

以網路策略模型探討國際貨櫃航運 發展趨勢

A STRATEGIC NETWORK MODEL FOR GLOBAL CONTAINER SHIPPING TREND

許書耕 Shu-Keng Hsu¹
賴威伸 Wei-Shen Lai²
許修豪 Hsiu-Hao Hsu³
陳春益 Chuen-Yih Chen⁴
戴輝煌 Hui-Huang Tai⁵
李宇欣 Yusin Lee⁶
李威勳 Wei-Hsun Lee⁷
林東盈 Dung-Ying Lin⁸
黃冠玲 Kuan-Ling Huang⁹

(106 年 1 月 18 日收稿，106 年 4 月 27 日第 1 次修改，106 年 9 月 20 日定稿)

-
1. 交通部運輸研究所組長 (聯絡地址：10548 臺北市敦化北路 240 號 交通部運輸研究所；電話：02-23496820；E-mail：keng@iot.gov.tw)。
 2. 交通部運輸研究所副組長。
 3. 交通部運輸研究所研究員。
 4. 長榮大學航運管理學系教授。
 5. 高雄海洋科技大學航運管理系教授。
 6. 成大土木工程科學系教授。
 7. 成功大學交通管理科學系副教授。
 8. 成功大學交通管理科學系教授。
 9. 成功大學交通管理科學系研究所碩士生。

摘 要

海運產業之運作乃一多樣而高度複雜的系統，易受外在環境影響而不斷變化，本研究主要目的係透過國際航運網路模型的構建，評估在不同的外在情境變化下海運航線的未來趨勢，以協助相關機關了解潛在風險或契機，降低決策環境的不確定性。同時，根據目前實際貨櫃需求量與港口裝卸資料，校估本研究發展之貨物指派模式，以取得符合實務營運之模式參數，藉此提升模型預測的準確性。並進一步運用於情境分析，評估未來外部環境變化對海運產業之影響，作為相關機關之參考，協助其適時研擬相關政策與發展策略，以維持國家港群於世界海運網路之定位，並提升於亞太地區轉運之競爭力。

關鍵詞： 海運網路；定期航運；貨櫃運輸；Frank-Wolfe 演算法

ABSTRACT

Maritime industry is a highly complex system, and sensitive to today's rapidly changing environment. The paper aims to develop a strategic model to accommodate the changes in the liner shipping markets and evaluate the trend of shipping, and thus can help relevant stakeholders to capture the risk or opportunities and then reduce the uncertainty for decision making. The model is calibrated using realistic data and then employed to evaluate the possible variation under various scenarios in future marine market and the impact on global ports, so that the relevant authorities can formulate proper policies to maintain the competitiveness of their own ports in Asia-Pacific region.

Key Words: *Marine network; Linear shipping; Container transportation; Frank-Wolfe algorithm*

一、緒 論

1.1 研究背景

海運為臺灣之經濟命脈，由於四面環海且為亞洲區域交通往來之要衝，在優越地理位置的條件下發展出可觀的海運相關產業。根據交通部民國 103 年「進出口貨品運保費統計報告」提要分析，臺灣地區進出口貨品運量主要集中於海運，占 99.06%（詳見表 1），由此可見海運運輸對我國之重要性。

表 1 進出口貨品運量按運輸方式區分

海空運別及運輸工具國籍別			民國 103 年	
類別	總萬噸數及比例	國籍別	實數 (萬公噸)	百分比
總計	33,455 (100.00%)	總計	33,445	100.0
		國籍	2,887	8.6
		外籍	30,557	91.4
空運	315 (0.94%)	合計	315	100.0
		國籍	33	10.5
		外籍	282	89.5
海運	33,129 (99.06%)	合計	33,129	100.0
		國籍	2,854	8.6
		外籍	30,275	91.4

資料來源：修訂自交通部民國 103 年「進出口貨品運保費統計報告」。

唯近年來臺灣進出口櫃量成長遲緩，加上大陸與東南亞沿海港口快速建設與發展，在鄰近各國港口的快速建設與發展下，臺灣面臨嚴峻的挑戰；近幾年來，進出口櫃量成長遲緩，且於亞洲地區之占比呈現下滑趨勢，高雄港全球貨櫃港排名也逐年下跌（詳見表 2）。

表 2 各年度高雄港全球貨櫃港排名與裝卸量

	排名	裝卸量(TEU)	成長率(%)
2002	5	8,493,052	12.63
2003	6	8,843,365	4.12
2004	6	9,714,115	9.85
2005	6	9,471,056	-2.5
2006	6	9,774,671	3.21
2007	8	10,256,830	4.93
2008	8	9,676,554	-5.66
2009	8	8,581,273	-11.32
2010	12	9,181,211	6.99
2011	13	9,636,289	4.96
2012	13	9,781,221	1.5
2013	13	9,937,719	1.6
2014	13	10,593,335	6.6
2015	13	10,264,420	-3.1

資料來源：交通部統計查詢網。

近年來，受船舶大型化及運能過剩影響，定期貨櫃航線已逐漸發展出以大型港口為轉運中心的主線，並結合支線的軸輻式網路 (hub-and-spoke) 型態。其次，外部環境變化亦連帶影響航線配置行為，例如航商聯盟組織主導聯盟內航商的港口靠泊選擇，而航線規劃時多綜合考量停靠港貨櫃流量、港埠分布狀況、港口設備條件、港埠費率與效率等因素。由此可見現今海運市場高度複雜而多變，若無法及時跟上趨勢，掌握發展契機，將可能喪失國際海運之競爭力。

1.2 研究目的

本研究主要目的係透過發展國際航運網路模型，衡量不同的外在情境改變下對海運系統造成的變化，並預估海運航線的未來趨勢及對我港埠可能的影響，以協助交通部暨部屬機關了解潛在風險或契機，降低決策環境的不確定性，了解未來臺灣港群於世界海運網路可能之定位，進而制定港埠營運及發展策略加以因應，以避免誤判情勢造成錯誤決策，亦以維持並增進我國港群於亞太區域轉運之競爭力。

1.3 研究範圍

本研究用以描述亞太區域相關主要海運貨櫃流向，以 G6 聯盟聯營之航線為選取港口之依據，並以 31 個重要港口為標的。所進行的貨物指派，乃在已給定所有現存與潛在航線網路下，分析貨物流向以及各港櫃量，了解內外環境改變對港口競爭力的影響。航商之角色主要於資料輸入時考量，並作為模型求解後分析之對象，亦即建構航線網路時，本模型納入海運資料庫現存航線，並考量所有潛在可能之航線，包括航商現行或未來可能之航線佈署，以作為模型輸入之資料。由於本研究為一長期策略性規劃 (strategic planning) 之研究，因而以巨觀分析為主，著重於預估「海運整體之趨勢」，以作為長期策略性規劃之參考，並聚焦於高雄港，研究外在環境變動對高雄港的影響性。

1.4 研究方法與成果

本研究旨在建立一貨櫃定期航線網路模型，用以評估及預測外在環境改變時，對我國港群於亞太區域轉運競爭力之影響，作為港口發展策略性規劃之工具。為使理論模型之建立貼近實務作法，本研究回顧國內外對航運網路發展、航線規劃設計及港口選擇等學術研究，並大量蒐集全球主要貨櫃起迄點需求量，藉由主要國際貿易資料庫，分析定期航線起迄點貨櫃量，作為後續網路模型驗證之輸入資料，並利用運研所「國際海運資料庫」航線資料，建構符合現行航線佈署特性的定期航運網路模型。再者，針對定期海運網路模型發展求解演算法，在考慮一般化成本的條件下，將所蒐集的貨物流量指派至定期海運網路之中，並利用實際資料校估模型參數，藉此了解網路之貨櫃流量，並作為政策、情境分析之工具，以供後續相關單位研提政策之參考。

二、文獻回顧

2.1 航運業研究歷程

學者每一段時間均會針對海運業船舶與貨物指派進行相關文獻彙整與回顧，1980 年代到 2010 年間重要回顧文獻包括 Ronen^[1,2] 及 Christiansen 等人^[3,4]。

1980 年前，海運相關研究大致分為運輸模型、定期航運、不定期航運、產業應用與其他。1980 到 1990 年代期間，海運相關研究仍未顯著增加，主要以船舶排程與排班問題為主，大部分發表的研究多以整數規劃 (integer programming) 或者線性規劃 (linear programming) 模型為主，而且多以成本最小化為求解目標。但是在此階段，許多新興議題吸引研究學者注意，例如船隊規模規劃、船舶組合、船隊部署、貨物指派及最佳航速。

回顧 1990 至到 2000 年此領域相關研究之趨勢，包括航商合作 (carrier collaboration)、電腦輔助決策支援系統 (computer-aided decision support systems) 以及結合供應鏈管理，但亦指出定期航運尚未於文獻中廣泛討論。

而近期最新回顧文獻為 Christiansen 等人^[4] 所發表的研究，其將定期航運細分為網路設計及船隊部署等問題；而不定期航運與產業用船相關的研究，則分為船隊規劃、貨物指派與排程、供應鏈管理等相關問題；此時期的熱門研究議題包括航速規劃、船舶加油、離岸物流與船舶分裝減重等議題。

2.2 定期航運與貨物指派

定期貨櫃航線為航商經營貨櫃運輸之主要方式，因此航線之開闢、泊靠港之選定等事宜，航商均需縝密規劃以謀求最大營運效益。Choi 等人^[5] 根據船舶大小、貨櫃大小、配送時間與目標函數，研究定期航運不同情境下的船舶排班問題，該研究重點在於分析演算法之複雜度 (complexity)；Qi 與 Song^[6] 探討如何以最小化船舶油耗為目標函數下的定期船運排程，該研究中港口的服務效率與班表頻率需求為隨機不確定因素；Wang 與 Meng^[7] 提出一個強健數學模式 (robust formulation)，能使定期航商在排班時有效規避港口不確定性風險，並提出簡單平均 (sample average)、逼近法 (approximation method)、線性化技巧 (linearization technique) 與分解法 (decomposition)，求解所形成的混合整數非線性隨機規劃模式 (mixed-integer nonlinear stochastic programming model)；Wang 等人^[8] 則研究在轉運時間影響需求條件下最佳化的貨櫃排程，此問題形成一個混合整數非線性、非凸性最佳化模型 (mixed-integer nonlinear non-convex optimization model)，為有效求解此問題，該研究提出整體分支界定法 (branch and bound based holistic solution method)，證明能在有限的運算次數內找到接近最佳解的答案。

陳春益與張永昌^[9] 以國內某航商之美西至東亞航線為例，探討定期貨櫃船航線之泊

靠港選擇問題，考量港埠、船舶以及貨櫃等相關運航成本，以及「定期定港泊靠」原則，建立最小成本之混合整數規劃模式進行實例分析，據以構建泊靠港選擇模式，以期協助航商選擇遠洋定期貨櫃航線之泊靠港，唯其所考量之航線僅有一條，且為一單向性之航線。邱明琦等人^[10]針對航商貨櫃排程問題特性構建一數學規劃模式，決定貨櫃在營運網路中之運送路線，問題中每一貨櫃起迄對可視為一單元商品，模式中必須考慮船舶容量限制，故屬於一具容量限制之多元商品流量問題 (capacitated multi-commodity flow problem)，該研究以國內某航商遠東與美西航線之貨櫃排程問題為例進行實證分析，除可了解各起迄對貨櫃之運送路線，並可就擁擠航段進行敏感性分析，以作為航商企劃部門調整航段艙位容量之參考。

2.3 小結

由上述回顧可知，雖然海運船舶排程與指派在近年為熱門研究議題，然而，有關考慮定期航班網路設計與港口相關運作研究仍屬少數，此顯示本研究之價值。影響航商與貨主選擇港口或貨物運送路徑之因素極多，包括港口基礎設施、港口到內陸交通、地理區位、港口效率、港口可靠度、港口容量、港口成本、港口附加價值等複雜因素，由於牽涉層面極廣，因此目前非單一研究可完整描述，加上海運具有高度不確定性、系統運作複雜、市場變動性大，導致進行海運相關研究之門檻較高 (Ronen^[11])。有鑑於此，通常能將海運相關研究劃分為 3 個階層：策略規劃 (strategic planning)、戰略規劃 (tactic planning) 及營運規劃 (operational planning)。在策略規劃層次，協助航商決定貨櫃船規模與組合 (fleet size and mix)、聯盟策略 (alliance strategy) 及航運網路設計 (network design)；在戰略規劃層次，決定服務頻率 (frequency determination)、船舶部署 (fleet deployment)、航速最佳化 (speed optimization) 及班表設計 (schedule design)；在營運規劃層次，則決定貨櫃訂位 (container booking)、貨物指派 (container assigning) 與船舶排程 (ship routing and rescheduling) (Meng 等人^[11])。3 個層級問題雖然互相緊密相關，但其整合性問題過於複雜而難以有效分析。本研究屬策略規劃層級，故戰略與營運規劃層級問題將不為研究核心。Tavasszy 等人^[12]亦提出一策略規劃網路模型預估全球海運貨櫃流向，其採用羅吉特 (logit model) 模型指派貨物，然而此模型必須窮舉路徑，且未將港口擁擠因素以及均衡行為納入考慮。因此本研究發展一套國際航運網路模型，解決現有研究之限制，用以預測長期海運市場之變動趨勢。

三、網路指派模型

3.1 研究流程

本研究旨在構建一巨觀之整體預測模型，描述亞太區域相關主要海運貨櫃流向，以作為港口發展策略性規劃之工具。

本研究具體流程如下：

1. 建構現行與潛在航線網路

本研究之指派流程在於各貨主尚未選定航商時，在給定的航網下，依各航線之綜合績效，選擇最適航線與經營航商的決策過程。需蒐集輸入數據資料，包括：航網資訊、航段旅行成本函數以及起迄點對的貨櫃需求量，建構出基本海運網路模型。由於各航商提供不同的航線，供託運人依照自身之時間、價格等需求選擇適合的航線，故託運人實際上有許多可選擇的服務（航線）。而本模型不僅考慮現行航線網路，同時也將所有潛在航線納入考慮，亦即將各兩對港口間直達的航線皆加入航網中，若包含 N 個港口的網路，則共有 $N \times (N - 1)$ 條節線，以 $N = 5$ 個港口的網路為例，則共有 20 條節線（如圖 1 所示），因而能將所有可能航線於模型中完整考量。

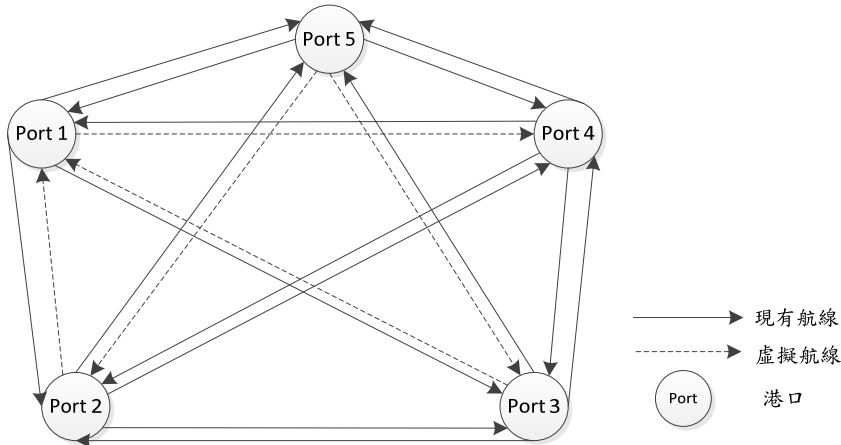


圖 1 5 港口的海運網路

2. 校估航線與港口之成本參數

在所建構的海運模型下，本研究運用啟發式解法進行模型參數的校估。所需校估的參數包括航線成本以及港口成本相關參數，採用最佳化技術之下沉方向搜尋法 (descent direction search heuristic)，以成本項的未知參數作為決策變數，利用已知的資料進行參數求解。

3. 貨櫃指派模型

貨主之航線選擇，雖短期之航線選擇受航商航線規劃影響，但長期來說為一自利且不合作 (selfish and non-cooperative) 之行為。由於本研究中各節線成本為貨櫃流量之函數，故貨主選擇送貨的路徑，將會與其他貨主之選擇交互影響。因此，此概念亦可視為一非合

作賽局 (non-cooperative game)，參與者皆力圖找到對自身最為有利之方案，並於最終達到奈許均衡狀態 (Nash equilibrium)。因此於賽局過程中，貨主不斷修正其選擇，此選擇重複與其他貨主之選擇交互作用，進而逐漸達成系統的均衡；故任一貨主的目標並非追求與其他貨主達到均衡，而是自身利益最大化，結果致使系統達到均衡，此概念與道路交通指派之概念雷同。若某一航商無法提供適切之服務 (例如：合適的成本、時間等)，在現行供給過剩之狀況下，貨主可選擇其他航商服務，因而轉換所使用的貨物航線，此航線轉換重複直到貨主無法藉由變更航線獲得更好的服務為止，此概念符合使用者均衡 (user equilibrium, UE) 之定義。故本研究透過使用者均衡之模型進行貨物指派，模型考慮時間、成本、港口擁擠因素以及乘載率等因素，以反映貨主於航線選擇時的決策行為。

4. 指派結果與目前各港口裝卸量之差距是否達到收斂門檻

計算求解結果與目前各港口裝卸量之差距，檢視求解結果是否符合實際情況。若兩者差距降到收斂門檻值以下則停止運算，否則重複進行校估與指派之流程。

5. 實證分析

當達到收斂門檻時，表示目前模型預測之港口貨櫃流量 (裝卸量) 與實際流量相近，而所校估出之參數即為反映現況的成本參數。利用此參數，本研究進行實證分析，評估本模型是否能正確而合理地反映現實海運流量的分布與變動。

6. 研提結論與建議

藉由模型之建立與分析結果，據以作出結論與建議，並提供未來研究之方向。

3.2 海運網路模型基本架構

海運網路主要包含船舶停靠的港口以及行經的航線兩大部分，如 3.1 節所述，為全面考量航線選擇的可能性，故於模型中將未相連的兩港口間皆以虛擬節線連接，據以分析所有潛在可能的營運模型。由於本研究為一巨觀之策略性模型，用以描述亞太地區相關主要海運貨櫃流向，主要著重於兩港口間的貨物運送時間與成本，並考慮北美陸橋以反映運河與陸橋兩種運輸模式之替代性選擇，故目前不將陸運端的運送時間與成本納入考量，透過適當簡化網路，以呈現整體海運市場大致之趨勢。

1. 節點 (港口)

選定全球 31 個重要國際港口，包含美西、美東、臺灣、日本、韓國、華北、華中、華南、菲律賓、越南、印尼、泰國、中南半島、歐洲等國之重要港口。本模型將港口擁擠之因素納入考量，以反映擁擠效果對停靠港埠選擇之影響，因此透過網路構建技巧，將原本單一港口依進出口拆解為兩節點，並建構兩點間之節線以能在網路中呈現港口成本。

2. 節線 (由各航線組成)

本研究所構建的網路模型，將以連結亞太重要貨櫃貿易路線 (trade route) 為核心，研究亞太區域貨櫃航線網路，包含越太平洋航線、遠歐航線、非洲航線、澳紐航線、南美航線、中東印巴航線、亞洲區域航線等貿易路線，並考量現存與潛在網路。交通部運輸研究所的「國際海運資料庫」為本研究相關航線資料之主要資料來源，該資料庫收錄了豐富的貨櫃航線資料，如下表 3 統計各貿易路線資料的數量及運能等。

本研究在貨主決定航商與航線時，綜合比較各航線績效，進而選擇最適航線與經營航商，並在「給定之航線網路下」，以貨主角度為出發點，應用「使用者均衡 (user equilibrium)」之概念進行貨物指派。目前運能供給過剩之狀況下，以自利為原則，貨主會綜合比較各航商之航線服務以挑選效益最佳之航線，而貨主間的選擇交互作用促使其選擇持續轉變，直到各貨主皆無法藉由變更航線獲得更好的服務時，即達到均衡指派之結果。

表 3 亞太區域各貿易路線之航線資料統計 (2015 年 12 月底)

貿易路線	航線數	船舶數	總運能(TEU)	平均船型(TEU)	每航線平均參與航商數 ³
越太平洋航線	82	645	4,199,779	6,511.29	4.10
遠歐航線 ⁴	39	415	4,434,287	10,685.00	5.21
非洲航線	29	245	1,348,600	5,504.49	3.62
澳紐航線	37	149	522,650	3,507.72	3.11
南美航線	18	172	1,234,651	7,178.20	4.94
中東印巴航線	84	563	4,239,714	7,530.58	3.98
亞洲區域航線	386	668	1,023,500	1,532.19	1.82
合計 ¹	675	2,857	17,003,181	5,951.41	2.79
合計 ²	608	2,174	11,616,556	5,343.40	2.65

註：1.部分航線兼具不同貿易路線之功能，本合計含重複航線之加總。

2.部分航線兼具不同貿易路線之功能，本合計不含重複航線之加總。

3.各航線參與航商數之加總除以航線總數。

4.如不包括遠地航線的 15 條，則狹義的遠歐 (遠東—北／中／西歐) 航線僅有 24 條。

資料來源：交通部運輸研究所。

3.3 數學模型

長期而言，在給定的航線網路下，貨主通常以最大化自身利益為目標，選擇對自己最有利之貨物運送路線，而不與其他人協調合作，因此，此概念亦可視為一非合作賽局，參與者致力於找到對自身最為有利之方案，並令整體系統於最終達到奈許均衡狀態。由於在同一網路上，貨主間的選擇會互相影響，導致各路線時間、成本之變動，一旦發現結果不

符預期時，或有其他更佳的路線選擇時，則會轉換運送路線，導致各航段之流量不斷變動，而又改變貨主之選擇。經過多次調整直到無法在藉由更改航線選擇而改變其運送成本時停止，此時即達到均衡狀態，網路上之流量不再改變，任何人皆無法經由單方面地改變路徑來降低其旅行時間。而此定義符合 Wardrop 第 1 準則 (Wardrop's first principle)。故本模式以 Beckman's transformation 為基礎，建構第 1 準則之數學規劃模式，採使用者均衡進行指派，使結果貼近實際之路徑選擇行為。

本研究建構之模式如下：

$$\text{Min } Z = \sum_i \int_0^{x_i} c_i(\omega) d\omega \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall r, s \quad (2)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall r, s, k \quad (3)$$

$$x_i = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} \times \delta_{i,k}^{rs} \quad \forall i \in I \quad (4)$$

其中， c_i 為各航段成本， f_k^{rs} 為包含起迄對 $r-s$ 之路徑 k 上的貨物流量， q_{rs} 為起迄對 $r-s$ 間的流量總和， $\delta_{i,k}^{rs}$ 為二元變數，用以判斷路段 i 是否屬於起迄對 $r-s$ 之間路徑 k 。 x_i 為決策變數，代表各節線上之貨物流量，其中 x_p 代表港口 p 的吞吐量（即行經將港口 p 拆分成兩點所構建之節線上的流量）， x_l 代表行經航段 l 的貨物量。

此外，本網路將航網成本 c_i 分成港口成本 c_p 與運輸成本 c_l 兩部分，該成本函數型態將影響託運人的路徑選擇。

$$\text{港口成本: } c_p(x_p) = x_p \times (PC + THC) + \rho_C \times VOT \times t_p^a \left[1 + \alpha \left(\frac{x_p}{V_p} \right)^\beta \right]$$

$$\text{運輸成本: } c_l(x_l) = VOT \times t_l^a + \rho_{LF} \times \left(1 - \frac{x_l}{V_l} \right)^\gamma$$

PC 為港口使用費， THC 為港口處理費， VOT 代表時間價值， t_p^a 為貨物在各港口的平均進出與轉運的時間（小時）， V_p 為港口容量，並用 $\frac{x_p}{V_p}$ 以衡量港口的擁擠程度，當擁擠程度越高時，於該港口花費的時間增長。 t_l^a 為兩港間行駛所需的平均時間， V_l 為該航段航商投入之總運能， $\frac{x_l}{V_l}$ 代表該航線乘載率，當乘載率提升時有助於減少行駛該航段之平均運輸成本，故在本函數加入此項作為獎勵值之效果，以能呈現集中運送、轉運等效果。 ρ_C ， ρ_{LF} ， α ， β 與 γ 為函數參數。

依據此非線性之數學模型，首先可使用 Lagrange relaxation 對偶化 (dualize) 限制式錯誤！找不到參照來源。):

$$L(f, u) = Z(x) + \sum_{rs} u_{rs} (q_{rs} - \sum_{rs} f_k^{rs}) \quad (5)$$

推導其最佳化條件如下所示：

$$f_k^{rs} \frac{\partial L(f, u)}{\partial f_k^{rs}} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial L(f, u)}{\partial f_k^{rs}} \geq 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial L(f, u)}{\partial u_{rs}} = 0 \quad (8)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad (9)$$

整理上述算式後，此數學模型最佳解之必要條件(necessary condition)為：

$$f_k^{rs} (C_k^{rs} - u_{rs}) = 0 \quad (10)$$

$$(C_k^{rs} - u_{rs}) \geq 0 \quad (11)$$

$$\sum_{rs} f_k^{rs} = q_{rs} \quad (12)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad (13)$$

即當網路達到使用者均衡時，所有被使用的路徑 ($f_k^{rs} > 0$)，其旅行成本皆相同 ($C_k^{rs} = u_{rs}$)，而且其成本 u_{rs} 小於或等於其他未被使用路徑的旅行成本 ($C_{k'}^{rs}$, $k' \neq k$)，因此數學模型符合 Wardrop 第 1 準則。

透過此模型求解使用者均衡，能求得唯一路段流量解，進一步證明其唯一性如下：

由於限制式皆為線性，故其可行解空間區為 convex。

目標函式亦為 convex，可透過 Hessian Matrix 證明如下：

$$\frac{\partial Z(x)}{\partial x_m} = C_m(x_m) \quad (14)$$

$$\frac{\partial^2 Z(x)}{\partial x_m \partial x_n} = \frac{\partial^2 c(x_a)}{\partial x_m \partial x_n} = \frac{\partial c_m(x_m)}{\partial x_n} = \begin{cases} \frac{dc_n(x_n)}{dx_n}, & m = n \\ 0, & m \neq n \end{cases} \quad (15)$$

$$\nabla^2 Z(x) \equiv \begin{bmatrix} \frac{dc_1(x_1)}{dx_1} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \frac{dc_i(x_i)}{dx_i} \end{bmatrix} \quad (16)$$

根據式 (14)、(15) 可得到目標式之 Hessian matrix (式 (16))，由於除了對角線外其他值皆為 0，再者，流量對成本的影響為正，因此對角線上所有數值亦皆為正值，而可得其為一正定矩陣，代表目標函式為一嚴格凸函數 (strictly convex)。而在可行解空間與目標式

皆為 convex 的情況下，可得唯一解，故得證。唯有保證網路流量之唯一性，方能利用此模型進行驗證與分析，故此特性為此模型重要屬性。

四、貨櫃指派演算法

前述章節所示之使用者均衡數學模型，為一凸型非線性最佳化問題，可利用 convex combination method 求解，而 Frank-Wolfe algorithm 為常用解法之一，此演算法保持解於可行解區間內，透過尋找可行方向與最佳步幅改善求解結果 (Frank 與 Wolfe^[13])。

4.1 Frank-Wolfe algorithm 架構

針對凸型非線性的最佳化問題，演算步驟先將原問題線性化，以近似子問題逼近原問題，並透過全有全無指派 (all-or-nothing assignment) 找到初始流量解，接著更新網路成本後求解最短路徑問題，找出一輔助變數 (auxiliary variable) 以得到改善目標值之方向，在該方向下透過黃金分割搜尋法 (golden section search) 計算出最佳的移動步幅，並由目前的解依改善方向移動到下一個解，上述步驟重複直到達成收斂條件時終止；本研究將 Frank-Wolfe algorithm 的概念應用於貨櫃指派問題。

另於 4.2 小節詳細敘述全有全無指派 (all-or-nothing assignment) 與黃金分割搜尋法 (golden section search) 演算步驟。

4.2 全有全無指派

此法為將某一起迄點之所有交通量分派至最佳路徑 m 上，其餘路徑 k 則不指派交通量，可表示如下：

$$\begin{cases} f_m^{rs} = q_{rs} \\ f_k^{rs} = 0 \end{cases} \quad \text{if } C_m^{rs} \leq C_k^{rs} \quad k \neq m \quad k \in K$$

步驟詳述如下：

步驟 1：初始化

令迭代次數 $n \leftarrow 0$ ，將目前網路中所有路段之流量 x_i^0 令為零。

步驟 2：決定最佳路徑

令迭代次數 $n \leftarrow n + 1$ ，利用最短路徑演算法找出起迄對 (r, s) 間最佳路徑。

步驟 3：更新路段流量

將起迄對 (r, s) 間的所有流量指派至第 3 步驟所求得之路徑上。若路段 a 屬於最佳路徑，則 $x_i^n = x_i^{n-1} + q_{rs}$ 。

步驟 4：檢驗終止條件

若所有具流量的起迄對 (r, s) 皆已完成指派，則演算法終止並獲得路段流量 x_i^n 之結果；反之，則回到步驟 2 重複運算。

4.3 黃金分割搜尋法

此演算法最早由 Kiefer^[14] 所提出，為一維搜尋法 (line search)，主要針對一維連續之單峰 (unimodal) 凸函數，當該函數較為複雜而無法用導數 (gradient) 求解時，常使用此演算法搜尋該函數之極值。黃金分割搜尋法透過分割原搜尋範圍而建立更為狹窄之區間，能有效縮小搜尋範圍，以逐步逼近最佳解。

其基本概念類似於二分法，然其採用黃金比例將包含可行解之區間進行分割，並將黃金比例找出的新解代入目標式，捨棄目標值較差且不會出現最佳解的部分，並繼續分割保留的區間，直到區間兩端點之差值收斂至一定門檻 ε 以下時終止，否則回到步驟 2 重複進行演算。

4.4 參數校估

根據實際港埠裝卸量之資料，對成本函數中未知參數進行校估，降低指派結果與實際結果之差異，確保模型產生流量貼近實務狀況，以提升模型之真實性與預測能力。本研究設計一套啟發式解法，採用最佳化技術的下沉方向演算法 (descent direction heuristic)，其主要概念為透過增加一單位量所需校估的參數，計算對目標值所帶來的改善，藉以求得模型之改善梯度 $\nabla g_{\theta_i}^n$ 作為移動之方向，並設定步幅決定移動距離，而後更新參數並利用海運指派模型求解新流量，一旦目標值改善停滯時，則將步幅減半，並重複運算直到達到收斂門檻；文獻中亦有類似之作法 (Lin^[15])。

校估過程呈現穩定收斂，如下圖 2 所示。經校估後求解出一組適當的成本函數之參數如下：

$$\rho_C = 1.00E - 05, \rho_{LF} = 1.00E + 05, \alpha = 32.88, \beta = 2.89, \gamma = 4.00。$$

透過此組參數求解，可將本研究之各港裝卸量平均誤差降至 12.12%，已達到一定的精準度，表示本模型能呈現貨運流量分配之趨勢。故可運用此組參數進行測試，以了解產業環境變動對運量分配之影響性。

五、貨物指派之模型實證分析

5.1 資料蒐集與分析

本研究需使用大量國際海運相關資料，包括路網資訊、路段旅行成本函數以及起迄對的旅次需求量。本研究主要採用之國際海運資料與其詳細資料內容如表 4 所示：

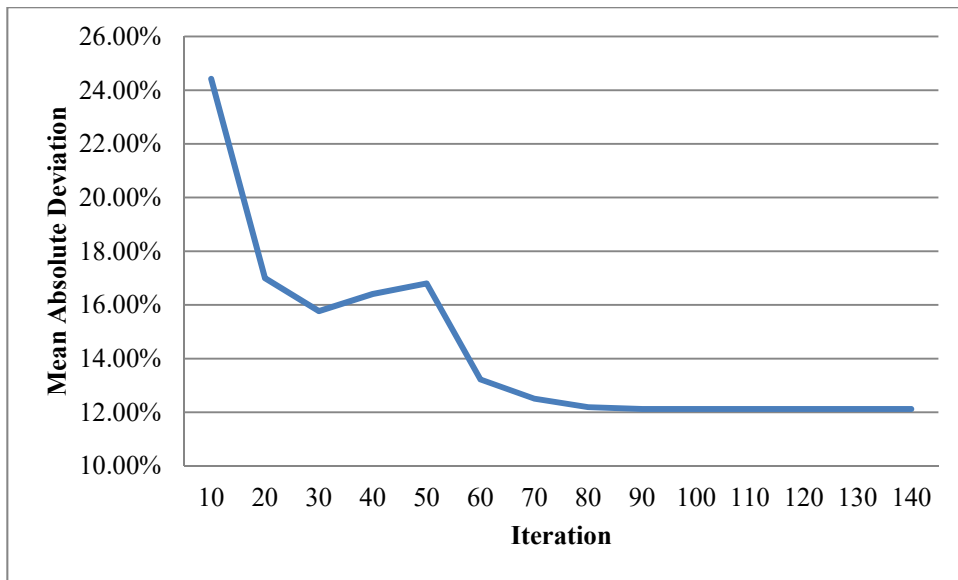


圖 2 校估過程之平均誤差

表 4 模型所需資料

模型項目	資料項目	資料內容／功能
節點 (港口)	主要港口	31 個重要港口為主要研究對象
	港口裝卸櫃量	年度港口裝卸貨櫃的單位量，用以校正模型計算流量結果(以 2011 迄 2015 年之櫃量平均值計之)
	港口容量	以港口裝卸櫃量的 1.2 倍計算之，用以考量擁擠成本
	港口使用費	進港船舶之每單位運能 (TEU) 或每單位貨物 (TEU) 平均需負擔的港灣費用 (USD)，用以計算節點成本
	港口平均單位貨物處理費	每 TEU 貨物在碼頭上的 terminal handling charge (THC) 及拖車及櫃場的整理處理費用 (實櫃，美金)，用以計算節點成本
	各港口平均轉運時間	貨物在各港口的平均進出與轉運的時間 (小時)，用以計算節點成本
節線 (航線)	亞太區域貨櫃航線網路	各貿易路線內的營運航線與潛在航線之資料
	各航線運能	各航線投入的船舶數與運能，用以計算使用各路線的乘載率
	各航線距離與時間	兩港間所需行駛的距離與時間，用以計算節線成本
OD 流量	國對國的貨櫃流量	以貨櫃裝卸量為比例分配得各港流量，用以作為各節點的貨櫃供需量

由於資料量龐大，透過廣泛蒐集各資料庫之數據，以利後續模型之測試。由於海運資料過於龐大繁雜，本模式需要大量資料庫作為來源與輔助或補充，相關資料庫包括：運研所出版品、UN Comtrade Database、UNCTAD、Review of Maritime Transport、ITC、Lloyd's List Intelligence、SEA-DISTANCES.ORG 等。此外，由於在海運領域，航商之實際營運成本屬高度商業機密，且貨主之運送成本項目多樣而複雜，因此不易取得全面性的相關資料。由於本研究係為構建一宏觀之整體預測模型，因此本研究以巨觀分析為出發點，各貨櫃運輸成本可參考 Tavasszy 等人^[12] 之數值為估算，單位時間之運輸成本全球平均值約為 100 美金/TEU/日。航行速率採平均值 1,000 公里/日 (539.96 海浬/日=22.5 節)，藉此計算航行時間，作為本模型輸入之參數。

5.2 實證分析

5.2.1 模式驗證

測試一具有 10 個港口的海運網路 (港口 A, B, C,...,L 等)，以國家作為模式中貨櫃流量的起迄點，而各國之主要貨櫃港則為貨櫃流動路徑上之節點。每個國家有 2 個中心點 (centroid)，分別代表該國家之貨櫃起點與貨櫃迄點，透過不同港口進出口貨櫃。其中港口 E、F 為大型港埠，令其容量分別為 3,000 與 4,000 單位，為樞紐港口，其餘港口容量皆令為 1,500 單位，各港口間有不同的貨櫃需求量以進行指派，在不同情境中藉由調整路網架構以及相關參數，以求得貨物流量分配之結果，各情境結果彙整如表 5。

表 5 情境分析結果彙整

影響因子	參數	原始路線 (流量 ^a)	均衡後路線 (流量 ^a)	原因
擁擠效果	情境 1 $\rho_C = 100$ $\rho_{LF} = 1$	A-B-F (200)	A-I-F (36.03) A-E-F (163.97)	容量不足之壅擠港口 (如 B 港) 將導致原經該港轉運之貨物移轉至其他港口進行轉運。
	情境 2 $\rho_C = 0.0001$ $\rho_{LF} = 1$	D-K(300) D-L(200)	D-F-K(300) D-F-L(200)	港口擁擠效果降低，吸引更多貨物經樞紐港 (如 F 港) 進行轉運。
乘載率效果	情境 3 $\rho_C = 1$ $\rho_{LF} = 1000$	B-C-L(300) B-E-J(200)	B-F-L(300) B-F-J(200)	由於貨源較少之港口 (如 C、E 港) 無法提供足夠之乘載率，故貨物轉移至貨源較大之港口 (如 F 口) 以降低轉運成本。
容量成長效果	情境 4 $\rho_C = 1$ $\rho_{LF} = 1000$	A-E-J(200) B-E-I(400) B-E-J(200)	A-F-J(200) B-F-I(400) B-F-J(200)	選擇靠泊具充足貨源的港口 (如 F 港) 以降低單位運輸成本。

註 a：起迄點間之流量。

以下詳述各情境與指派結果：

1. 情境 1：擁擠效果大 ($\rho_C = 100$ $\rho_{LF} = 1$)

考慮港口擁擠效果影響運送成本較大的情境下，探討流量分布情形，此網路中有多組 OD 對，在求解時分別針對不同 OD 對的貨櫃指派結果進行分析。由模式結果中可觀察到港口擁擠將影響轉運港口之選擇。當港口容量不足時，將造成擁擠成本提高，而使流量轉移至其他容量較充足之港口轉運。如測試結果所示，由 A 港口到 F 港口的運送流量為 200。透過模式經第 1 回指派後之路徑為 A-B-F，然而因 B 港較為擁擠，轉運成本較大，模式逐漸修正流量，如同貨主轉換路徑選擇降低成本之過程，故最後均衡結果為 A 到 F 流量轉換為經由 I 港與 E 港進行轉運而送達 F 點。

2. 情境 2：擁擠效果小 ($\rho_C = 0.0001$ $\rho_{LF} = 1$)

港口擁擠程度影響直達與轉運之選擇，當擁擠效果對成本影響小時，樞紐港之轉運量將有所提升。如測試結果顯示，原本由港口 D 運送至港口 K、L 之貨櫃，因港口 F 擁擠成本高，因此貨主若由 F 轉運所帶來的成本較大，故經模式均衡指派後，貨主仍不改變其路徑選擇，起迄點對 D-K、D-L 之流量仍然皆不轉運而選擇直達。然而若降低擁擠效果，此時 F 轉運成本降低，經 F 港轉運送達 K、L 能提升乘載率，促使其成本小於直達，故由模式均衡結果可發現皆改以使用轉運航線而降低整體成本。

3. 情境 3：乘載率效果大 ($\rho_C = 1$ $\rho_{LF} = 100$)

令乘載率對成本的影響較大，亦即運送貨櫃時注重每航段的乘載率，乘載越多貨櫃越能降低該航段運輸成本，因此預期在此情境下貨櫃將集中於大型港口轉運。此情境根據各港口貨源的充足與否，可觀察到不同的均衡結果。

當港口貨源充足時將吸引更多轉運量，本測試情境中，根據 OD 需求量，由於港口 F 轉運貨源較多，因此貨物若經由港 F 轉運，將使乘載率提高而降低整體運送成本，故由模式指派後之均衡結果可發現，貨櫃流量將逐漸集中於港口 F，例如起迄對港口 B 到港口 L (流量 300) 將由港口 C 轉運改為以 F 轉運。此外，當港口本身貨源不足時，港口無轉運吸引力，若經該港轉運不但對整體乘載率影響不大，甚至會增加轉運成本，故不會選擇貨源少的港口進行轉運。由本模式測試結果來看，港口 E 本身貨量不足，由 E 港轉運對乘載率提升之效果不大，對降低整體成本的效果也較低，同時，轉運增加的成本反而高於乘載量降低成本，因此若港口 A 之貨物經港口 E 轉運，成本將高於由港口 A 直達港口 I，於是可觀察到經均衡指派後，貨物不經 E 轉運。

為進一步分析貨源與港口選擇的關聯性，本研究提升港口 E 轉運的貨物量，在港口 A 到港口 I 之貨物量不充足的情況下，發現 A-I 經港口 E 轉運能促使乘載量提高，而使其成本低於直達，故指派結果轉為貨物在港口 E 匯聚而轉運至港口 I。

4. 情境 4：港口拓寬、船舶大型化 ($\rho_C = 1$ $\rho_{LF} = 1000$)

若將港口 F 之容量增一倍，同時船舶大型化使各航線運能提升，此時由於港口 F 貨源多，為降低大型船舶的運能浪費，集中於港口 F 轉運將能提升乘載率而能降低運送成本，

故貨主將重新調整航線選擇。於是貨物逐漸朝 F 港匯聚，導致原經其他貨源較少的港口因轉運成本高於使用港口 F 轉運，造成貨物漸漸流失。如測試結果所示，由港口 A 送至港口 J (流量為 200) 以及由港口 B 分別運送至港口 I 與 J 的貨 (流量分別為 400, 200)，原由港口 E 轉運，當港口拓寬與船舶大型化後，改為由 F 港轉運之新路徑，可用以說明貨源少的港口之貨櫃將被貨源大的港口吸收，而造成這些貨源少的港口營運逐漸惡化。

5.2.2 模式實際應用

將模型進一步運用於實際網路中，分析船舶大型化下，對海運網路帶來的變化。此外，亦針對政府提出「新南向政策推動計畫」，分析東南亞市場的發展對臺灣港群的影響性，進而了解臺灣港群於未來國際海運網路之可能定位。

(一) 情境 1：船舶大型化下之航網變化

針對近年來船舶大型化之趨勢，分析船型大小對靠港行為的變動性。在需求充足的情況下，分別針對目前使用之較小船型以及容量擴大為 4 倍之船型兩種狀況進行分析，並計算各航段乘載率之變動，以及對不同層級港口裝卸量之影響，藉以了解船舶大小與靠泊行為變動的因素與關聯性。

由測試結果發現，依船型的大小將出現不同狀況：

1. 當船型較小時，將沿途行經較多個小港口以進行集貨 (圖 3)

以廈門到香港間的航線為例，兩大型港間之主要航道上，各大航商投入之總運能較大，兩者間的貨量為 556,481.72 TEU，若皆以主要航道作運送，則乘載率為 31.97%。因主要航道上總運能大，航商易彼此瓜分貨源，運能過剩，將造成乘載率較低，故小型船舶若能改以沿途停靠小港集貨，有助於提升整體乘載率，以降低平均運輸成本，如圖 3 所示。

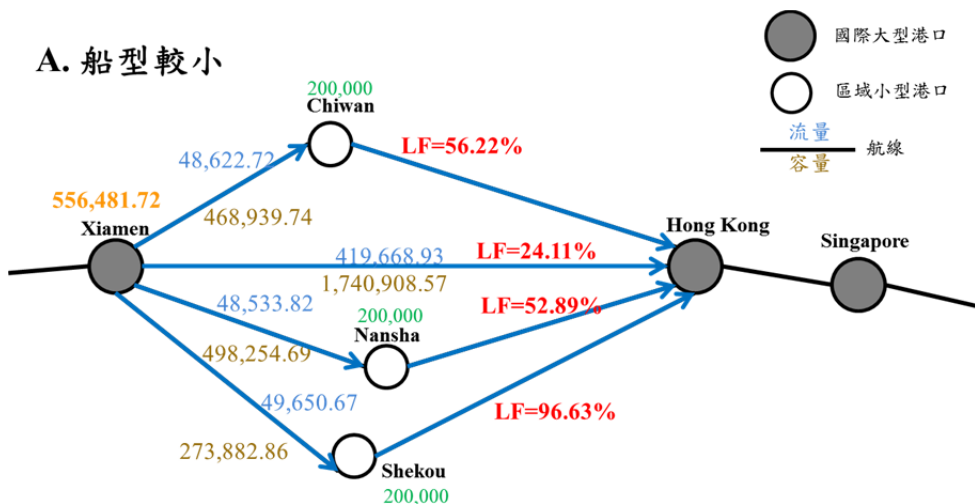


圖 3 較小船型之靠泊模型

2. 當船型較大時，僅選擇貨源較大的國際樞紐港口靠泊（圖 4）

船型擴大下，需有更大的貨源來增加乘載率，若停靠小港經濟效益低，對提升乘載率效果不足，且轉運成本高（擁擠成本、港口費）。此外，船型擴大下運能普遍過剩，需有更大的貨源來增加乘載率，故大型船舶會選擇貨源較多的國際樞紐港口停靠。由模型結果可見區域小港口轉運量減少 11.65%（表 6），其原因為貨源少的小港以接駁船運送貨物至大港集中進行轉運。

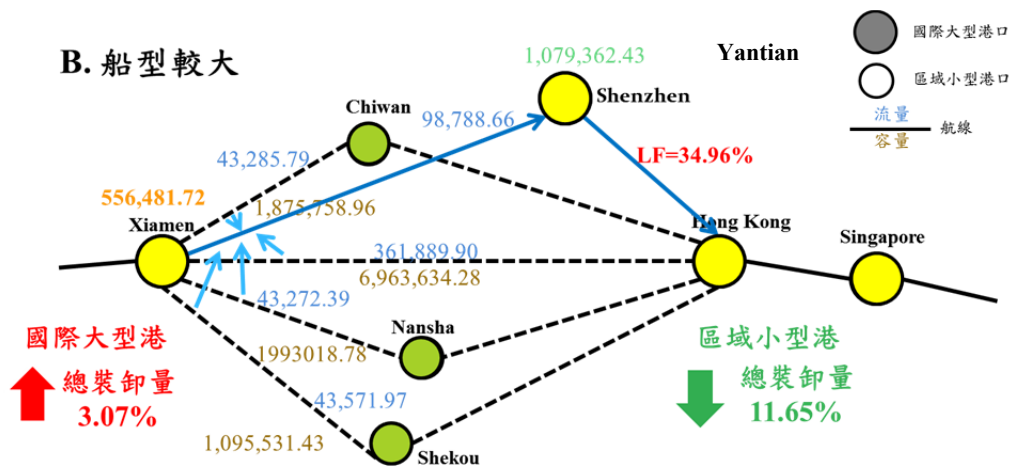


圖 4 大型船型之靠泊模型

表 6 不同層級港口之總裝卸量變動率

港口層級 \ 情境	平均船型擴大為 2 倍	平均船型擴大為 4 倍
重要國際港口 (31 個研究港)	+2.05%	+3.07%
區域小型港口	-1.57%	-11.65%

船型較小時，將行經較多港口以進行集貨，雖然時間成本較高，然而有助於乘載率之提升而降低整體成本。而船型較大時，由於靠泊於貨量不足的港口較無經濟效益，甚至會因轉運導致整體成本提升，故將僅選擇貨源較大的國際樞紐港口靠泊，有助於降低營運之成本。此將加速樞紐港層級化，貨源較多的大港口（如：新加坡、香港）轉運量提升。相對的，貨源較少的小型港則仰賴接駁船將貨量送至大港口轉運（表 7）。

表 7 大型研究港之轉運量變動量

(單位：TEU)

港口 \ 情境	平均船型擴大為 4 倍
香港	+1,943,815.55
新加坡	+848,954.62
高雄	-161,597.29

以高雄港為例，若貨源不足而致轉運的櫃量持續不斷減少，會更降低未來航商規劃航線時來高雄港轉運之意願，進而又更加降低轉運櫃量，形成惡性循環。因此相關單位應研擬適當策略以避免此現象發生，維持高雄港在亞太地區所扮演的樞紐地位，維繫國家之經濟命脈而能永續發展與邁進。

(二) 情境二：發展南向市場

由於近年面臨中國經濟成長趨緩、營業與勞力成本增加、同業競爭激烈等問題，以致持續發展兩岸間的經貿越趨困難。而隨著東協區域整合，經濟快速成長、消費力提升等，儼然具有極大之市場潛力，因此政府近年開始積極推行「新南向政策」，盼能透過加強區域經貿合作，以及資源、人才的共享與整合等，建立互利合作之模式，以開創新的發展機會。

對海運市場而言，東協近年隨著各國進行政治及經濟改革，已大幅開放外國的直接投資，連實行社會主義的共產國家也進行經濟改革開放，各國經濟成長逐年提升（如表 8），隨著國內建設及內需的成長，以及外國製造業的投資設廠外銷，對外貨物的運輸及港口碼頭基礎建設等，更成為外國航運業的新興市場。

表 8 東協 GDP 成長預測

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
柬埔寨	7.4	7.0	6.9	6.9	6.8	6.8
印尼	5.6	5.0	4.7	5.3	5.5	5.5
寮國	8.5	7.5	6.4	7.0	6.9	6.9
馬來西亞	4.7	6.0	4.7	4.5	4.5	5.0
緬甸	8.5	8.5	6.5	7.8	8.5	8.5
菲律賓	7.1	6.1	5.8	6.4	6.2	6.2
泰國	2.8	0.9	2.5	2.0	2.4	2.7
越南	5.4	6.0	6.5	6.6	6.3	6.0

資料來源：世界銀行。

臺灣過去因地理位置位於東北亞及北美航線的交接處，且港闊水深又採開放航商承租或合作興建專用碼頭方式，吸引歐美日韓等世界大型貨櫃航商進駐，相對於東協各國除新加坡外，早期港口多為機具簡陋、碼頭水深不足，故東南亞至遠洋線大多由航商安排至高雄港進行接駁轉運作業。隨著東協國家總體經濟預測將持成長下，本情境針對新南向政策，預期東協市場之需求將有所提升，進行高雄港南向發展的可能性分析。在航運網路維持不變下，僅更動於模型中輸入之 OD 量，並透過調整不同的東協運量增加幅度，測試東協需求不同成長幅度下，分別可能對高雄港帶來的影響性。

由模型求解結果可發現，當東協貨運需求量微幅增加，將促使高雄港的轉運量提升；然而，當運量成長幅度更大時（如超過 5 成），將對高雄港轉運量造成衝擊，且求解結果顯示，當東協區域經濟內之市場需求越充足，對高雄港的影響性越大，顯示當東協自身已有足夠的貨源時，可能將不再需經由高雄港轉運而直接向東往北美運送，而且由於高雄港的地理位置不利於進行東協西向美東或遠歐之集貨，難以發展西向航線之轉運，亦促成高雄港轉運量降低之現象（圖 5）。

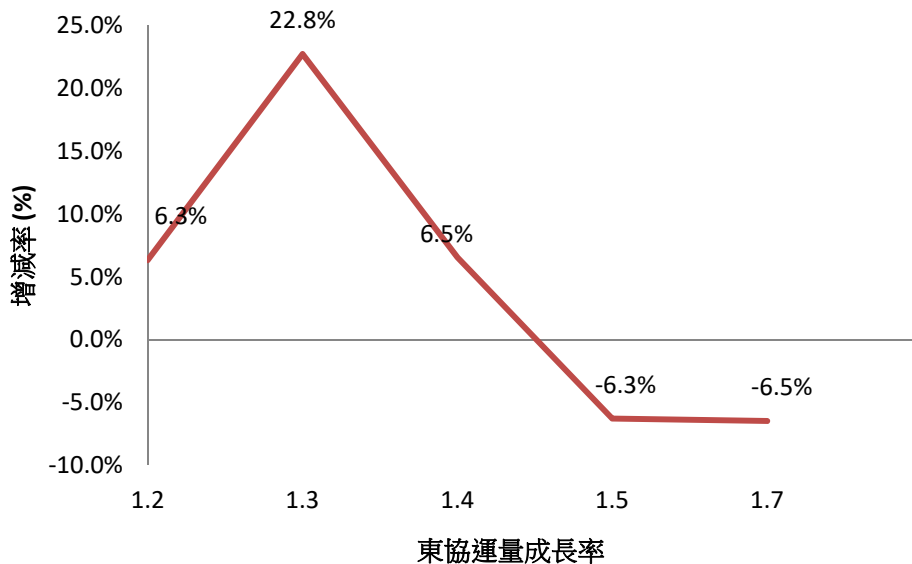


圖 5 東協運量成長下高雄港轉運量增減率

5.2.3 測試結果分析

由分析結果可發現，當船舶越趨大型化時，港口設施若未能及時跟上以提供更大之服務容量，將造成使用該港之成本提高，降低其競爭力而減少貨物量。此外，在運能過剩的情況下，貨源較少之港口將面臨極大之挑戰，其轉運量將受其他貨源較大之港口的搶奪與競爭而減少，進一步流失更多貨源，更導致轉運量又更為減少的惡性循環。此外，大型船

船舶將藉由減少靠泊貨源較少之港口以降低成本。而這樣的趨勢則影響傳統航商進行航線佈署的思維，在運能過剩的情況下，大船需有明確的櫃源進行集貨，促使策略聯盟航商透過共同規劃航線，以大型港口為轉運中心主線，並利用不同的大船，散布在不同的樞紐港間靠泊，而非只將大型船舶集中在大型樞紐港靠泊，以避免聯盟成員內彼此爭奪貨源，因此可發現聯營航商的最終靠泊港口散布於亞洲重要樞紐港口，是為近年可觀察之趨勢。

再者，鄰近港口的競爭，可能衝擊高雄港，當東協國家經濟持續成長，貨量大幅增加，其航線方向及港口發展影響高雄港轉運地位。以鄰近新加坡港的馬來西亞港口（如巴生港、丹戎帕拉帕斯港）為例，有國家支持擴建港口基礎設施、鼓勵本地貨載直接進出、招引國際航商航線改靠，也發展成全球樞紐港。其他港口如越南的胡志明港（蓋梅港區）、印尼（雅加達港）、泰國（蘭查邦港）等，也隨外商投資碼頭設施更新，能接納更大型貨櫃船彎靠，將港口角色提升為區域樞紐港。此區域港口原以接駁至高雄港為至北美（越太平洋）、東北亞（亞洲近洋）為主的東向航線，當東協港口遠洋貨量大幅增加，在其港口能接納大型貨櫃船直接彎靠下，其貨載可減少經高雄港的二次轉運作業，另東協往華中、華北港口可直接彎靠，不須經高雄港轉運（兩岸航段對國際轉貨運送有限制），如同本研究測試之結果所顯示。因此隨航商派船大型化、東協東向往美西港口直達航線增加的情況下，去回航線彎靠港口的順序及次數改變，高雄港恐成為區域型轉運港。

根據以上結果可見，本模型所呈現之結果與實際趨勢相符，具備良好反應實際情況之能力，藉由調整相關參數或輸入之網路資料，能反映出合理而真實的貨櫃分配結果，亦顯示本模型之建構方式運用於海運指派之有效性。

六、結論

本研究已建立一網路指派模型，並呈現具體之指派成果，以下將就研究內容提出結論與建議，以及可行之後續研究方向。

6.1 結論與建議

由於臺灣地區進出口貨品運量主要集中於海運（占 99.06%），實為臺灣之經濟命脈，然而海運產業複雜而難以預測，若相關單位無法及時掌握未來趨勢，將可能喪失發展競爭力與契機，因此本研究旨在建構一套策略規劃模型進行國際航運貨物指派，在不同環境參數設定下，預測海運整體之趨勢，觀察貨物流量分布之變動性，以及可能對港埠造成的影響性，以供相關單位研擬長期策略之參考，以降低其決策風險與不確定性。

本研究以使用者均衡指派為原則，並考量擁擠效果、乘載率以及容量影響因子，以符合真實之貨主選擇行為，並蒐集大量資料進行實證分析。根據本研究之實證分析結果發現，在目前運能過剩的情況下，掌握「貨源」為關鍵的因素之一，航商必須擁有足夠的貨量，才能發揮使用大型船舶的經濟效益。然而在鄰近各國港口的快速建設與發展下，臺灣

面臨嚴峻挑戰；近幾年來，進出口櫃量成長遲緩，且於亞洲區域之占比呈現下滑趨勢，以高雄港來看，全球貨櫃港排名也逐年下跌，其發展似乎處於不樂觀的情況下。而近年政府積極推行的新南向政策，盼能加強臺灣與東協區域之經貿合作，就海運而言，短期內東協國家經濟發展，將有助於提升高雄港的轉運量，然而長期而言卻未必對臺灣有利，一旦其區域運量足以達到經濟規模，將減少灣靠高雄港，而造成高雄港轉運量下滑之結果。

在考量本研究之情境分析所顯示的現象後，我國港口應深悉，在目前航運發展的情勢下，我們很難再回復昔日主航線樞紐港的機會。從本研究納入的影響因子來看，掌握「貨源」為關鍵的因素之一，在目前運能過剩的情況下，必須擁有足夠的貨量才能發揮使用大型船舶的經濟效益。若欲鞏固高雄港於亞太區域之地位，應由提升轉口貨櫃量著手，積極爭取轉口櫃量，並更新與發展港埠設施、投入與鄰近港埠的競逐，作為持續吸引客源的而努力目標。

因此未來我國航港發展策略上，應以吸引既定之現有靠泊臺灣的主要航商，以及其所參與的策略聯盟，作為主要關注的「顧客群」，以確保穩固既有航商與航線靠泊。並能於自由港區內積極發展多國貨櫃（物）集併（MCC）作業，打造如同香港、新加坡之 MCC 主要轉運作業港口，有助於吸引國內外貨物承攬業者願意至臺灣作業，進而提升臺灣港口轉運量。而港埠單位應積極檢討不合時宜法規與作業方式，提升並落實法規自由化，並簡化海關申報流程與檢驗程序、完善港埠作業整合、提供通關成本優惠或獎勵措施等，並就軟、硬體及執行面訂立具體作法，以提升經營效率與效益。就新南向政策而言，則應確立彼此長期穩定互惠的機制，強化各靠泊航商與臺灣港群的連結，培養忠誠度，以避免未來航商出走的情況加劇。相關單位應及早掌握海運發展趨勢，研擬策略以維持既有之客源以及港埠競爭力，並思考本國港埠之未來定位，為臺灣港群找出新的出口。

6.2 後續研究方向

本研究之初步研究成果，已建構出一套策略規劃之海運指派模型，並能呈現合理之結果，而以本研究為基礎，未來可進一步研究之方向如下：

1. 提升海運網路資料完整度

因資料量龐大且數據蒐集費時，本研究僅考慮部分大型港口，其餘小型港口並未納入考慮，因此可能喪失精準度，建議未來能逐步擴大研究範圍，以提升模型預測能力與精確性。

2. 考慮航商佈署航線

本研究僅考慮貨物指派，以貨主角度為出發點。未來可引進航商的角色，考量其航線的配置與船舶的調度等行為，反映航商對海運網路流量分布的影響性。

3. 考慮其餘重要影響因子

本研究僅挑選主要的基本影響因子 (航行時間、成本等)建構模型，然海運網路決策行為影響因素眾多且複雜，易受外在環境 (如油價、航商聯盟、陸運時間與成本等)轉變而更動。未來可納入更多影響因子作為考量，思考與評估成本函數項目之增減，以擴大模型可調整的空間，並提升模型預測的全面性。

4. 考量規模經濟之效果

本模型中假設停靠港口之使用費與成本為一固定值，實際上，許多港口具規模經濟之特性，其興建之沉沒成本通常龐大且固定，當使用量越大時，會呈現平均成本隨之降低之規模經濟效益，後續可將平均成本隨使用量降低之效益納入衡量。

參考文獻

1. Ronen, D., "Cargo Ships Routing and Scheduling: Survey of Models and Problems", *European Journal of Operational Research*, Vol.12, No. 2, 1983, pp. 119-126.
2. Ronen, D., "Ship Scheduling: The Last Decade", *European Journal of Operational Research*, Vol.71, No. 3, 1993, pp. 325-333.
3. Christiansen, M., Fagerholt, K., and Ronen, D., "Ship Routing and Scheduling: Status and Perspectives", *Transportation Science*, Vol. 38, No. 1, 2004, pp. 1-18.
4. Christiansen, M., Fagerholt, K., Nygreen, B., and Ronen, D., "Ship Routing and Scheduling in the New Millennium", *European Journal of Operational Research*, Vol. 228, No. 3, 2013, pp. 467-483.
5. Choi, B. C., Lee, K., Leung, J. Y. T., Pinedo, M. L., and Briskorn, D., "Container Scheduling: Complexity and Algorithms", *Production and Operations Management*, Vol. 21, No. 1, 2012, pp. 115-128.
6. Qi, X. and Song, D. P., "Minimizing Fuel Emissions by Optimizing Vessel Schedules in Liner Shipping with Uncertain Port Times", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 48, No. 4, 2012, pp. 863-880.
7. Wang, S. and Meng, Q., "Robust Schedule Design for Liner Shipping Services", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 48, No. 6, 2012, pp. 1093-1106.
8. Wang, S., Meng, Q., and Liu, Z., "Containership Scheduling with Transit-Time-Sensitive Container Shipment Demand", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 54, 2013, pp. 68-83.
9. 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，民國86年，頁438-444。
10. 邱明琦、陳春益、林佐鼎，「海運貨櫃排程模式之研究」，運輸計劃季刊，第31卷，第3期，民國91年，頁495-522。
11. Meng, Q., Wang, S., Andersson, H., and Thun, K., "Containership Routing and Scheduling in Liner Shipping: Overview and Future Research Directions", *Transportation Science*, Vol.

- 48, No. 2, 2014, pp. 265-280.
12. Tavasszy, L., Minderhoud, M., Perrin, J. F., and Notteboom, T., "A Strategic Network Choice Model for Global Container Flows: Specification, Estimation and Application", *Journal of Transport Geography*, Vol. 19, No. 6, 2011, pp. 1163-1172.
 13. Frank, M. and Wolfe, P., "An Algorithm for Quadratic Programming", *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 3, No. 1-2, 1956, pp. 95-110.
 14. Kiefer, J., "Sequential Minimax Search for a Maximum", *Proceedings of the American Mathematical Society*, Vol. 4, No. 3, 1953, pp. 502-506.
 15. Lin, D. Y., "A Dual Variable Approximation-Based Descent Method for a Bi-level Continuous Dynamic Network Design Problem", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 26, No. 8, 2011, pp. 581-594.