 = \text{Max} \left[ \sum_{p=1}^{12} \sum_{k=1}^1 L[[p, so[[k]]]], \sum_{p=1}^{12} \sum_{k=1}^1 L[[so[[k]], p]] \right];$$

$$Tt3 = \text{Max} \left[ \sum_{p=1}^{12} \sum_{k=1}^1 L[[p, sa[[k]]]], \sum_{p=1}^{12} \sum_{k=1}^1 L[[sa[[k]], p]] \right];$$

$$Tt4 = \text{Max} \left[ \sum_{p=1}^{12} \sum_{k=1}^1 L[[p, s2[[k]]]], \sum_{p=1}^{12} \sum_{k=1}^1 L[[s2[[k]], p]] \right];$$

$$Tt5 = \text{Max} \left[ \sum_{p=1}^{12} \sum_{k=1}^1 L[[p, sx[[k]]]], \sum_{p=1}^{12} \sum_{k=1}^1 L[[sx[[k]], p]] \right];$$

$$B[1] = \text{Ceiling} \left[ \frac{Tt1 * 10 * Nu}{R[1] * 1200} \right];$$

$$B[2] = \text{Ceiling} \left[ \frac{Tt2 * 10 * Nu}{R[2] * 1200} \right];$$

$$B[3] = \text{Ceiling} \left[ \frac{Tt3 * 10 * Nu}{R[3] * 1200} \right];$$

$$B[4] = \text{Ceiling} \left[ \frac{Tt4 * 10 * Nu}{R[4] * 1200} \right];$$

$$B[5] = \text{Ceiling} \left[ \frac{Tt5 * 10 * Nu}{R[5] * 1200} \right];$$

$$\text{ccp1} = \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, s1[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, s1[[j]]]] \right) * \sum_{j=1}^1 \text{lcs1}[[j]] * 10 * \text{Nu} +$$

$$10 * \sum_{j=1}^1 \text{Portsc1}[[j]] * R[1] * B[1];$$

$$\text{ccp2} = \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, so[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, so[[j]]]] \right) * \sum_{j=1}^1 \text{lcs0}[[j]] * 10 * \text{Nu} +$$

$$10 * \sum_{j=1}^1 \text{Portsc0}[[j]] * R[2] * B[2];$$

$$\text{ccp3} = \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, sa[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, sa[[j]]]] \right) * \sum_{j=1}^1 \text{lcsa}[[j]] * 10 * \text{Nu} +$$

$$10 * \sum_{j=1}^1 \text{PortscA}[[j]] * R[3] * B[3];$$

$$\text{ccp4} = \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, s2[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, s2[[j]]]] \right) * \sum_{j=1}^1 \text{lcs2}[[j]] * 10 * \text{Nu} +$$

$$10 * \sum_{j=1}^1 \text{Portsc2}[[j]] * R[4] * B[4];$$

$$\text{ccp5} = \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, sx[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, sx[[j]]]] \right) * \sum_{j=1}^1 \text{lcsx}[[j]] * 10 * \text{Nu} +$$

$$10 * \sum_{j=1}^1 \text{Portscx}[[j]] * R[5] * B[5];$$

$$\text{ccp} = (\text{ccp1} + \text{ccp2} + \text{ccp3} + \text{ccp4} + \text{ccp5});$$

$$\text{ccpinh}[1] = \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, s1[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[s1[[j]], p]] - \sum_{p=1}^1 \sum_{j=1}^1 L[[s1[[p]], s1[[j]]]] \right) * 1 *$$

$$\text{lch}[[h1]] * 10 * \text{Nu} + 10 * \text{Porthc}[[h1]] * R[1] * B[1];$$

$$\text{ccpinh}[2] = \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, so[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[so[[j]], p]] - \sum_{p=1}^1 \sum_{j=1}^1 L[[so[[p]], so[[j]]]] \right) * 1 *$$

$$\text{lch}[[h2]] * 10 * \text{Nu} + 10 * \text{Porthc}[[h2]] * R[2] * B[2];$$

$$\text{ccpinh}[3] = \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, sa[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[sa[[j]], p]] - \sum_{p=1}^1 \sum_{j=1}^1 L[[sa[[p]], sa[[j]]]] \right) * 1 *$$

$$\text{lch}[[h3]] * 10 * \text{Nu} + 10 * \text{Porthc}[[h3]] * R[3] * B[3];$$

$$\text{ccpinh}[4] = \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, s2[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[s2[[j]], p]] - \sum_{p=1}^1 \sum_{j=1}^1 L[[s2[[p]], s2[[j]]]] \right) * 1 *$$

$$\text{lch}[[h4]] * 10 * \text{Nu} + 10 * \text{Porthc}[[h4]] * R[4] * B[4];$$

$$\text{ccpinh}[5] = \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, sx[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[sx[[j]], p]] - \sum_{p=1}^1 \sum_{j=1}^1 L[[sx[[p]], sx[[j]]]] \right) * 1 *$$

$$\text{lch}[[h5]] * 10 * \text{Nu} + 10 * \text{Porthc}[[h5]] * R[5] * B[5];$$

$$\begin{aligned} \text{cph}[1] = & \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, s1[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[s1[[j]], p]] - \sum_{p=1}^1 \sum_{j=1}^1 L[[s1[[p]], s1[[j]]]] - \right. \\ & \left. \sum_{j=1}^1 L[[s1[[j]], h[[h1]]]] - \sum_{j=1}^1 L[[h[[h1]], s1[[j]]]] \right) * \text{lch}[[h1]]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{cph}[2] = & \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, so[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[so[[j]], p]] - \sum_{p=1}^1 \sum_{j=1}^1 L[[so[[p]], so[[j]]]] - \right. \\ & \left. \sum_{j=1}^1 L[[so[[j]], h[[h2]]]] - \sum_{j=1}^1 L[[h[[h2]], so[[j]]]] \right) * \text{lch}[[h2]]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{cph}[3] = & \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, sa[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[sa[[j]], p]] - \sum_{p=1}^1 \sum_{j=1}^1 L[[sa[[p]], sa[[j]]]] - \right. \\ & \left. \sum_{j=1}^1 L[[sa[[j]], h[[h3]]]] - \sum_{j=1}^1 L[[h[[h3]], sa[[j]]]] \right) * \text{lch}[[h3]]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{cph}[4] = & \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, s2[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[s2[[j]], p]] - \sum_{p=1}^1 \sum_{j=1}^1 L[[s2[[p]], s2[[j]]]] - \right. \\ & \left. \sum_{j=1}^1 L[[s2[[j]], h[[h4]]]] - \sum_{j=1}^1 L[[h[[h4]], s2[[j]]]] \right) * \text{lch}[[h4]]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{cph}[5] = & \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, sx[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[sx[[j]], p]] - \sum_{p=1}^1 \sum_{j=1}^1 L[[sx[[p]], sx[[j]]]] - \right. \\ & \left. \sum_{j=1}^1 L[[sx[[j]], h[[h5]]]] - \sum_{j=1}^1 L[[h[[h5]], sx[[j]]]] \right) * \text{lch}[[h5]]; \end{aligned}$$

$$\text{Cco1} = \left( \frac{1}{24} ((\text{Sailt}[[s1[[1]], h[[h1]]]]) + (\text{Sailt}[[h[[h1]], s1[[1]]]]) \right) * 4800;$$

$$\text{Cco2} = \left( \frac{1}{24} ((\text{Sailt}[[so[[1]], h[[h2]]]]) + (\text{Sailt}[[h[[h2]], so[[1]]]]) \right) * 4800;$$

$$\text{Cco3} = \left( \frac{1}{24} ((\text{Sailt}[[sa[[1]], h[[h3]]]]) + (\text{Sailt}[[h[[h3]], sa[[1]]]]) \right) * 4800;$$

$$\text{Cco4} = \left( \frac{1}{24} ((\text{Sailt}[[s2[[1]], h[[h4]]]]) + (\text{Sailt}[[h[[h4]], s2[[1]]]]) \right) * 4800;$$

$$\text{Cco5} = \left( \frac{1}{24} ((\text{Sailt}[[sx[[1]], h[[h5]]]]) + (\text{Sailt}[[h[[h5]], sx[[1]]]]) \right) * 4800;$$



```

For[h1 = 1, h1 ≤ 7, h1 = h1 + 1,
For[h2 = 1, h2 ≤ 7, h2 = h2 + 1,
For[h3 = 1, h3 ≤ 7, h3 = h3 + 1,
For[h4 = 1, h4 ≤ 7, h4 = h4 + 1,
For[h5 = 1, h5 ≤ 7, h5 = h5 + 1,
For[i = 1, i ≤ 5, i = i + 1,
For[r = 1, r ≤ 5, r = r + 1,
For[a = 1, a ≤ 5, a = a + 1,
For[b = 1, b ≤ 5, b = b + 1,
For[w = 1, w ≤ 5, w = w + 1,
If[h1 ≠ h2,
If[h1 ≠ h3,
If[h1 ≠ h4,
If[h1 ≠ h5,
If[h2 ≠ h3,
If[h2 ≠ h4,
If[h2 ≠ h5,
If[h3 ≠ h4,
If[h3 ≠ h5,
If[h4 ≠ h5,
If[i ≠ r,
If[i ≠ a,
If[i ≠ b,
If[i ≠ w,
If[r ≠ a,
If[r ≠ b,
If[r ≠ w,
If[a ≠ b,
If[a ≠ w,
If[b ≠ w,

Portsc2 = {Portall[[i]]};
Portscx = {Portall[[r]]};
Portsc0 = {Portall[[a]]};
Portsc1 = {Portall[[b]]};
Portsc1 = {Portall[[w]]};
Parkst2 = {Parkall[[i]]};
Parkstx = {Parkall[[r]]};
Parksto = {Parkall[[a]]};
Parksta = {Parkall[[b]]};
Parkst1 = {Parkall[[w]]};

```

$$ccp = (ccp1 + ccp2 + ccp3 + ccp4 + ccp5);$$

$$ccpinh[1] = \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, s1[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[s1[[j]], p]] - \sum_{p=1}^1 \sum_{j=1}^1 L[[s1[[p]], s1[[j]]]] \right) *$$

$$1 * lch[[h1]] * 10 * Nu + 10 * Porthc[[h1]] * R[1] * B[1];$$

$$ccpinh[2] = \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, so[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[so[[j]], p]] - \sum_{p=1}^1 \sum_{j=1}^1 L[[so[[p]], so[[j]]]] \right) * 1 *$$

$$lch[[h2]] * 10 * Nu + 10 * Porthc[[h2]] * R[2] * B[2];$$

$$ccpinh[3] = \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, sa[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[sa[[j]], p]] - \sum_{p=1}^1 \sum_{j=1}^1 L[[sa[[p]], sa[[j]]]] \right) * 1 *$$

$$lch[[h3]] * 10 * Nu + 10 * Porthc[[h3]] * R[3] * B[3];$$

$$ccpinh[4] = \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, s2[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[s2[[j]], p]] - \sum_{p=1}^1 \sum_{j=1}^1 L[[s2[[p]], s2[[j]]]] \right) * 1 *$$

$$lch[[h4]] * 10 * Nu + 10 * Porthc[[h4]] * R[4] * B[4];$$

$$ccpinh[5] = \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, sx[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[sx[[j]], p]] - \sum_{p=1}^1 \sum_{j=1}^1 L[[sx[[p]], sx[[j]]]] \right) * 1 *$$

$$lch[[h5]] * 10 * Nu + 10 * Porthc[[h5]] * R[5] * B[5];$$

$$cph[1] =$$

$$\left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, s1[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[s1[[j]], p]] - \sum_{p=1}^1 \sum_{j=1}^1 L[[s1[[p]], s1[[j]]]] - \sum_{j=1}^1 L[[s1[[j]], h[[h1]]]] - \sum_{j=1}^1 L[[h[[h1]], s1[[j]]]] \right) * lch[[h1]];$$

$$cph[2] =$$

$$\left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, so[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[so[[j]], p]] - \sum_{p=1}^1 \sum_{j=1}^1 L[[so[[p]], so[[j]]]] - \sum_{j=1}^1 L[[so[[j]], h[[h2]]]] - \sum_{j=1}^1 L[[h[[h2]], so[[j]]]] \right) * lch[[h2]];$$

$$cph[3] =$$

$$\left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, sa[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[sa[[j]], p]] - \sum_{p=1}^1 \sum_{j=1}^1 L[[sa[[p]], sa[[j]]]] - \sum_{j=1}^1 L[[sa[[j]], h[[h3]]]] - \sum_{j=1}^1 L[[h[[h3]], sa[[j]]]] \right) * lch[[h3]];$$

$$cph[4] =$$

$$\left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[p, s2[[j]]]] + \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^1 L[[s2[[j]], p]] - \sum_{p=1}^1 \sum_{j=1}^1 L[[s2[[p]], s2[[j]]]] - \sum_{j=1}^1 L[[s2[[j]], h[[h4]]]] - \sum_{j=1}^1 L[[h[[h4]], s2[[j]]]] \right) * lch[[h4]];$$