

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫編號：NSC 90-2416-H-009-004

執行期限：90年08月01日至91年07月31日

主持人：謝尚行（國立交通大學運輸科技與管理學系）

## 以軸輻路網為基礎之貨櫃船定線模式之研究

(Studies on Hub-and-Spoke Based Models of Routing Containerships)

### 中文摘要

過去二十年來，貨櫃船舶大型化的趨勢，促使海運定期貨櫃船隊發展成軸輻路網的營運型態。航商運用大型貨櫃船航行於軸心港（hub ports）之間，而小型貨櫃船則航行於集貨港（feeder ports）與軸心港之間，形成主線和支線的系統，完成貨櫃運送與區域集貨的工作。

在軸輻路網的定線基礎下，航商考量的營運因素為：貨櫃母船多靠軸心港，則營運成本會增加，但是運費收入（每航次之載櫃率）也能增加，關鍵就在於利潤（運費收入－營運成本）能否增加。過去文獻對成本/利益分析相當豐富，但這些都以傳統航行定線為假設下進行分析，以致模式建立過於簡化，且無法描述海運航線的軸輻路網系統問題。而少數以成本最小為目標的軸心港選擇模式，則無法提供完整資訊。因此，在軸輻路網主線與支線系統運作下，本研究建立一個『以利潤最大化為目標之貨櫃船定線模式(a profit maximization model for routing container-ships)』，納入市場運費、集貨流量、和港埠成本於模式中，對定期貨櫃船隊之規劃與停靠港選擇問題，能提供給航商較完整分析架構。

本研究分為兩階段：首先，決定

軸輻路網系統內主線母船停靠的軸心港(Model 1)問題，其次，決定集貨港至鄰近軸心港的支線指派(Model 2)問題，此模式屬於二次指派的整數規劃問題，求解方法則依據 O'Kelly(1987)所提出的啟發式解法。本研究發現：(1) 船隊一年之總利潤會隨著所停靠之軸心港數，先遞增而後遞減；(2) 兩個鄰近港相競爭，碇泊費用較低之港口，在模式中較容易被評選為軸心港。研究最後以越太平洋航線(遠東～北美西岸)為實例，說明航商如何應用貨櫃船定線模式以規劃船隊航線。

**關鍵詞：**貨櫃船定線、軸輻路網、軸心站位置問題

### Abstract

In recent two decades, liner-trade containerships are built larger and larger so as to lead to the formation of marine hub-and-spoke network. In the networks, large ships run between hub ports, while small ships are used as feeders shuttling among hub ports and feeder ports.

In marine networks, the key factor for one shipping liner to operate successfully depends on the ability of cargo consolidation to produce the profit.

A containership berths at more ports will not only increase operation costs, but also generate revenue. The critical point is if the trade-off between revenue and cost will benefit for the decision of hub location for containerships. However, previous papers were unable to provide the shipping liners to select hub ports based upon the hub-and-spoke network. This paper proposes a profit maximization model for routing containerships.

The model consists of two phases of programming models. Model 1 decides the location of hub ports. Model 2 makes the assignment of each feeder port to its nearest hub on the branch network. The total sum of objective values of two models is the maximum

## 一、緒論

自 1980 年代開始，單位化之貨櫃船運已逐漸取代傳統的雜貨船運送方式，成為海運市場的主流。而近年來，更因貨櫃船大型化的趨勢，定期貨櫃船運逐漸發展出海運航線後勤網路：利用貨櫃子船將貨櫃集中在一地區相鄰港埠群之中，較合適的一兩個港口，此種港口稱為軸心港 (hub ports)。而軸心港與軸心港之間的航線，稱為主幹線 (interhub link)，由大型母船提供主幹線上之運送，而後再以子船進行區域性的貨櫃集散服務。其目的在減少幹線上大型母船所靠泊的港口數量，並將不同地區的集貨航線連接起來，以擴大服務網，同時利用母船大型化之規模經濟性以降低單位運送成本，增加利潤。此種主線／支線的路

profit. The model is in nature an integral quadratic assignment problem. The concept of solution is based upon the heuristic methods proposed by O'Kelly in 1987. We found that (1) The annual profit of a fleet increases at first, and then declines, with respect to the number of hub-port calls; (2) For any two near ports, the port with less port charges will be chosen as a hub before the other one. Finally, this paper shows an application of this model on the Trans-Pacific Route.

**Keywords:** routing containerships, hub-and-spoke network, hub location problem

網營運模式，在航空運輸方面也有類似的發展，從 1978 年美國解除航空管制後，便逐漸形成以空運中心為「軸」，其他航空站為「輻」之航線配置，稱為軸輻網路 (Hub-and-Spoke network)；將低度使用之航線藉由空運中心轉運的方式，使流量集中在主要航線上，達到降低營運成本的效果。

國際貨櫃船航線發展為軸輻路網 (Hub-and-Spoke network) 的經營型態，已有二十多年的歷史。然而，文獻中關於軸輻路網的論述多偏重在空運軸輻路網，論及海運貨櫃船軸輻路網者非常少，而且海運以船舶運送貨物為主之特性與空運多有不同，為求符合海運之特性，謝尚行與張斐茹(民國 89 年)以 O'Kelly (1987)的軸輻路網之單一指派模式為基礎，建立一個以路網總運送成本最小為目標之「海運

軸輻路網模式」(the hub-and-spoke network model in marine transportation)，本質上它是一個二次指派(quadratic assignment)的整數規劃模式，但為求簡單易解，適度被簡化為線性模式。Perakis et al. (1991, 1996, 1997) 與 Rana, K. and Vickson, R.G. (1988, 1991) 等也針對定期船隊航線的佈設，建立類似之數學規劃模式，並探討其解法，但他們的模式中都沒有考慮到貨櫃船航線是以軸輻路網的型態在經營的事實，因此模式較為複雜，而且有可能產生不符合海運特性的解。

航商在規劃航線時考慮的因素為：多靠幾個軸心港，營運成本會增加，但運費收入（每航次之載櫃率）也能增加，關鍵就在利潤（= 運費收入－營運成本）能否增加。然而，謝尚行與張斐茹(民國 89 年)所建立之以路網總運送成本最小為目標之「海運軸輻路網模式」，雖可以在一海運路網中決定出路網總運送成本最小時，軸心港的位置，以及各集貨港與軸心港連接的情形。但對航商而言，在諸多軸心港，母船應泊靠那些軸心港才最為有利，「海運軸輻路網模式」所能提供的資訊仍有所不足。本研究為改善這項缺點，嘗試建立一個以利潤最大

化為目標之『貨櫃船定線模式(a profit maximization model for routing containerships)』，同時考慮載櫃率、運費收入與營運成本之變化，分析母船應泊靠那些軸心港才最為有利，回歸到經濟學的基本原理：廠商是追求利潤最大化的。

因此，本研究將以海運定期貨櫃航商為研究對象，探討航商在一年的規劃期間內，運用海運軸輻路網的方式營運，在主線上母船船隊規模固定時，於利潤最大化之考量下，如何選擇泊靠的軸心港。並以越太平洋航線(遠東--北美西岸)為例，進行實例分析。

## 二、貨櫃船隊定線模式

本研究之模式分為兩部份。第一部份為軸心港泊靠選擇模式(Model 1)—首先以航段內所有港口中分析母船應選擇停靠哪些港口，對航商而言，能產生較大利潤。第二部份為集貨港泊靠選擇模式(Model 2)—將其餘港口（集貨港）指派連接至最近的軸心港，探討獲選母船停靠的軸心港，其支線上航行的子船，應以如何的方式完成集貨的工作，並提高軸心港間航行的大型船舶之載櫃率，使主航線達到規模經濟。

### 2.1 軸心港泊靠選擇模式 (Model 1)

本模式有以下基本假設：...

模式使用之各種變數與參數定義，分別說明如下：

目標值：

Z：母船航行主線上之總利潤

決策變數：

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

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{表示路網主線停靠的港口 } i, j \text{ 直接連接，亦即航段 } i, j \text{ 存在} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

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

參數：...

目標式：

在目標式中，以營運規劃期間（一年）的總利潤  $Z$ （收益 — 成本）最大化為目標。收益為運費收入，成本項目則包括行駛各航段之海上航行成本，以及靠港成本。表示如下：

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

限制式：

船舶容量限制：

船舶承載的貨櫃量，不得超過該船的容量，即在決定停靠港口時，必須符合容量限制。

$$\text{去程： } a_i = \sum_{p=1}^i \sum_{j=i+1}^n l_{pj} z_{pj} \times x_i < L, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

$$\text{回程： } a_i = \sum_{p=i}^n \sum_{j=1}^{i-1} l_{pj} z_{pj} \times x_i < L, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

在本模式中，以船舶停靠  $i$  港時（ $x_i = 1$ ），貨櫃裝卸動作完成後的母船的櫃量（ $a_i$ ），必須小於母船的容量（ $L$ ），亦即離開該港時，母船承載的櫃量不超過船舶的容量。如上述方程式所示。

收益項目：

收益項目為平均各港間的運價乘以各港間的運量。於本研究中，航商為市場價格的接受者，各港間運價為一固定值，因此，母船航行主線之收益多寡，與各港間一航次可提供之貨櫃量有直接關係。收益項目表示如下：

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ij} l_{ij} z_{ij}$$

成本項目：

成本項目包括靠港成本、行駛各航段之航行成本以及固定成本。

A、靠港成本：

靠港成本應可大略分為港埠碇泊費及裝卸貨櫃成本兩大項。港埠碇泊費的多

少與停泊的港口有關，裝卸貨櫃成本則與港口以及需裝卸的貨櫃量有關，所以船舶航行單一航次的靠港成本如下列之關係式：

$$Cp_i = 2f_i + c_i \left( \sum_{p=1}^n l_{pi} z_{pi} + \sum_{p=1}^n l_{ip} z_{ip} \right), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

其中， $Cp_i$  為船舶停靠港口  $i$  所需花費的成本； $f_i$  為停靠  $i$  港口之碇泊成本；

$c_i$  為港口  $i$  之每櫃裝卸成本； $\sum_{p=1}^n l_{pi} z_{pi}$  為在港口  $i$  所要卸下的貨櫃量；

$\sum_{p=1}^n l_{ip} z_{ip}$  為在港口  $i$  所要裝上船的貨櫃量。

B、母船於航段上之航行成本：

航行成本與航行之港口間的距離、船速、每日海上成本有關，其關係式可表示如下：

$$Co_{ij} = \frac{D_{ij}}{V \times 24} \times C_s, \quad \text{for } i, j = 1, 2, \dots, n$$

其中， $D_{ij}$  為港口  $i$  到港口  $j$  之距離； $V$  為船舶航速； $C_s$  為每日海上航行成本。

C、固定成本：

固定成本項目包括資本成本與營運成本之和，在本模式當中，以每船每日固定成本  $C_c$  來推估年固定成本，亦即，母船營運一年所需的固定成本項目為：

$$k \times 365 \times C_c, \quad \text{其中 } C_c \text{ 為每船每日固定成本，} k \text{ 為船隊規模。}$$

## 2.2 集貨港泊靠選擇模式 (Model 2)

本研究之第二個階段模式為，建立一個集貨港泊靠選擇模式，於第一階段母船選擇停靠的軸心港決定之後，探討獲選母船停靠的軸心港，其支線上航行的子船，應以如何的方式，在利潤最大化的目的下，完成集貨的工作，並且提高軸心港間航行的大型船舶之載櫃率。

於支線子船航行形態之選擇上，本研究根據游至誠（民國 90 年）的研究中，對於三種基本的支線形態（迴圈航線、依序往返、直達航線）特性之探討，選擇迴圈航線作為本研究支線上子船的基本航行方式。因迴圈航線具備有能在各航段保持高承載量的特性，而具有較高的承載率。對於集貨子船而言，較高的承載率通常也意味著能有較高的利潤，因此，本研究為達到利潤最大化的目標，故於支線上子船的航行方式，採用迴圈航線為基本航線。

本模式之相關假設有以下幾點：...

在說明模式參數與變數定義之前，先以圖示說明本研究對於軸輻路網之軸心港與集貨港，其港口編號序列定義。

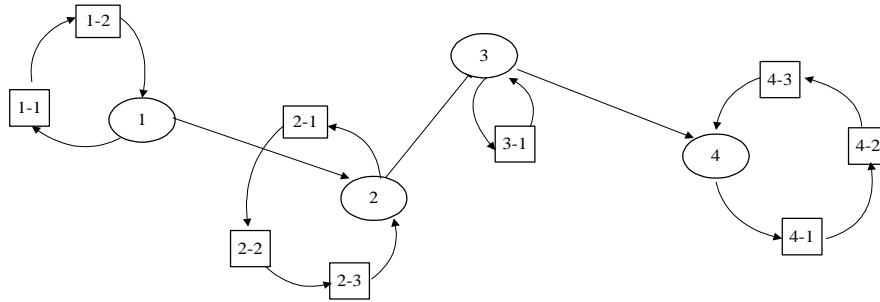


圖 2.1 軸輻路網之軸心港、集貨港，港口編號示意圖

如圖 2.1 所示，橢圓形代表軸心港、方形代表集貨港，支線上子船航行集貨港間為迴圈航線型態，本研究以編號  $i=1,2,\dots,n$  代表軸心港編號；而以複數指標如  $iw=11,21,22,32,\dots,nm$  代表集貨港編號，其中前一位指標數字代表此集貨港為指派給編號第幾號的個軸心港，後一位指標數字代表此集貨港為這一個支線迴圈中編號第幾的集貨港。

目標值：

$Z$ ：加入支線集貨港考量時，所產生的總利潤

決策變數：

$$x_{iw} = \begin{cases} 1 & \text{表示子船停靠集貨港 } iw \\ 0 & \text{表示子船不停靠 } iw \end{cases}$$

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

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

參數：...

目標式：

在目標式中，以加入支線集貨港考量時，所產生的總利潤  $Z$  最大化為目標。而加入支線集貨港考量時，增加的收益包括有：集貨港欲運送到軸心港的貨櫃運費收入、軸心港欲運送到集貨港的貨櫃運費收入、以及從集貨港運送到另一個支線上的集貨港的貨櫃收入等三部分，而成本項目則包括子船航行支線航段之航行成本、子船停靠集貨港所需花費的成本、以及因考量支線集貨港櫃量，而增加的

軸心港裝卸櫃成本。所以本模式目標式為利潤最大化（收益-成本），表示如下：

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

限制式：

本模式之限制式為船舶容量限制，而船舶的容量限制於本模式中包括主線上母船的容量限制，以及支線上子船的容量限制，分述如下：

A、主線上母船的容量限制：

因為增加了集貨港的運量，使的主航線母船的載櫃率增加，除了原有的軸心港間櫃量外，增加的運送櫃量為該軸心港與之前順序軸心港欲運送到其他集貨港的櫃量、該軸心港之集貨港欲運送到其他支線上的集貨港之櫃量、以及之前順序的集貨港所欲運送到之後順序的其他支線集貨港之櫃量。而此四部分承載櫃量加起來不得超過母船的容量，於是有一個新的主線上母船於軸心港*i*的容量限制：

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

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

母船航行至 *i* 港時（ $x_i = 1$ ），貨櫃裝卸動作完成後的母船的櫃量（ $a_i$ ），必須小於母船的容量（ $L$ ），亦即離開該港時，母船承載的櫃量不超過船舶的容量。如上述方程式所示。

### 2.3 模式求解

本研究為探討航商在以海運軸輻路網為經營型態的條件下，母船應選擇停靠哪些港口，而建立一個以利潤最大化為目標之『貨櫃船定線模式』。對於模式的求解部份，求解程序可分為以下幾個步驟：

#### 步驟一 求解軸心港泊靠選擇模式：

以 O'Kelly (1987) 提出的 HEUR 1 的解法概念的概念為基礎，先設定軸心港設置個數範圍，窮舉所有軸心港的組合，求解軸心港泊靠選擇模式。每一個設置個數皆選取利潤最佳的前五組軸心港泊靠選擇解，每組解皆包含目標值、軸心港位置、航行頻次、承載量等資訊。

#### 步驟二 應用單一指派方式分派集貨港：

在軸心港泊靠模式中，落選的港口即設定為海運軸輻路網中的集貨港，並以單一指派的方式指派給航行距離最近的軸心港。前述每一組軸心港泊靠選擇解，皆會有一個集貨港指派解。

#### 步驟三 求解支線上最小迴圈航程

本研究在支線子船航行形態之選擇上，選擇迴圈航線作為航行方式。而在迴圈航行順序上，本研究以窮舉的方式，尋找航行距離最小的迴圈航程，作為支線上子船的迴圈航程。

#### 步驟四 求解集貨港泊靠選擇模式

對上述每種軸心港設置個數的五組軸心港選取解，加入子船集貨機制來求解集貨港泊靠選擇模式，得到的目標值為加入集貨子船運作後，所能增加的利潤值。

#### 步驟五 求得貨櫃船定線模式之總目標值

將軸心港泊靠選擇模式與集貨港泊靠選擇模式所得到的目標值加總，即為在海運軸輻路網下之貨櫃船定線模式的利潤最大之目標值。得到利潤最大時之海運軸輻路網選擇型態，包含軸心港位置、集貨港分派情形、目標值、軸心港設置個數等資訊。

### 三、實例求解

#### 3.1 實例背景

本研究在實例應用方面，以越太平洋航線（遠東-太平洋-美國西岸）12 個重要港口為例（如圖 5-1），進行在海運軸輻路網型態下之貨櫃船舶定線模式分析。在港口間的 O-D 運價矩陣資料、O-D 運量矩陣資料系參考國內某海運公司提供之 2000 年運價與運量資料加以推估求得。

成本項目估算方面，於海運實務上可將成本分為固定成本及變動成本兩大項，固定成本上可分為折舊費、利息、維修費、船員費、保險費、物料費、停泊燃料費、業管費等。由於海運實務中，營運成本不易獲得，因此參考謝尚行、許惠淑（2002）之「海運軸輻路網折扣係數之研究」中，以租傭船市場上論時傭船（time charter）的租傭船租金來代替固定成本。根據其研究中資料顯示，5000TEU 貨櫃船之每日固定成本約為 16605 美元，1000TEU 貨櫃船之每日固定成本約為



6930 美元。

變動成本方面，主要可分為航行燃料費、港口費及貨物費。航行燃油費用於本模式中則為海上航行費用，母船耗油以每天 185 噸、子船耗油以每天 30 噸估算，油價則以每噸 160 美元估算。港口費於本模式中則以港埠碇泊費用為主要估計項目，貨物費的估算則以貨櫃裝卸費用為主。

港埠碇泊費用（美元）、貨櫃裝卸費率（美元/TEU）、船舶平均靠港時間（小時）之估算則為國內某海運公司所提供，並且參考各港口網站實際公布之資料而推估所得。然而，船舶在停靠港口時所需的費用項目，並非只有港埠碇泊費用與裝卸櫃費用，其他例如領港費、拖船費、繫解纜費、入港費、噸稅...等等。本研究在參考相關的港埠費率的研究報告[4][5]，以及參考少數如基隆港有較完整的費率公開資料比較各項費用所佔之比重後，以港埠碇泊費之十倍來估算包含其他所有項目的總港埠費用。再者，以港埠碇泊費來推估其他靠港時所會產生的費用，也能反映不同船型在靠港時產生費用的差異。當然，如此估算難免會有誤差存在，但在實際資料取得有困難的情形下，這樣的估算方式應該會較符合實際狀況。

而母船航行於軸心港間航段上之海上航行時間（小時）、集貨子船航行於航段上之海上航行時間（小時），為港口間實際距離資料，除以母船平均船速以 25 節估算、子船平均船速以 17 節估算。資料表格列舉如下：

表 3-1 實例港口編號對照表

|     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |     |    |
|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|
| 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 |
| 1   | 2   | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11  | 12 |

### 3.2 實例求解結果與分析

本研究使用數學軟體 Mathematica 4.0 並運用 O'Kelly (1987) HEUR 1 的觀念撰寫程式求解，模式求解分為兩部份，透過 Model 1 的求解，可以得到當軸心港設置個數為 4、5、6、7、8 個的時候，每個設置個數目標值最佳前五組解，並包括軸心港位置、目標值、母船航行頻次等資訊。如下表所示，以軸心港設置個數為四個為例，前三組解之解 1 的軸心港選擇為香港、高雄、洛杉磯、長堤，解 2 的軸心港選擇為香港、高雄、釜山、洛杉磯，解 3 為香港、高雄、基隆、洛杉磯，解 4 為香港、高雄、上海、洛杉磯，解 5 為香港、高雄、東京、洛杉磯，詳細資料如以下表格所示：

表 3-6 軸心港設置個數為 4 時，Model 1 求解結果

| 解 | Model 1 目標值<br>(百萬美元) | 母船航行頻次<br>(每艘每年) | 軸心港位置                      |
|---|-----------------------|------------------|----------------------------|
| 1 | 92.081                | 15.9             | 香港(3)、高雄(4)、洛杉磯(11)、長堤(12) |
| 2 | 91.429                | 16.7             | 香港(3)、高雄(4)、釜山(7)、洛杉磯(11)  |
| 3 | 74.1577               | 16.9             | 香港(3)、高雄(4)、基隆(5)、洛杉磯(11)  |
| 4 | 71.4474               | 16.2             | 香港(3)、高雄(4)、上海(6)、洛杉磯(11)  |

|   |         |      |                            |
|---|---------|------|----------------------------|
| 5 | 69.6156 | 16.7 | 香港(3)、高雄(4)、東京(10)、洛杉磯(11) |
|---|---------|------|----------------------------|

計算時間：7分31秒

在 Model 1 求解過後，得到母船選擇停靠軸心港的編號位置，以及母船於主線上的航行頻次之後，接著在經過單一指派，將集貨港指派給最近的軸心港、以及各支線尋找最小航行成本迴圈後，Model 2 利用這些結果，求解支線上子船於配合主線母船轉運櫃量的條件下，計算子船船隊數目，以求得增加集貨機制之後，所產生的利潤。最後將 Model 1 與 Model 2 的利潤相加總，即為總目標值。如以下表格所述：

表 3-11 12 個港口選 4 個軸心港停靠之前五組解

|   | Model 1 目標值<br>(百萬美元) | Model 2 目標值<br>(百萬美元) | 停靠港編號       | 集貨港指派情形   | 子船艘數 |
|---|-----------------------|-----------------------|-------------|---|------|
| 1 | 92.081                | 32.8857               | 3, 4, 11,12 | {1, 3}, {2, 4}, {5, 4}, {6, 4}, {7, 4}, {8, 4}, {9, 4}, {10, 4}     | 12   |
| 2 | 91.429                | 36.2885               | 3, 4, 7,11  | {1, 3}, {2, 4}, {5, 4}, {6, 7}, {8, 7}, {9, 7}, {10, 7}, {12, 11}   | 6    |
| 3 | 74.1577               | 26.0861               | 3, 4, 5, 11 | {1, 3}, {2, 4}, {6, 5}, {7, 5}, {8, 5}, {9, 5}, {10, 5}, {12, 11}   | 9    |
| 4 | 71.4474               | 67.374                | 3, 4, 6, 11 | {1, 3}, {2, 4}, {5, 4}, {7, 6}, {8, 6}, {9, 6}, {10, 6}, {12, 11}   | 7    |
| 5 | 69.6156               | 6.9617                | 3, 4, 10,11 | {1, 3}, {2, 4}, {5, 4}, {6, 4}, {7, 10}, {8, 10}, {9, 10}, {12, 11} | 8    |

將模式求解出的最後總利潤，不分停靠港口個數，選取利潤前十名列表顯示其軸心港位置如下：

表 3-16 總利潤前十大軸心港口選取情形

| 排名 | 目標值<br>(百萬美元) | 軸心港個數 | 軸心港選取情形           | 子船艘數 |
|----|---------------|-------|-------------------|------|
| 1  | 158.2789      | 5     | 3,4,6,11,12       | 6    |
| 2  | 150.4032      | 6     | 3,4,6,7,11,12     | 4    |
| 3  | 149.8352      | 7     | 3,4,5,6,7,11,12   | 4    |
| 4  | 144.7507      | 5     | 3,4,7,11,12       | 5    |
| 5  | 142.2032      | 8     | 2,3,4,5,6,7,11,12 | 3    |
| 6  | 138.8214      | 4     | 3,4,6,11          | 7    |
| 7  | 135.9133      | 6     | 3,4,5,7,11,12     | 5    |
| 8  | 135.2939      | 7     | 3,4,6,7,8,11,12   | 3    |
| 9  | 134.3112      | 5     | 3,4,6,7,11        | 6    |
| 10 | 131.1481      | 8     | 3,4,5,6,7,8,11,12 | 3    |

由上表(3-16)可以看出，加入集貨機制之後，模式的總目標值，不會隨著停靠軸心港的個數增加而增加，可見納入支線集貨之後，對選取軸心港的影響。

依據上述前十大軸心港選取形式，下表統計起迄總量排名與獲選軸心港次數的關係。貨櫃總起迄量排名前五名的港口，在總利潤前十大之中獲選的次數高達八次以上，由此可以看出：港口的起迄總量，是決定其是否被選為軸心港的一大因素；具備足夠的起迄總量，可說是港口成為軸心港的必要條件。此一結果，符合游至誠（民國 90 年）”允許集貨港與軸心港不直接相連之海運軸輻路網模式”的研究中所指出：港口的起迄總量愈大，則愈有可能成為軸心港推論。

而除了起迄總量之外，港口的港埠費用與裝卸櫃費也是能否獲選成為軸心港的影響因素，例如上海港雖然在本實例中貨櫃起迄總量不多，但因為上海港在港埠費用與裝卸櫃費不高的情形下，也有相當的獲選為軸心港的機會。

### 3.3 敏感度分析

本節將對幾項因子，如港口間的 O-D 運價、O-D 運量等項目，以前一章的實例應用為對象，進行敏感度分析。調整各項數值，觀察變動後對於軸心港的選取、總目標值的影響。

#### 3.3.1 運量變動之敏感度分析

#### 3.3.2 運價變動之敏感度分析

## 四、結論建議

### 4.1 結論

本研究所提出分析架構，是以海運軸輻路網的基礎下，建立一個『貨櫃船定線模式(a model for routing containerhips)』，納入市場運費、貨櫃流量與營運成本考慮下，描述貨櫃船隊如何定線以求利潤最大化。

不同於傳統航線規劃，海運軸輻路網的經營型態是以主線、支線的型態來運作，配合不同船型，利用較小型船舶航行於支線上，進行貨櫃集貨的工作，以提高於軸心港間航行的大型船舶之載櫃率，進而降低單位貨櫃運輸成本，而達到規模經濟的效果，為航商帶來利潤。

於模式求解過程方面，本研究分為兩個主要的部份，先以軸心港本身的起迄櫃量為基本考量，以利潤最大化為目的，來探討母船應選擇停靠哪些港口 (Model 1)，並計算出各個軸心港停泊選擇個數之下，利潤最佳前五名。接著，於模式求解的第二部份，在獲選母船停靠的軸心港組合上，加子船集貨的模式機制，探討子船支線上的航行方式；集貨機制發揮之後，所能增加的總利潤，以及對於母船停靠軸心港的選擇上，產生的影響 (Model 2)。如此作法，應比較有助於對問題的求解分析，也能個別觀察分析主線、支線對於總目標值的影響。

依據實例求解結果，本研究提出幾點結論：

- 1、利潤前十大排名的港口獲選為軸心港的次數，與港口起迄總量比較，可以發現，港口的起迄總量，是決定其是否被選為軸心港的重要因素，此點與謝尚行、張斐茹(2001)的海運軸輻路網模式之研究結果相符合；具備足夠的起迄總量，可說是港口成為軸心港的必要條件。
- 2、除了港口的起迄總量之外，港口的碇泊費用與裝卸櫃費用，也是另一個重要的因素。獲選為軸心港的港口，母船與子船都會在此停靠裝卸貨，因此，在得到最大利潤的考量下，港口的碇泊費與裝卸櫃費，就成為港口是否獲選的影響因素之一。
- 3、船隊一年之總利潤會隨著所停靠之軸心港數，先遞增而後遞減。由實例分析的利潤前十大排名(表 3-16)可以發現，利潤最大是發生在軸心港停靠個數為 5 個時，由此可知，要有最大的利潤，並非一味的增加母船的靠港數目就可達到。
- 4、而在敏感度分析方面，可以發現，相較於運量對於目標值的影響，運價的變動對航商而言，影響程度要大的多。

#### 4.2 建議

本研究於實例資料收集上，採用一些假設估計方式，對於模式的求解結果可能會產生些許誤差，日後研究如能克服實證資料收集的困境，必能有助於模式求解結果，而應更能符合實際海運營運現況。

在集貨港的分派上，本研究應用單一指派的方式，將集貨港分派給最接近的軸心港連接，但在一些情況之

下，例如兩軸心港距離相差不遠時，有可能發生指派給最接近的軸心港並非最佳的選擇，後續研究者可針對此部份加以深入探討研究。

在支線的航行方式上，本研究選擇迴圈航線作為本研究支線上子船的基本航行方式，因迴圈航線具備有能在各航段保持高承載量的特性。但某些狀況下，迴圈航線並不一定代表著是支線營運利潤最大的航行方式，後續研究者，可針對支線集貨機制加以探討研究。

### 五、參考文獻

1. 謝尚行、張斐茹，“軸輻路網在定期貨櫃船定線之應用”，運輸計畫季刊，Vol.30, No.4, pp.871-890, 2001.
2. 謝尚行、王賢崙，“貨櫃船最適船型的理論與實務探討”，中華民國運輸學會第 15 屆論文研討會，pp.755-764，2000.
3. 謝尚行、游至誠、王賢崙，“允許集貨港與軸心港不直接相連之海運軸輻路網模式”，中華民國運輸學會第 16 屆論文研討會，pp.891-899，2001.
4. 謝尚行、許惠淑，“海運軸輻路網折扣係數之研究”，working paper，國立交通大學運輸科技與管理學系所，2002.
5. 盧華安、徐育彰，“定期貨櫃航線選擇與船隊部署之研究”，運輸計畫季刊，Vol.30, No.3, pp.577-601, 2001.
6. 台灣省交通處，“各國際（內）商港港埠費率成本結構委託調查分

- 析研究"，1998。
7. 上海港務局網站資料  
(<http://www.54port.org>, 2001)
  8. Wayne K. Talley, "Optimal containership size," *MARIT. POL. MGMT.*, 1990, VOL. 17, NO. 3, 165-175.
  9. Deborah Bryan, "Extensions to the Hub Location Problem: Formulation and Numerical Examples," *Geographical Analysis*, Vol.30, No.4, pp.315-330, 1998.
  10. Jaramillo, D. I. and Perakis, A.N., "Fleet deployment optimization for liner shipping. Part 2: Implementation and results," *Maritime Policy and management*, 18, 235-262, 1991.
  11. Perakis, A.N. and Jaramillo, D. I., "Fleet deployment optimization for liner shipping. Part 1: Background, problem formulation and solution approaches," *Maritime Policy and management*, 18, 183-200, 1991.
  12. Rana, K. and Vickson, R.G., "A model and solution algorithm for optimal routing of a time-chartered containership," *Transportation Science*, 22, 83-95, 1988.
  13. Rana, K. and Vickson, R.G., "Routing containerships using Lagrangian relaxation and decomposition," *Transportation Science*, 25, 201-214, 1991.
  14. Seong-Cheol Cho and A.N. Perakis, "Optimal Liner Fleet Routing Strategies," *Maritime Policy and Management*, Vol. 23, No. 3, pp.249-259, 1996.
  15. O'Kelly, M.E., "The Location of Interacting Hub Facilities," *Transportation Science*, Vol. 20, No. 2, pp. 92-105, 1986.
  16. O'Kelly, M. E., "A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities," *European Journal of Operational Research* 32, pp.393-404, 1987.
  17. O'Kelly, M. E., "Hub Facility Location with Fixed Costs," *Papers in Regional Science*, Vol. 71, No. 3, pp. 293-306, 1992.
  18. O'Kelly, M E., and D. L. Bryan, D. Skorin-Kapov and J. Skorin-Kapov, 1996, "Hub Network Design with Single and Multiple Allocation: A Computational Study," *Location Science*, Vol.4, No.3, pp.125-138.
  19. O'Kelly, M. E. and D. L. Bryan, "Hub Location With Flow Economics of Scale," *Transportation Research B*, Vol.32, No.8, pp.605-616, 1997.
  20. O'Kelly, M. E, "Hub-and-spoke network in air transportation: an analytical review," *Journal of regional Science*, VOL 39, NO.2, pp. 275-295, 1999.