

106-164-2302

MOTC-IOT-105-EDB001

由國際航運網路模型探討 臺灣港群之營運策略與未來發展



交通部運輸研究所

中華民國 106 年 11 月

106-164-2302

MOTC-IOT-105-EDB001

由國際航運網路模型探討 臺灣港群之營運策略與未來發展

著者：許書耕、賴威伸、許修豪、陳春益、戴輝煌、
李宇欣、李威勳、林東盈、黃冠玲

交通部運輸研究所

中華民國 106 年 11 月

ISBN 978-986-05-3856-4



9 789860 538564

GPN : 1010601767

定價 200 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

由國際航運網路模型探討臺灣港群之營運策略與未來發展 / 許書耕等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民 106. 11
面 ; 公分
ISBN 978-986-05-3856-4 (平裝)

由國際航運網路模型探討臺灣港群之營運策略與未來發展

著者：許書耕、賴威伸、許修豪、陳春益、戴輝煌、李宇欣、李威勳、林東盈、黃冠玲

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電話：(02)23496823

出版年月：中華民國 106 年 11 月

印刷者：承亞興圖文印刷有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 66 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：200 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號・電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號・電話：(04)22260330

GPN：1010601767

ISBN：978-986-05-3856-4 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：由國際航運網路模型探討臺灣港群之營運策略與未來發展			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-05-3856-4 (平裝)	政府出版品統一編號 1010601767	運輸研究所出版品編號 106-164-2302	計畫編號 105-EDB001
本所主辦單位：運輸工程組 主管：許書耕 計畫主持人：許書耕 研究人員：賴威伸、許修豪 聯絡電話：02-23496823 傳真號碼：02-25450427	合作研究單位：財團法人成大研究發展基金會 計畫主持人：林東盈 研究人員：陳春益、戴輝煌、李宇欣、李威勳、林東盈、黃冠玲 地址：701 臺南市大學路 1 號 聯絡電話：(06)2757575		研究期間 自 105 年 2 月 至 105 年 12 月
關鍵詞：海運網路；定期航運；貨櫃運輸；Frank Wolfe 演算法			
摘要： 近年來臺灣港群面臨進出口櫃量成長減緩及中國大陸與東南亞沿海港口快速建設與發展的競爭，對臺灣港埠之營運與發展造成衝擊。本計畫係透過國際航運網路模型的構建，評估不同的外在情境變化下，海運航線的未來可能發展趨勢，以協助交通部與航港管理機關瞭解潛在風險或契機，降低決策環境的不確定性，進而調整我國港埠營運及發展策略，俾利提升與鄰近港口之競爭力。 本所所建置的「國際海運資料庫」長期蒐集全球海運供給面之數據，搭配本計畫所發展之航運網路模型，在給定貨物需求量的情境下，校估符合實務營運之模型參數，藉以評估外部環境變化所造成航線改變，對我港埠可能的影響，以瞭解臺灣群港於全球海運網路之定位，適時研提我國港口發展策略，提升我國港群於亞太區域轉運之競爭力。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
106 年 11 月	166	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： ☐密 ☐機密 ☐極機密 ☐絕對機密 （解密條件：☐年 月 日解密，☐公布後解密，☐附件抽存後解密， ☐工作完成或會議終了時解密，☐另行檢討後辦理解密） ☒普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: A Strategic Network Model For Global Container Shipping Trends			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
ISBN 978-986-05-3856-4 (pbk.)	1010601767	106-164-2302	105-EDB001
DIVISION: Engineering Division DIVISION DIRECTOR: Shu-Keng Hsu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Shu-Keng Hsu PROJECT STAFF: Wei-Shen Lai, Hsiu-Hao Hsu PHONE: 886-2-23496823 FAX: 886-2-25450427			PROJECT PERIOD FROM February 2016 TO December 2016
RESEARCH AGENCY: NCKU Research & Development Foundation PRINCIPAL INVESTIGATOR: Dung-Ying Lin PROJECT STAFF: Chuen-Yih Chen, Hui-Huang Tai, Yusin Lee, Wei-Hsun Lee, Kuan-Ling Huang ADDRESS: 1 University Road, Tainan, Taiwan 701, R.O.C. PHONE: 886-6-2757575			
KEY WORDS: Marine Network, Linear Shipping, Container Transportation, Frank Wolfe Algorithm			
ABSTRACT: Shipping is the most important method for international trade. However, the maritime industry in Taiwan has grown at a slow pace in recent years and faced competition from China and ASEAN ports, which impacts the port operations and development of Taiwan. This paper aims to develop a strategic model to accommodate the changes in the liner shipping markets and evaluate the trends of shipping, and thus can help MOTC and relevant stakeholders to capture the risk or opportunities and then reduce the uncertainty for decision making. The model is calibrated using realistic data from the International Liner Shipping Database by the Institute of Transportation to improve the forecast accuracy. Then it is employed to evaluate the possible variations under various scenarios in future marine markets and the impact on global ports, so that the relevant authorities can figure out the position of Taiwan in the world and formulate proper policies to maintain the competitiveness of their own ports in the Asia-Pacific region.			
DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
November 2017	166	200	☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目錄

第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍.....	2
1.4 研究內容.....	2
1.5 研究流程.....	3
第二章 文獻回顧	7
2.1 海運相關研究回顧.....	7
2.2 定期航運與貨物指派研究回顧	8
2.3 小結.....	9
第三章 海運定期航線網路模型	11
3.1 模型基本架構.....	11
3.2 貨櫃指派數學模型.....	11
第四章 貨櫃指派演算法	19
4.1 Frank-Wolfe Algorithm 架構	19
4.2 全有全無指派 (All-or-Nothing Assignment)	22
4.3 黃金分割搜尋法 (Golden Section Search).....	22
第五章 貨物指派之模型驗證與校估	25
5.1 小型網路測試.....	25
5.2 資料蒐集與分析.....	35
5.3 實證分析.....	47
5.4 參數校估.....	54
第六章 情境分析	59
6.1 東協運量增加情境分析	59
6.2 巴拿馬運河拓寬.....	69
6.3 主航線泊靠港分散化.....	81
第七章 結論與建議	87
7.1 結論.....	87
7.2 建議.....	88

參考文獻

附錄 A：測試使用數據

附錄 B：國際海運資料數據

附錄 C：期中審查意見及辦理情形

附錄 D：期末審查意見及辦理情形

附錄 E：期末簡報

圖目錄

圖 1.1 海運模型研究流程圖	5
圖 1.2 五港口的海運網路	5
圖 3.1 港口成本構建方式示意圖	14
圖 4.1 Frank-Wolfe Algorithm 流程圖	21
圖 4.2 Golden Section Search 起始區間	23
圖 4.3 Golden Section Search 以黃金比例分割區間	23
圖 4.4 Golden Section Search 取代右端點	24
圖 4.5 Golden Section Search 取代左端點	24
圖 5.1 海運網路測試模型	25
圖 5.2 轉換停靠港口示意圖	27
圖 5.3 直達而不轉運示意圖	28
圖 5.4 直達改為轉運示意圖	29
圖 5.5 轉換轉運港口示意圖	30
圖 5.6 港口本身貨源不足示意圖	31
圖 5.7 港口轉運貨源不足示意圖	32
圖 5.8 提升港口貨源吸引轉運示意圖	33
圖 5.9 港口拓寬、船舶大型化後轉運示意圖	34
圖 5.10 貨源減少惡性循環示意圖	34
圖 5.11 G6 聯盟歐美航線在亞太區域佈署示意	45
圖 5.12 較小船型之靠泊模型	52
圖 5.13 大型船型之靠泊模型	53
圖 5.14 下沉方向演算法示意圖	54
圖 5.15 校估參數流程	57
圖 6.1 東協十國位置圖	60
圖 6.2 東協十國加三	61
圖 6.3 香港東方海外航運近洋航線圖例 1	63
圖 6.4 香港東方海外航運近洋航線圖例 2	63
圖 6.5 香港東方海外航運近洋航線圖例 3	64
圖 6.6 東協運量大幅增加對高雄港之衝擊	65
圖 6.7 東協貿易成長趨勢	66
圖 6.8 CKYHE 聯盟巴拿馬運河拓寬前後的高雄港航線佈署變化	70

圖 6.9 G6 聯盟巴拿馬運河拓寬前後的高雄港航線佈署變化	71
圖 6.10 巴拿馬運河拓寬後美西與美東航線配置示意圖	71
圖 6.11 供給面變動下航線流量分佈之變動	72
圖 6.12 巴拿馬運河對美東經濟腹地之變動	74
圖 6.13 巴拿馬運河拓寬前航線 NYE/NYE/SCE 之配置	75
圖 6.14 巴拿馬運河拓寬後航線 NYE/NYE/SCE 之配置	75
圖 6.15 巴拿馬運河拓寬後的航線可能變化情境	76
圖 6.16 巴拿馬運河拓寬後全球貨櫃航線配置示意圖	77
圖 6.17 美東貨源增加流向示意圖	77
圖 6.18 複合運輸模型與全水路模型經濟腹地競爭示意圖	78
圖 6.19 巴拿馬運河拓寬前後經濟腹地變化示意圖	79
圖 6.20 巴拿馬運河拓寬後全水路模型市占率變化示意圖	79
圖 6.21 巴拿馬運河與蘇伊士運河比較	80
圖 6.22 G6 聯盟重組前東/西向遠歐航線（2011 年 Q4）	82
圖 6.23 G6 聯盟東/西向遠歐航線（2015 年 Q4）	82
圖 6.24 G6 聯盟美西航線（2015 年 Q4）	83
圖 6.25 G6 聯盟東/西向美東航線（2015 年 Q4）	83

表目錄

表 1-1 進出口貨品運量(按運輸方式分).....	1
表 5-1 貨物指派結果(轉換停靠港口).....	26
表 5-2 貨物指派結果(直達而不轉運).....	27
表 5-3 貨物指派結果(直達改為轉運).....	28
表 5-4 貨物指派結果(港口貨源充足).....	29
表 5-5 貨物指派結果(港口本身貨源不足).....	30
表 5-6 貨物指派結果(港口轉運貨源不足).....	31
表 5-7 貨物指派結果(提升港口轉運貨源).....	32
表 5-8 貨物指派結果(港口拓寬、船舶大型化).....	33
表 5-9 模型所需資料.....	36
表 5-10 各年度 31 主要港口裝卸量(單位:TEU).....	37
表 5-11 各貨櫃港口相關成本與作業時間估算彙整表.....	40
表 5-12 亞太區域各貿易路線之航線資料統計(2015 年 12 月底).....	41
表 5-13 G6 聯盟各類歐美航線占全球該類航線之比例.....	42
表 5-14 G6 聯盟各歐美航線之航線資料(2015 年 12 月底).....	43
表 5-15 G6 聯盟各類歐美航線之航線資料統計.....	46
表 5-16 實際網路貨櫃流量指派結果.....	48
表 5-17 G6 聯盟歐美航線運能之比例與模型求解之航線流量.....	49
表 5-18 不同參數 α 值之指派結果.....	51
表 5-19 不同層級港口之總裝卸量變動率.....	53
表 5-20 大型研究港之轉運量變動量(單位:TEU).....	53
表 5-21 模型求解與實際值之平均誤差.....	56
表 6-1 東協 GDP 成長預測.....	60
表 6-2 東協主要港口貨櫃量與功能型態(單位:百萬 TEU).....	62
表 6-3 高雄港轉運量之變動.....	65
表 6-4 東協港口貨櫃運輸綜合成本比較.....	68
表 6-5 東向美東航線船型倍增情境下航線流量變動(單位:TEU).....	72
表 6-6 美東航線經濟腹地擴大情境下航線流量變動(單位:TEU).....	73
表 6-7 西向與東向美東之航線運量變動率(貨量充足下).....	75
表 6-8 G6 聯盟重組前/後西向遠歐航線之比較.....	81
表 6-9 集貨分散前後 G6 聯盟西向遠歐航線成本.....	84

第一章 緒論

1.1 研究動機

臺灣四面環海且位居亞洲交通要衝，為典型海島型國家，在優越地理位置的條件下海運相關產業發展蓬勃，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，占比達 99.06%（詳見表 1-1），由此可見海運運輸對我國產業發展之重要性。

表 1-1 進出口貨品運量(按運輸方式分)

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」

近年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，如欲鞏固高雄港樞紐地位唯有從提升轉口櫃量著手；而為爭取轉口櫃量，則需積極投入與鄰近港埠的競逐，俾能在亞太航運網路上保持既有地位。受船舶大型化及運能過剩影響影響，全球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，並結合支線的軸幅式網路(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，或受國際間運河擴建及開通計畫影響等。實務上，定期航線規劃時多綜合考量停靠港貨櫃流量、港埠分佈狀況、港口設備條件、港埠費率與效率等因素。

欲探討不同的外在情境變化下對於海運航線的影響，藉由發展航運網路模型，可量化評估外部環境變化所造成航線改變對我港埠可能的影響，進而了解臺灣群港於世界海運網路之定位，協助我國相關單位適時研擬因應策略，以維持並增進我國港群於亞太區域轉運之競爭力。

1.2 研究目的

港口是否能吸引航線靠泊之因素複雜，除了水深、腹地、港埠設備、內陸運輸等硬體設施外，港口營運管理效率、貨櫃流量是否足以形成規模經濟等軟體設施更是重要考量因素，港埠營運單位若無法提出合理的前景預測，即無法評估各項策略的風險及報酬，而無法形成最佳決策。

本計畫主要目的係透過國際航運網路模型的構建，在不同的外在情境變化下，預估海運航線的未來趨勢，以協助交通部暨部屬機關瞭解潛在風險或契機，降低決策環境的不確定性，進而制定港埠營運及發展策略加以因應。本計畫藉由輸入貨物需求，搭配本所「國際海運資料庫」長期蒐集之供給數據，校估符合航商營運特性之模型參數。其次藉由本模型之應用，評估外部環境變化（如：新航線開闢、運河開通、貨物需求變化）所造成貨主選擇航線之行為改變，對我港埠可能的影響，以適時研提我國港口發展策略，提升我國港群於亞太區域轉運之競爭力。

1.3 研究範圍

本計畫用以描述亞太區域主要海運貨櫃流向，並以 31 重要港口為標的。而所進行的貨物指派乃在已給定之現存與潛在航線網路下，分析貨物流向以及各港櫃量，瞭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。並以實際裝卸量與模型求解之差異進行參數之校估，其中本研究之校估裝卸量僅包含 31 個研究港間之貨櫃量，透過計算各港裝卸量中與其餘 30 港往來之貨物的占比，以此比例估算各港的調整後之裝卸量，而能用以進行校估。由於本計畫為一長期策略性規劃(Strategic Planning)之研究，因而以巨觀分析為主，簡化港口營運作業，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 研究內容

本計畫旨在建立一貨櫃定期航線網路模型，用以評估及預測在外在環境改變時，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，本計畫蒐集分析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網路模型，並以現況資料進行模型校估及驗證。本計畫之研究內容，簡述如下：

1. 貨運起訖量資料蒐集與分析

本計畫蒐集全球主要貨櫃起訖點需求量，藉由主要國際貿易資料庫，分析定期航線起訖點貨櫃量，作為後續網路模型驗證之輸入資料。

2. 亞太區域定期海運網路之建立

針對運研所「國際海運資料庫」蒐集的亞太區域主要港口的實際航線資料，建立連結亞太重要貨櫃貿易路線為核心之定期航運網路模型。

3. 網路最佳化技術之發展與設計

本計畫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，藉此了解網路之中貨櫃流量，並作為政策、情境分析之工具。

4. 情境分析

本計畫進行多項情境分析，分別探討東協運量增加、巴拿馬運河拓寬、主航線靠泊港分散化等變動對我國港口之影響，以供後續相關單位研提相關政策之參考。

1.5 研究流程

本計畫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。本研究流程如圖 1.1 所示，說明如下：

1. 建構現行與潛在航線網路

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訖點對的貨櫃需求量，建構出基本海運網路模型。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 1.2 所示），因而能將所有可能航線於模型中完整考量。

2. 校估航線與港口之成本參數

在所建構的海運模型下，本研究擬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，採用最佳化技術中的下沉方向搜尋法(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之求解。

3. 貨櫃指派模型

貨主之航線選擇雖然短期之航線選擇受航商航線規劃之影響，但長期來說為一自利且不合作(Selfish and Non-Cooperative)之行為，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。故本計畫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下時則停止運算，否則重複進行校估與指派流程。

5. 情境分析

當達到收斂門檻時，表示目前模型之預測港口貨櫃流量（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，本研究進行不同情境分析，包括東協運量增加、巴拿馬運河拓寬、主航線靠泊港分散化等，以利後續相關政策發展與分析。

6. 研提結論與建議

藉由模型之建立與不同的情境分析，據以研提結論與建議，以評估外部環境變化對我港埠可能的影響，並協助相關機關研擬我國港口發展策略。

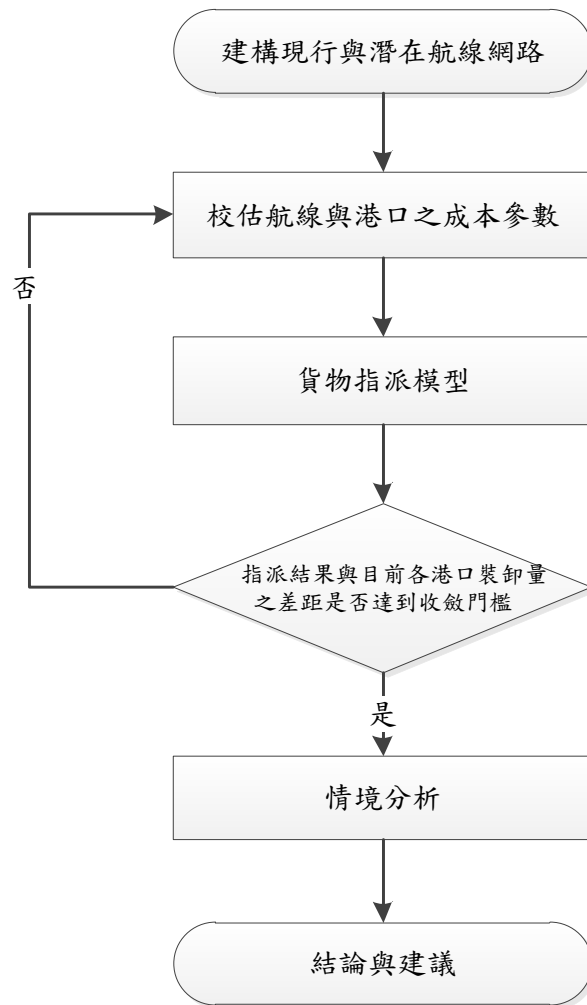


圖 1.1 海運模型研究流程圖

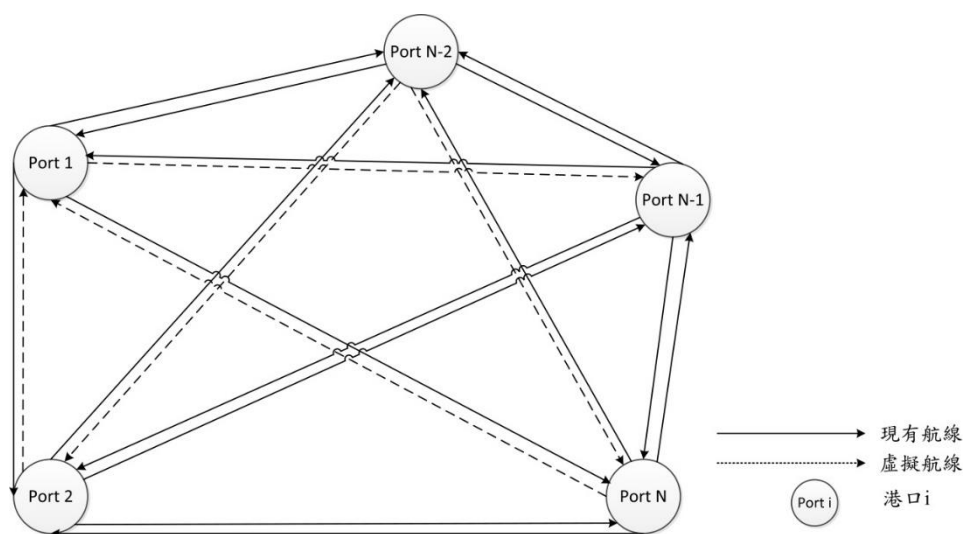


圖 1.2 五港口的海運網路

第二章 文獻回顧

2.1 海運相關研究回顧

海運業船舶與貨物指派相關研究之重要文獻包括 Ronen (1983)、Ronen (1993)、Christiansen et al. (2004)以及 Christiansen et al. (2013)，概述如下：

Ronen (1983)回顧了 1980 年之前相關研究，將此海運相關研究大致分為運輸模型(Baumol et al., 1958, Naslund, 1970)、定期航運(Olson et al., 1969)、不定期航運、產業應用(Flood, 1954, Laderman et al., 1966, Rao et al., 1968, McKay et al., 1974) 與其他。伴隨此研究之後，Ronen (1993)回顧了 1980 到 1990 年代船舶排程與排班問題，然而在這段期間，海運相關研究仍未顯著增加，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(Koenigsberg et al., 1980, Larson, 1988, Rana et al., 1988)、貨物指派(Miller, 1987, Trudeau et al., 1992) 及最佳航速(Ronen, 1982, Brown et al., 1987)。

Christiansen et al. (2004)回顧 1990 至到 2000 年此領域相關研究，發現新趨勢包括航商合作(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 et al. (2013)與 Meng et al. (2014)所發表的研究。於 Christiansen et al. (2013)研究之中，將定期航運細分為網路設計(Agarwal et al., 2008)及船隊部署(Gelareh et al., 2010)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(Hoff et al., 2010)、貨物指派與排程(Al-Khayyal et al., 2007)、供應鏈管理(Andersson et al., 2010)等相關問題；此時期的熱門研究議題包括航速規劃(Andersson et al., 2010)、船舶加油(Kim et al., 2012)、離岸物流(Shyshou et al., 2010) 與船舶分裝減重(Huang et al., 2006) 等議題。

近年由於經濟不景氣、船舶大型化等因素影響，許多大型航商策略聯盟行程，策略聯盟成為航商重要競爭策略之一(Ryoo et al., 1999)，因此亦有許多文獻探討航商合作與策略聯盟之議題。Evangelista et al. (1999)分析主要航商策略聯盟，發現策略聯盟能夠改善內部營運效率並提供託運人更好的物流服務。Evangelista et al. (2000)分析不同型態的航商合作，並找出各種合作型態之中航商的策略行為。Slack et al. (2002)研究主要航商所組成的策略聯盟，並探討聯盟對全球貨櫃運輸之影響，結果顯示強化服務與大型船隊之部署為策略聯盟形成之後之趨勢。Song et al. (2002)應用合作賽局理論分析航商策略聯盟，進而了解策略

聯盟中組織間的關係與航商的決策行為。由於選定策略聯盟的合作航商為困難之任務，Ding et al. (2005)發展了模糊多目標決策(Fuzzy Multiple Criteria Decision-Making)方法，以使策略聯盟成員能夠更有效率地選擇適合的合作夥伴。

Chang et al. (2008)提出航商策略聯盟或者合作時常用的策略為艙位交換(Slot Exchange)，參與的航商利用剩餘的容量與合作夥伴交換艙位以降低成本乃至提昇服務品質。Agarwal et al. (2010)探討策略聯盟中戰略規劃層級之網路設計(Tactical Network Design)與營運規劃層級之服務網路整合(Operational Service Network Integration)問題，並利用賽局理論找出參與之航商最佳的合作策略。Panayides et al. (2011)整理了全球航商策略聯盟之架構並分析主要的策略聯盟（例如：Grand Alliance, New World Alliance 以及 CKYH 等），找出不同策略聯盟之相同與相異之處，最後評估不同聯盟合作的穩定性。

2.2 定期航運與貨物指派研究回顧

定期航運為近年學術與實務界重要的研究課題，Agarwal et al. (2008) 研究船舶排程與貨物指派的整合最佳化問題，該研究發展貪婪式解法(Greedy Heuristic)、變數產生法(Column Generation)與 Benders 分解法(Benders Decomposition)求解此問題；Yan et al. (2009) 研究短期船舶排程與貨櫃規劃問題，並提出一個拉氏鬆弛法為基礎之啟發式演算法(Lagrangian Relaxation Based Heuristic)求解該問題；Choi et al. (2012)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 et al. (2012) 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，於該研究之中港口的服務效率與班表頻率需求為隨機不確定之因素；Wang et al. (2012) 提出一個強健數學模式(Robust Formulation)，能使定期航商在排班時能夠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)來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 et al. (2013) 則研究在轉運時間影響需求的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。Brouer et al. (2013)則提出定期航運最佳網路設計之整數規劃模式，並以 Maersk Line 為基礎建立標竿測試庫，以供後續研究使用。

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，陳春益 et al. (1997) 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。盧華安 (2000)整理實務界航線規劃之程序：全球及區域經貿發展分析、航運市場調查與分析、決定開闢新航線或調整舊航線、決定航線服務範圍、航線靠港分析、航線可行性分析、船隊調配及船期安排等步驟，此規劃流程實質上含括了航線靠港分析、船隊部署、貨櫃運量及流向分析及船期安排等規劃營運細節。定期貨櫃航商為求掌握既有市場貨源進而開發新市場，需提供長期且穩定之航線與船隊服務，以獲取託運人之肯定與信賴，盧華安 et al. (2001) 構建一航線選擇及船隊部署最佳化模式，據以建構航線選擇(Route Selection)與船隊部署(Fleet Deployment)之最佳化模式，該模式為一混合整數規劃(Mixed Integer Programming)問題，但在鬆放貨櫃變數之整數性後，整數變數之數目大幅減少，並以最佳化軟體直接求解此問題。

謝尚行 et al. (2001)以軸幅式(Hub-and-Spoke)運輸網路為基礎，構建一個以路網總運送成本最小化為目標之「海運軸輻路網模式」，所形成的數學模式為二次指派(Quadratic Assignment)的整數規劃模式，可簡化為一個線性整數規劃模式，並以越太平洋航線為例，說明航商如何運用海運軸輻路網模式以規劃其船隊之航線。邱明琦 et al. (2002)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，模式中又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，但定期航班網路設計，特別是考慮港口相關運作研究仍屬少數。航商或者貨主選擇港口或者貨物運送路徑必須考慮極多因素，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(Murphy et al., 1992, Murphy et al., 1994, Tiwari et al., 2003, Malchow et al., 2004, Song et al., 2004, Guy et al., 2006)，由於牽涉層面極廣，因此目前非單一研究可完整描述。此外，由於海運具有高度不確定性、缺乏系統性分析、市場變化性大，故海運研究複雜且進入門檻頗高(Ronen, 1983)。有鑑於此，為了能夠分析海運特性，海運相關研究通常分為三個階層：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 Booking)與船舶排程(Ship Routing And Rescheduling)(Meng et al., 2014)。三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，因此本計畫將聚焦於策略規劃層級。目前已有學者研究策略規劃問題，例如 Tavasszy et al. (2011)提出一策略規劃網路模型預估全球海運貨櫃流向，以羅吉特(Logit Model)模型為基礎指派貨物，惟其模型有路徑窮舉、未考慮擁擠因素、未考慮海運網路均衡行為等弱點。因此本計畫將嘗試構建國際航運網路模型，解決現有研究之限制，用以分析亞太航運網絡轉變對我國港口之可能影響，進而研擬我國港埠未來的發展方向。

第三章 海運定期航線網路模型

3.1 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，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，而能分析所有潛在可能的營運模型，其中，虛擬航線之容量與相關成本以現存之航線平均值作計算。

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。

2. 節線（航線）

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。

3.2 貨櫃指派數學模型

在建構的海運網路之中，本研究根據 Wardrop (1952) 提出的 Wardrop 第一準則(Wardrop's First Principle)，應用使用者均衡的概念進行貨櫃流量指派，當達到均衡狀態時，代表各航段之流量不再出現移轉之情況。其主要基於自利原則，網路中的使用者之決策行為被視為是自私的，於是選擇貨物路徑時，僅考量自身的一般化成本，而不考量該選擇對其他使用者之影響，此定義貼合實際貨主選擇行為。長期而言，貨主會選擇對自己最有利之貨物運送路線，當發現時間、成本等因素不符合預期，或有其他更佳的路線選擇時，則會轉換運送路線，而貨主間的選擇行為由於共用網路節線（航線）與節點（港口）又會互相影響，各航段流量的改變將導致航網上的運送成本不斷變動，促使貨主隨之而又更改航線選擇，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。故本模型主要採用使用者均衡原則，以能呈現貨主真實的路徑選擇行為，並以 Beckmann et al. (1956) 建構出的數學規劃模型為基礎建構模型，另將航網成本分成運輸成本與港口成本兩部分，該成本函數型態將影響託運人的路徑選擇。

1. 研究假設

由於海運系統運作影響因素多樣而複雜，為能進一步的鎖定在本計畫所研究的核心問題上，故計畫中導入以下假設：

(1) OD 量為外在因子

在本計畫之模型中，假設起訖點間的流量已知而固定，且不隨時間而變動。此外；本計畫以國際間海運貿易為主，而不考慮國內貿易，亦即屬於同一國內之港口間的流量於本計畫中排除。

(2) 節線容量為外在因子

以每年航商投入在各航線上之運能作為節線容量，其與航商部屬之船舶大小、船隊規模、班表提供服務頻率等相關。本計畫由運研所的國際海運資料庫獲取相關之運能資料。

(3) 港口容量

在本模式中，港口容量為一輸入的資料。由於其值受許多經營與政策等因素所影響而難以量測，為簡化模型，本計畫假設各港口容量為其平均每年裝卸量之 1.2 倍以作為估計值，此倍數並不會造成結果差異，可透過港口成本函數中之參數調整而吸收其效果。

(4) 港口的擁擠效果

在本計畫中，我們視港口擁擠因素為影響路線成本的關鍵因素。隨著全球貿易量的增長，大量的貨櫃與大型船舶加重港口運作的負荷，若港口不具足夠的容量或設備，將無法有效率地處理靠泊、裝卸等作業，導致擁擠的情況發生，因而需花費更多的時間與成本進項相關的港口作業。因此，在本計畫之模型中，我們提出能反映擁擠效果之成本函數，以增進模式反映真實情況之能力。

(5) 考慮乘載率

隨著船舶日益大型化之趨勢，船舶運能大幅提升，必須擁有更多貨源以提升乘載率並達到經濟規模，以降低單位成本。故航商多藉由調整派遣的方式與航行路線以試圖能承載更多貨物，尤其在現今運能過剩的情況下，乘載率對航商而言為一重要的影響因素。因此在本計畫之模型中提出一節線成本函數用以計算兩港間各航段的行駛成本，並藉由乘載率來反映航商對路徑選擇的影響性，當路線之乘載率提高時將能降低單位運輸成本，進而影響運費與貨主之選擇。若模型中忽略乘載率之影響，將導致所有貨物流量皆選擇使用最快速的直達路徑，不靠泊轉運港進行集貨之行為，而與現實情況有所出入。

(6) 流量非整數性

在本計畫提出的模型中，並未限制流量為整數，因此非整數之流量解可被接受。由於本計畫屬於長期性的策略計畫模型，故非整數之流量並不會造成研究上之限制，同時可藉由四捨五入將其值進位，而不影響整體之預測結果。

以前述之問題的定義與假設為基礎，以下將介紹本計畫模型所需用到的數學符號，並進一步呈現模型的架構。

2. 符號說明

集合

P :	港口之集合
A :	航線之集合
I	航段之集合
R :	貨物起站之集合
S :	貨物訖站之集合
K :	連結起訖對 $r-s$ 之所有路徑的集合， $r \in R \ s \in S$

參數

μ_C :	擁擠效果之參數
μ_{LF} :	乘載率效果之參數
α, β, γ :	港口轉運時間參數，當港口越擁擠時，使用該港口時間將大幅成長，參數 α, β 必須反映此擁擠情形，設計之概念類似公路交通之 BPR (Bureau of Public Roads)函數。 γ 為乘載率效果之參數。
VOT :	時間價值，可參考 Tavasszy et al. (2011) 之數值作為估算，單位時間之運輸成本全球平均值約為 100 美金/TEU/日。
c_p :	停靠港口 p 的使用費與處理費
t_p^f :	港口 p 轉運的平均時間
t_l^f :	行駛於航線 l 所花費的平均時間
V_p :	港口 p 之容量，以該港裝卸量的 1.2 倍做計算
V_l :	航線 l 上投入的總運能
q_{rs} :	起訖對 $r-s$ 間的流量總和

決策變數

x_p :	於港口 p 轉運的貨櫃流量
x_l :	於航線 l 運送的貨櫃流量
c_r :	路徑 r 之成本

f_k^{rs} : 包含起訖對 $r-s$ 之路徑 k 上的貨物流量

$\delta_{a,k}^{rs}$: 二元變數，若路段 a 屬於起訖對 $r-s$ 之間路徑 k ，則為 1，反之，則為 0。

3. 成本函數

(1) 港口（節點）成本

近年來船舶逐漸大型化，然而當各國際港口與碼頭之基礎設備尚未升級以因應此趨勢，將難以負荷大型船舶停靠與大量貨物之裝卸，進而造成貨物延遲並增加運送貨櫃之成本。因此於本模型中，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（如圖 3.1），並建構兩點間之節線以能在網路中呈現港口成本 C_p 。

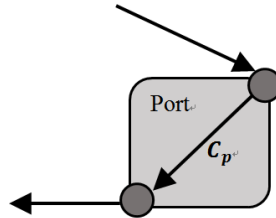


圖 3.1 港口成本構建方式示意圖

此外，由於本計畫為一巨觀之策略模型，因此適度簡化港口營運作業，並考量行經港口之兩項主要成本，包含單位貨櫃使用該港的費用 (c_{PC}) 以及於碼頭處理之費用 (c_{THC})，其中為簡化船型因素之影響，港口使用費以平均船型之使用費分攤至平均裝載之貨櫃量作計算，而兩項費用與使用該港口之貨櫃總量 x_p 相乘並加總後，即為靠泊港口之總成本。並考慮轉運時間成本，令港口成本受擁擠因素效果之影響，以貨櫃流量 x_p 與港口容量 V_p 之比 $\frac{x_p}{V_p}$ 衡量港口的擁擠的程度，其值隨著使用該港貨櫃量成長而增加，並以 α 、 β 調整擁擠效果對總成本之影響性，而能藉此將擁擠現象納入模型，並透過 VOT 將時間單位轉換為貨幣價值以能計算其成本。函數型態如下，其中，參數 μ_C 、 α 與 β 之值必須進行校估，將於後續章節將作進一步的說明。

$$C_p(x_p) = x_p \times c_{PC} + x_p \times c_{THC} + \mu_C \times VOT \times t_p^f \left[1 + \alpha \left(\frac{x_p}{V_p} \right)^\beta \right]$$

(2) 航線（節線）成本

船舶行經各航線時，隨著各港間的行駛距離不同所需付出的時間成本也不同，透過兩港間之距離除以航速而能計算出於航段 l 所需花費的旅行時間 t_l^f ，並同

樣以VOT將時間單位轉換為貨幣價值。於本計畫中，為建立可使用之海運網路模型雛形，採用平均船速計算兩港間的行駛時間。此外，我們亦考慮乘載率對航線成本之影響性，當一航線之乘載率越低則使其單位運輸成本較高，將減少航商使用之意願(甚至被淘汰)，因此進而減少貨主選擇該航線。函數型態如下所示， $\frac{V_l - x_l}{V_l}$ 代表乘載率降低航行成本之大小，當乘載率提升時將使行駛該航段之成本減少。同樣的，於函數中設定參數 μ_{LF} 以及 γ ，用以調整乘載率對成本降低之效果，後須章節亦將針對此兩參數進行校估。

$$C_l(x_l) = VOT \times t_l^f + \mu_{LF} \times \left(\frac{V_l - x_l}{V_l} \right)^\gamma$$

4. 使用者均衡模型

當交通網路達到均衡狀態時，代表各路段之流量不再出現移轉之情況，Wardrop (1952)首先對使用者均衡作出明確之定義，並提出 Wardrop 第一準則 (Wardrop's First Principle)：

「對任一起迄點而言，當網路達到使用者均衡時，所有被使用的路徑，其旅行成本皆相同，而且小於或等於其他未被使用路徑的旅行成本。」

其假設道路資訊已知的情況下，所有用路人皆以最大化自身利益為目標，而不與其他人協調合作，並能精確地做出正確的決定。而當達到均衡狀態下，各路徑與路段上之流量不再改變，任何用路人皆無法經由單方面地改變路徑來降低其旅行時間。

根據此定義下，Beckmann et al. (1956)建構出 Wardrop 第一準則之數學規劃模型，將網路均衡問題轉為一數學規劃問題。本研究以該模型為基礎，利用非線性規劃建構海運網路指派模型，透過此數學模型找出均衡的解，以反映現實網路上的貨櫃流量分布情形。

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

Subject to

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

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

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

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(2)：

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

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 第一準則。

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：

(1) 由於限制式皆為線性，故其可行解空間區為 convex。

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

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

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

$$\nabla^2 Z(x) \equiv \begin{bmatrix} \frac{dt_1(x_1)}{dx_1} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \frac{dt_m(x_m)}{dx_m} \end{bmatrix} \quad (16)$$

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。

第四章 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，以下敘述此類型之一的 Frank-Wolfe Algorithm，而此演算法需搭配 All-or-Nothing Assignment 以及 Golden Section Search 進行貨物指派求解，各演算法分述如下。

4.1 Frank-Wolfe Algorithm 架構

針對凸型非線性的最佳化問題，Frank-Wolfe Algorithm 為常用解法之一，該演算法基本概念為在每次運算時尋找可行的方向進行改善，並保持解於可行解區間內(Frank et al., 1956)。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，而找出一輔助變數(Auxiliary Variable)以得到改善目標值之方向，在該方向下透過 Golden Section Search 計算出最佳的移動步幅，並由目前的解依改善的方向移動到下一個解，上述步驟重複直到達收斂條件時終止。將 Frank-Wolfe algorithm 的概念應用於貨櫃指派問題，流程如下：

1. 步驟 1：初始化

令運算次數的初始值為 $n \leftarrow 0$ ，初始網路為空網路且無任何貨櫃流量，亦即所有節線 i 流量令為 $x_i^0 = 0$ ，並設定網路成本 $c_i = c_i(x_i^0)$ 。根據一般化節線成本 c_i ，透過全有全無指派將所有貨櫃流量指派至海運網路中的最短路徑，以獲得起始解 x_i^1 ，並將演算次數增加一次 $n \leftarrow n + 1$ 。

2. 步驟 2：更新一般化節線成本

根據新流量 x_i^n ，而更新節線成本為 $c_i = c_i(x_i^n)$ 。

3. 步驟 3：決定改善方向

令 y_i 為輔助性變數，用以決定改善方向。以 Beckmann et al. (1956) 建構出之數學規劃模型為基礎，並根據 Sheffi (1985) 之研究，令 g_k^{rs} 為路徑 r, s 的輔助變數，在節線成本 c_i 固定已知且不隨流量改變下，透過求解(17)-(20)以決定出最佳的輔助性變數 y_i ，由於節線成本在此模型之中與流量無關，因此可利用全有全無指派（詳述於 0），將貨櫃流量指派至最短路徑求解之。

$$\text{Min} \sum_a c_i y_i \quad (17)$$

Subject to

$$\sum_k g_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall r, s \quad (18)$$

$$g_k^{rs} \geq 0 \quad \forall r, s, k \quad (19)$$

$$y_i = \sum_r \sum_s \sum_k g_k^{rs} \cdot \delta_{i,k}^{rs} \quad \forall i \in I \quad (20)$$

4. 步驟 4：決定步幅 α^n

透過步驟 3 找到改善方向 $y_i - x_i^n$ 後，需決定出最佳移動步幅，可透過以下模型求得最佳移動步幅：

$$\text{Min} \quad Z[x_i^n + \alpha^n(y_i - x_i^n)] = \sum_i \int_0^{x_i^n + \alpha^n(y_i - x_i^n)} c_i(\theta) d\theta \quad (21)$$

Subject to

$$0 \leq \alpha^n \leq 1 \quad (22)$$

而針對上述單變數之連續凸函數，可以透過黃金分割搜尋法(Golden Section Search Method)來找到最佳值 α^n ，此搜尋法將詳述於 0。

5. 步驟 5：更新節線流量

根據前兩步驟所找到的改善方向與移動步幅，能獲得新節線流量 x_i^{n+1} ：

$$x_i^{n+1} = x_i^n + \alpha^n(y_i - x_i^n) \quad (23)$$

6. 步驟 6：收斂測試

令 ε 為一設定之收斂門檻值，當 $\frac{\sqrt{\sum_i (x_i^{n+1} - x_i^n)^2}}{\sum_i x_i^n} \leq \varepsilon$ ，演算法終止，目前求得的解為最佳解。反之，若 $\frac{\sqrt{\sum_i (x_i^{n+1} - x_i^n)^2}}{\sum_i x_i^n} > \varepsilon$ 則回到步驟 2 重複迭代運算，直到其達到收斂門檻值才停止。

彙整上述步驟，Frank-Wolfe algorithm 演算流程如圖 4.1 所示：

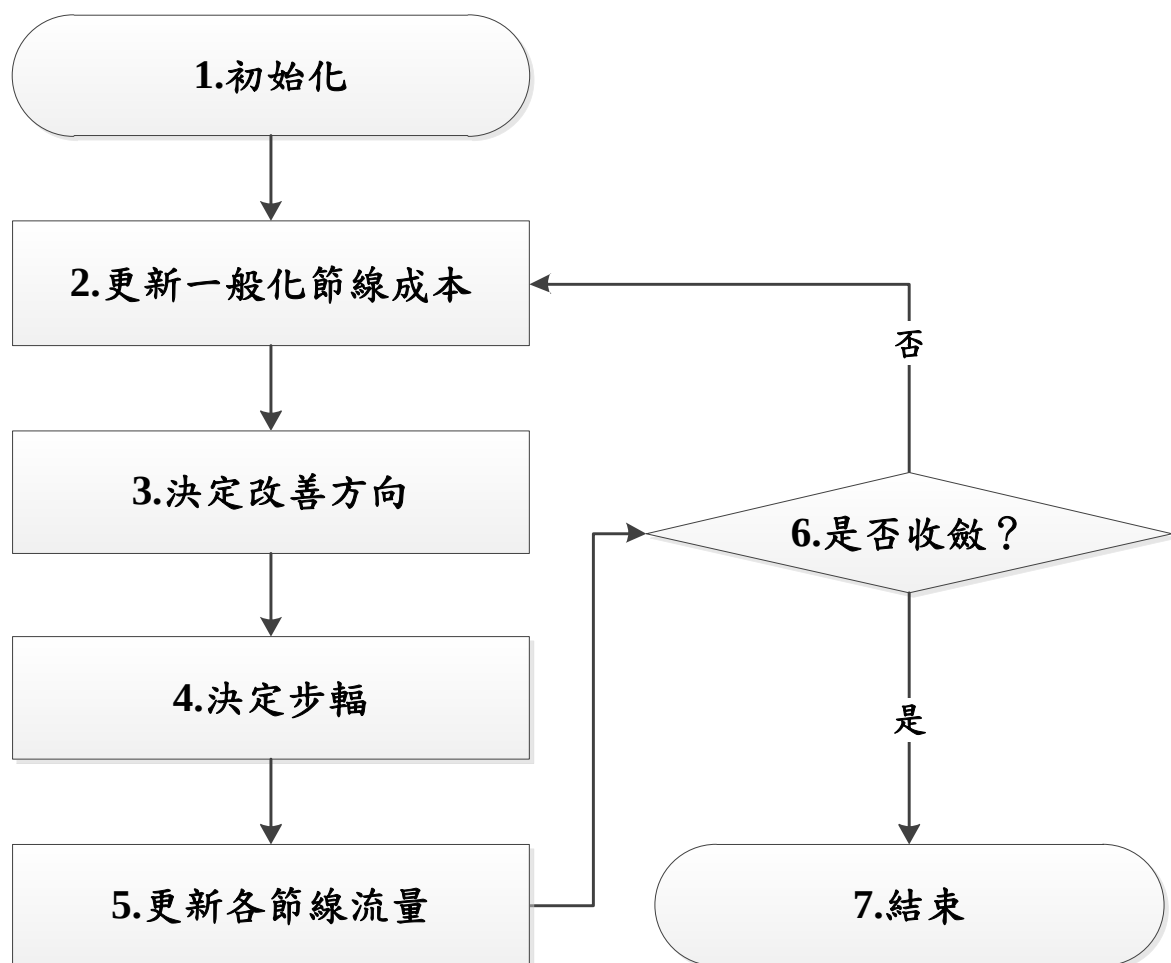


圖 4.1 Frank-Wolfe Algorithm 流程圖

4.2 全有全無指派 (All-or-Nothing Assignment)

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

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

步驟詳述如下：

1. 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。

2. 步驟 2：決定最佳路徑

令迭代次數 $n \leftarrow n + 1$ ，起訖對 (r, s) 間，利用最短路徑演算法找出最佳路徑。

3. 步驟 3：更新路段流量

將起訖對 (r, s) 間的所有流量指派至第三步驟所求得之路徑上。若路段 a 屬於最佳路徑，則 $x_i^n = x_i^{n-1} + q_{rs}$ 。

4. 步驟 4：檢驗終止條件

若所有具流量的起訖對 (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 (Golden Section Search)

此演算法最早由 Kiefer (1953)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。Golden Section Search 透過分割原搜尋範圍而建立更為狹窄之區間，而能有效地縮小搜尋範圍，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，直到區間兩端點之值收斂至一定門檻下時而終止。

演算步驟如下所示（以求解最小化問題為例）：

1. 步驟 1：決定起始區間

決定起始區間 $[x_a, x_b]$ 時，需考慮函數 $Z(x)$ 在區間 $[a, b]$ 連續且為單峰，亦即在區間 $[x_a, x_b]$ 內有一極值，如圖 4.2 所示。

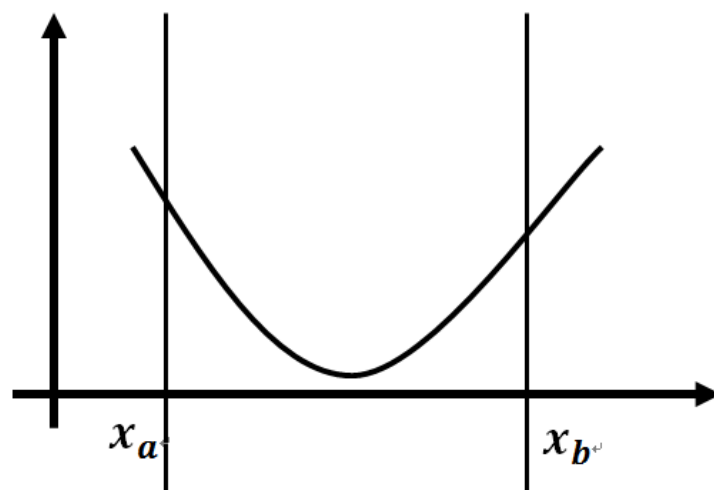


圖 4.2 Golden Section Search 起始區間

2. 步驟 2：以黃金比例分割區間

依據黃金比例(0.382:0.618)計算區間內之兩中間點 $[x'_a, x'_b]$ （如圖 4.3），計算方式如下：

$$x'_a = x_a + 0.382(x_b - x_a)$$

$$x'_b = x_a + 0.618(x_b - x_a)$$

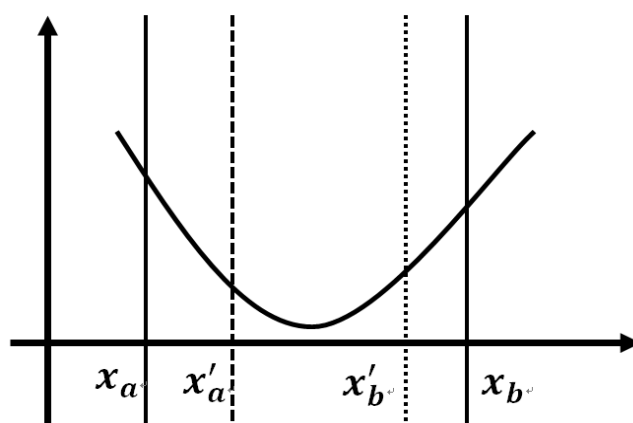


圖 4.3 Golden Section Search 以黃金比例分割區間

3. 步驟 3：縮小搜尋範圍

根據目標值更新搜尋區間，其原則如下：

若 $Z(x'_a) > Z(x'_b)$ ，代表極值不存在於 $[x_a, x'_a]$ 之間，因此移除左端點 x_a ，將其取代為 x'_a 而能縮小搜尋範圍，得新區間 $[x'_a, x_b]$ ，如圖 4.4 所示。

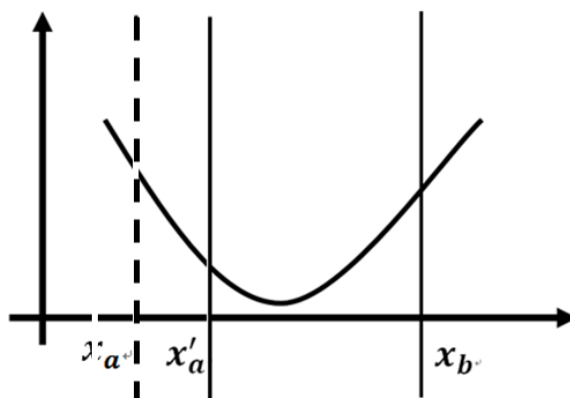


圖 4.4 Golden Section Search 取代左端點

反之，若 $Z(x'_a) < Z(x'_b)$ 則代表極值不存在於 $[x'_b, x_b]$ 之間，因此移除右端點 x_b ，將其改為 x'_b ，得新區間 $[x_a, x'_b]$ ，如圖 4.5 所示。

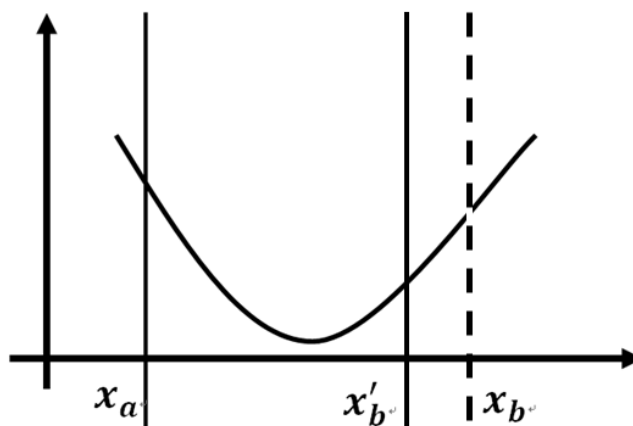


圖 4.5 Golden Section Search 取代右端點

4. 步驟 4：收斂測試

設定收斂門檻 ε ，當兩端點之差值小於門檻值時則停止演算，否則回到步驟 2 重複進行演算。

第五章 貨物指派之模型驗證與校估

5.1 小型網路測試

本研究使用建構出的網路模型，對港口擁擠效果、航線乘載率等因子之影響進行貨櫃指派之測試。透過一小型的網路，期能觀察模式之求解與參數之影響，並根據路網上航線，分析此海運模型能否隨不同情境變動而改變其均衡指派之結果，藉以衡量此模型之適用性。

假設一具有十個港口的海運網路（如圖 5.1 中港口 A, B, C,...等），利用網路構建技巧將每個港口均拆為兩個節點，分別代表進口與出口，其中港口 E、F 為大型轉運港口，令其容量分別為 3,000 與 4,000 單位，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其貨物流量分配之結果。各情境之測試模型 OD 流量與網路資料詳見附錄 A。後續測試圖示中，虛線表示貨櫃指派初期之結果，實線則表示最後收斂之結果。

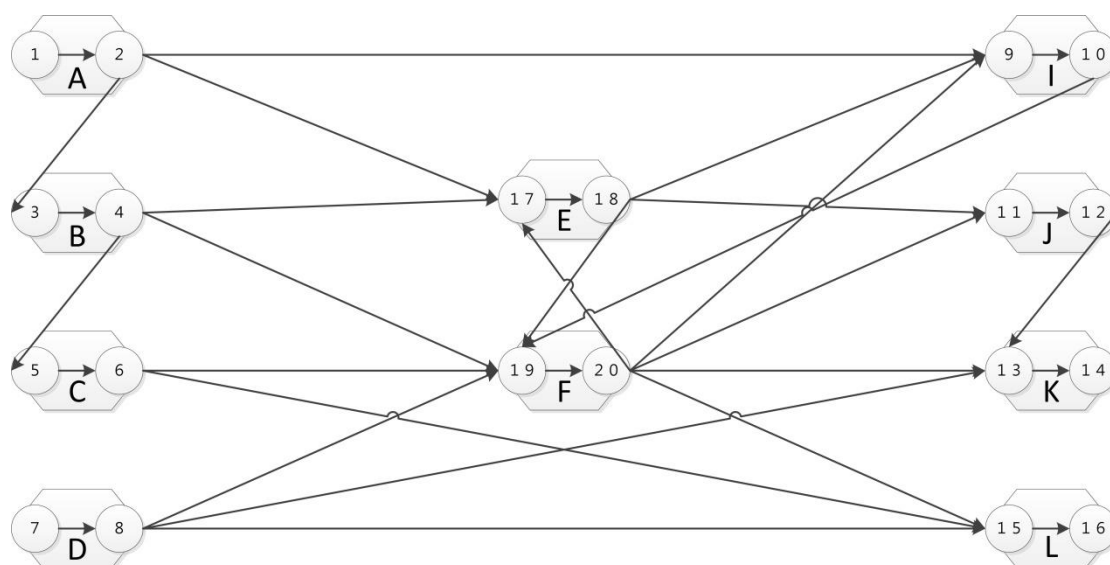


圖 5.1 海運網路測試模型

1. 情境分析 1：擁擠效果大 ($\mu_C = 100$ $\mu_{LF} = 1$)

此情境為考慮港口擁擠效果影響較大的情況下之流量分布情形，由模型結果中可觀察到兩個現象：(1)港口擁擠影響轉運港口之選擇、(2)港口擁擠程度影響直達與轉運之選擇，分述如下：

(1)港口擁擠影響轉運港口之選擇

首先觀察起訖對港口 A 及港口為 F 間，由 A 到 F 運送的流量為 200。透過模型經第一回指派後之路徑為 A-B-F (2-3-4-19-20)，然而由於 B 港較為擁擠，轉運成本較大，模型逐漸修正流量，如同貨主轉換路徑選擇以降低成本之過程，故最後均衡結果如表 5-1，A 到 F 流量轉換為經由 I 港與 E 港進行轉運而送達 F 點（如圖 5.2 所示）。

表 5-1 貨物指派結果(轉換停靠港口)

From	To	Iteration0	Iteration1	Iteration2	Iteration3	.....	Itration9
2	9	200.00	200.00	330.90	236.41	.....	236.03
2	17	1,000.00	1,199.99	1,069.10	1,163.59	.....	1,163.97
2	3	300.00	100.01	100.00	100.00	.....	100.00
3	4	2,400.00	2,200.01	2,200.00	2,200.00	.....	2,200.00
4	19	800.00	900.00	703.65	628.83	.....	629.40
17	18	2,200.00	2,399.99	2,269.10	2,363.59	.....	2,363.97
18	19	0.00	199.99	69.10	163.59	.....	163.97
19	20	3,100.00	3,399.99	3,203.64	3,128.83	.....	3,129.40

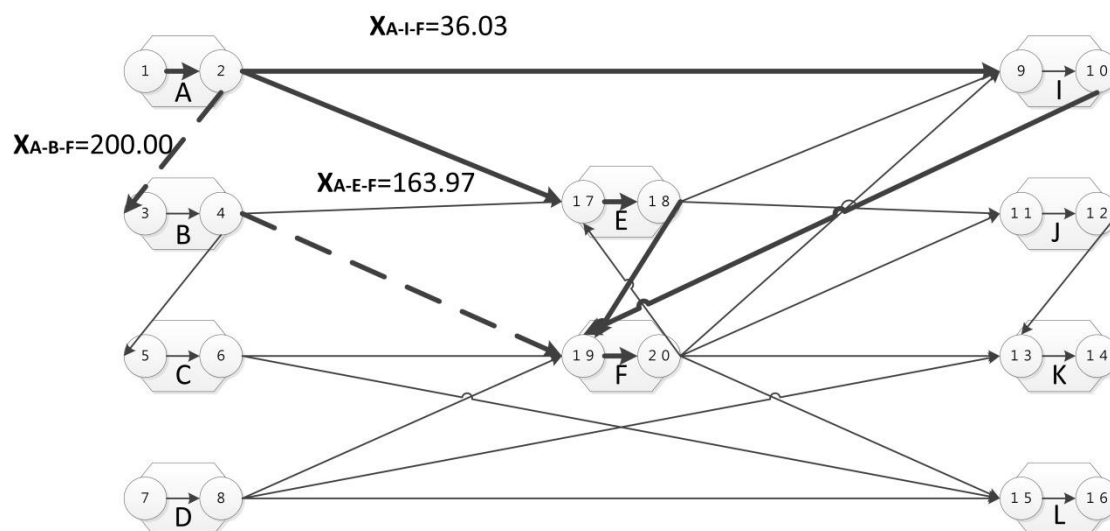


圖 5.2 轉換停靠港口示意圖

(2) 港口擁擠程度影響直達與轉運之選擇

其次觀察由港口 D 運送至港口 F、K、L 之貨櫃，由於港口擁擠成本高，因此貨主若由 F 轉運所帶來的成本較大，故可發現經模型均衡指派後，貨主仍不改變其路徑之選擇，兩對起訖點對 D-K、D-L 之流量（D 到 K 為 300，D 到 L 為 200）皆不透過轉運港口 F 轉運而選擇直達（如圖 5.3 所示），詳細數據如下表 5-2 所示。

表 5-2 貨物指派結果(直達而不轉運)

From	To	Iteration0	Iteration1	Iteration2	Iteration3	.....	Itration9
7	8	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	.....	1,000.00
8	19	500.00	500.00	500.00	500.00	.....	500.00
8	13	300.00	300.00	300.00	300.00	.....	300.00
8	15	200.00	200.00	200.00	200.00	.....	200.00
19	20	3,100.00	3,399.99	3,203.64	3,128.83	.....	3,129.40

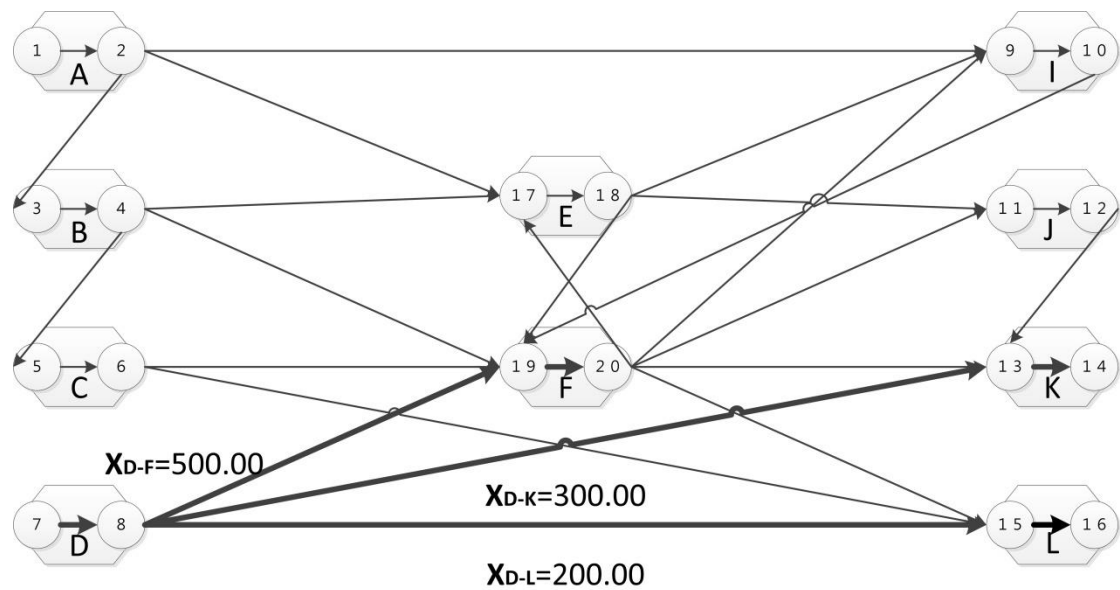


圖 5.3 直達而不轉運示意圖

2. 情境分析 2：擁擠效果小 ($\mu_C = 0.0001$ $\mu_{LF} = 1$)

承情境 1-(2)，若降低擁擠成本，此時經 F 港轉運送達 K、L 能提升乘載率，而令其成本小於直達，故改以使用轉運航線降低擁擠成本。因此由模型均衡結果可發現，因 F 轉運成本降低，故 D-K、D-L 兩起迄點對之流量（D 到 K 為 300，D 到 L 為 200）皆改為集中經 F 轉運（如圖 5.4 所示），詳細數據如下表 5-3 所示。

表 5-3 貨物指派結果（直達改為轉運）

From	To	Iteration0	Iteration1	Iteration2	Iteration3
8	19	500.00	799.99	999.99	1,000.00
8	13	300.00	0.01	0.00	0.00
8	15	200.00	200.00	0.01	0.00
19	20	0.000211	3,100.00	3,699.98	3,899.99
20	13	3,100.00	3,699.98	3,899.99	3,900.00
20	15	800.00	1,099.99	1,100.00	1,100.00

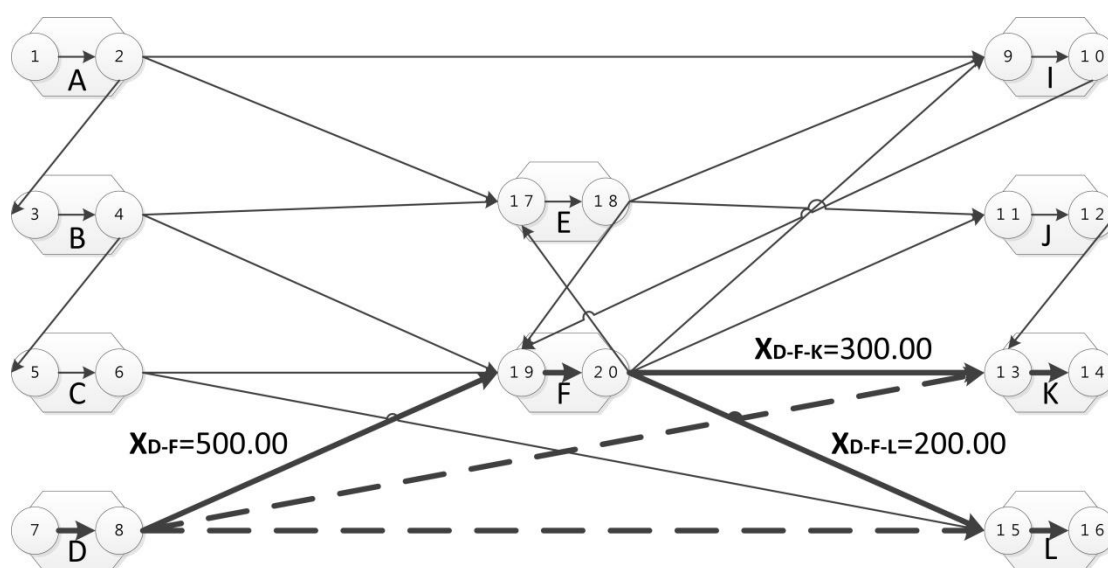


圖 5.4 直達改為轉運示意圖

3. 情境分析 3：乘載率效果大 ($\mu_C = 1$ $\mu_{LF} = 1000$)

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，故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。

(1) 港口貨源充足吸引更多轉運量

根據 OD 需求量，由於港口 F 貨源較多（C 到 F 為 200，B 到 F 為 400，D 到 F 為 100，I 到 F 為 100，A 到 F 為 200，J 到 F 為 300），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，故由模型指派後之均衡結果可發現，貨櫃流量將逐漸集中於港口 F，例如起訖對 B 到 L（流量 300）將由港口 C 轉運改為以 F 改轉運（如圖 5.5 所示），詳細數據如表 5-4 所示。

表 5-4 貨物指派結果（港口貨源充足）

From	To	Iteration 0	Iteration 1	Iteration 2	Iteration 3	Iteration 4
4	5	400.00	100.01	100.00	100.00	100.00
4	19	800.00	1,499.98	1,500.00	1,500.00	1,500.00
5	6	1,200.00	900.01	900.00	900.00	900.00
6	15	600.00	300.01	300.00	0.01	0.00
19	20	3,400.00	4,499.96	4,699.99	4,999.99	5,000.00
20	15	400.00	699.99	899.99	1,199.99	1,200.00

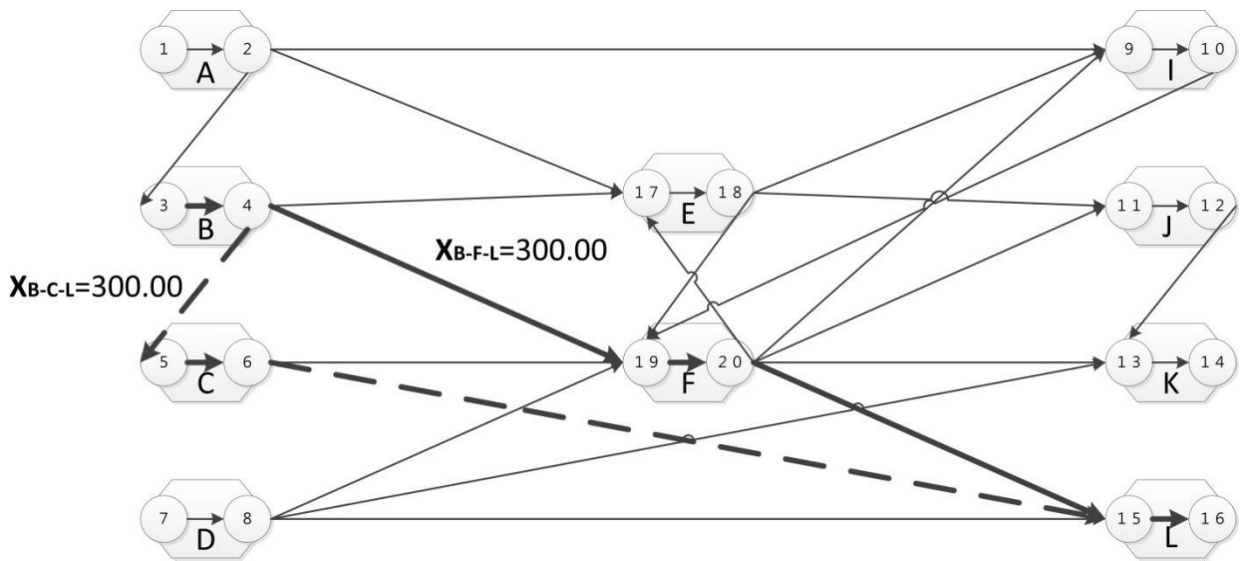


圖 5.5 轉換轉運港口示意圖

(2) 港口本身貨源不足致使港口無轉運吸引力

當港口本身貨量少，而某一航線本身已具有一定數量之貨櫃時，若改為轉運該港對整體乘載率影響不大，甚至會增加轉運成本，故將不會選擇貨源少的港口進行轉運。由本模型中，對於起訖對 A 到 I，因港口 E 本身到 I 港之貨量僅有 100，而且 A 送到 E 的貨量也僅 200，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 之貨物若經港口 E 轉運，成本將高於由港 A 直達港 I，於是可觀察到經均衡指派後，貨物不經 E 轉運（如圖 5.6 所示），詳細數據如下表 5-5 所示。

表 5-5 貨物指派結果（港口本身貨源不足）

From	To	Iteration 0	Iteration 1	Iteration 2	Iteration 3	Iteration 4
2	9	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00
2	17	400.00	200.01	200.00	200.00	200.00
18	9	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00

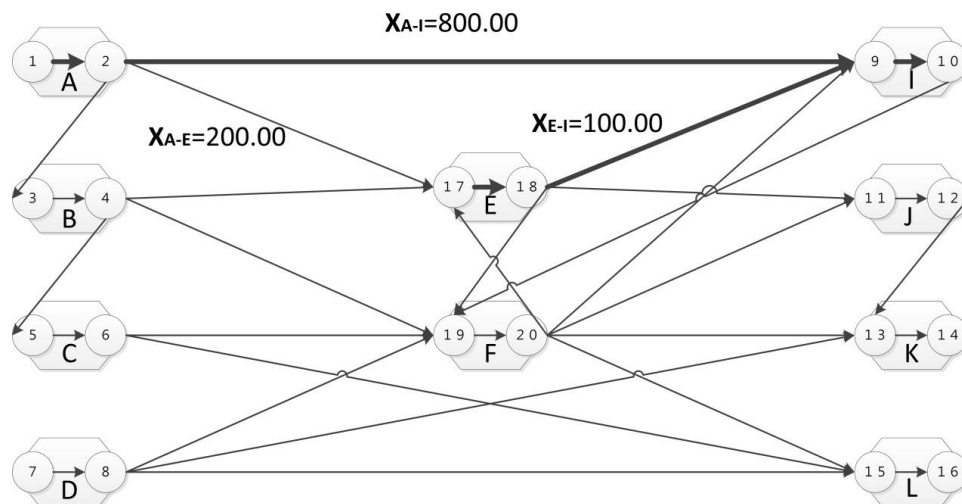


圖 5.6 港口本身貨源不足示意圖

(3) 港口轉運貨源不足致使轉運吸引力降低

再者，當港口本身貨物量不足，導致轉運量少，再加上可透過該港轉運的貨物量少時，均不利於港發展轉運，而逐漸流失轉運貨原，更造成貨量進一步減少的惡性循環。以本模型之港口 E 為例，針對三個可行經港口 E 轉運之起訖對 A-I、B-I 以及 B-J 為例，流量分別為 800、400、200，因經由港口 E 轉運的貨源不足以創造經濟規模之效果，導致 A 貨物若經港 E 轉運，則會因轉運成本的增價而使總成本高於直達，故其不會轉運。同時，B 到 J 經港口 E 的成本大於行經港口 F，因而再多次調整後逐漸減少在 E 的轉運量，改以 F 港進行轉運（如圖 5.7 所示），詳細數據如下表 5-6。

表 5-6 貨物指派結果（港口轉運貨源不足）

From	To	Iteration 0	Iteration 1	Iteration 2	Iteration 3	Iteration 4
2	9	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00
2	17	400.00	200.01	200.00	200.00	200.00
2	3	300.00	499.99	500.00	500.00	500.00
3	4	2,000.00	2,199.99	2,200.00	2,200.00	2,200.00
4	17	700.00	500.01	500.00	500.00	500.00
4	19	800.00	1,499.98	1,500.00	1,500.00	1,500.00
17	18	1,300.00	900.01	900.00	900.00	900.00
18	9	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00
18	11	500.00	100.01	100.00	100.00	100.00
19	20	3400	4,499.96	4,699.99	4999.99	5000
20	11	900.00	1,299.99	1,300.00	1,300.00	1,300.00

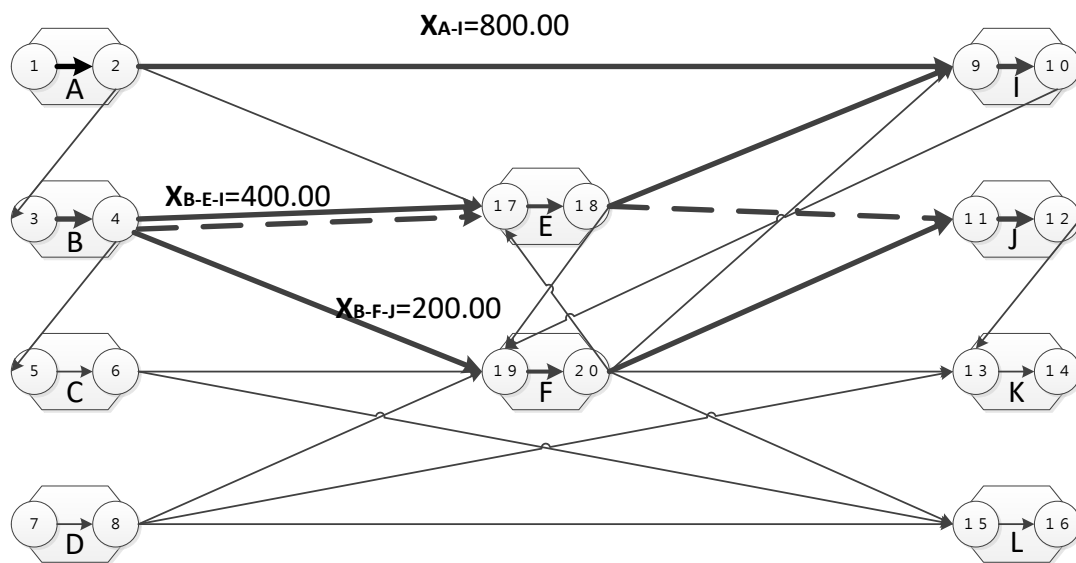


圖 5.7 港口轉運貨源不足示意圖

(4) 提升港口貨源

承上一情境，若增加可經由港口 E 轉運的貨物量，使得 B 到 I 之 OD 量為 900，B 到 E 的流量增為 400，因此讓 E 貨源增加。同時降低 A 到 I 之貨櫃量為 200。對整體貨物運送而言，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。此時 A-I 提升乘載率所降低的成本多於轉運所造成的成本，故 A-I 將會經 E 轉運（如圖 5.8 所示），詳細數據如下表 5-7 所示。

表 5-7 貨物指派結果（提升港口轉運貨源）

From	To	Iteration 0	Iteration 1	Iteration 2	Iteration 3	Iteration 4
2	9	200.00	0.01	0.00	0.00	0.00
2	3	300.00	499.99	899.99	900.00	900.00
3	4	2,800.00	2,999.99	3,399.99	3,400.00	3,400.00
4	17	1,500.00	1,300.01	1,699.99	1,700.00	1,700.00
17	18	2,100.00	1,900.01	1,900.00	1,900.00	1,900.00
18	9	1,000.00	1,199.99	1,200.00	1,200.00	1,200.00

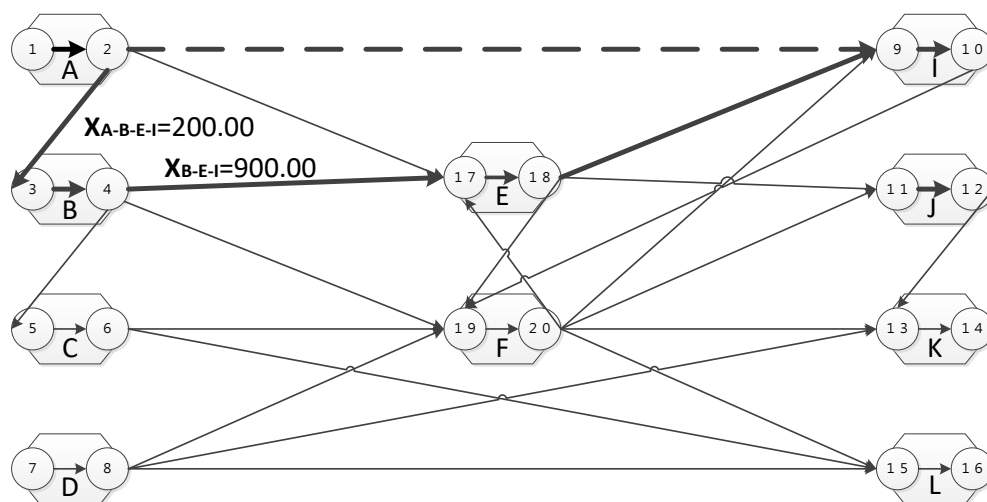


圖 5.8 提升港口貨源吸引轉運示意圖

4. 情境分析 4：港口拓寬、船舶大型化 ($\mu_C = 1$ $\mu_{LF} = 1000$)

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，導致透過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。分析起訖對 A 到 J (流量為 200) 以及由 B 點運送到 I、J 的貨物 (流量分別為 400 與 200)，其原由港口 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，而造成貨源少的港口營運逐漸惡化 (如圖 5.9 所示)，詳細數據如下表 5-8 所示。

表 5-8 貨物指派結果 (港口拓寬、船舶大型化)

From	To	Iteration 0	Iteration 1	Iteration 2	Iteration 3	Iteration 4
2	17	400.00	400.00	200.01	200.00	200.00
2	3	300.00	300.00	499.99	500.00	500.00
3	4	2,000.00	2,000.00	2,199.99	2,200.00	2,200.00
4	5	400.00	400.00	100.00	100.00	100.00
4	17	700.00	700.00	100.01	100.00	100.00
4	19	800.00	800.00	1,899.98	1,900.00	1,900.00
5	6	1,200.00	1,200.00	900.00	900.00	900.00
6	15	600.00	600.00	300.00	300.00	300.00
17	18	1,300.00	1,300.00	500.02	500.00	500.00
18	9	500.00	500.00	100.01	100.00	100.00
18	11	500.00	500.00	100.01	100.00	100.00
19	20	3,400.00	3,400.00	4,499.98	4,500.00	4,500.00
20	15	400.00	400.00	700.00	700.00	700.00
20	11	900.00	900.00	1,299.99	1,300.00	1,300.00
20	9	-	-	399.99	400.00	400.00

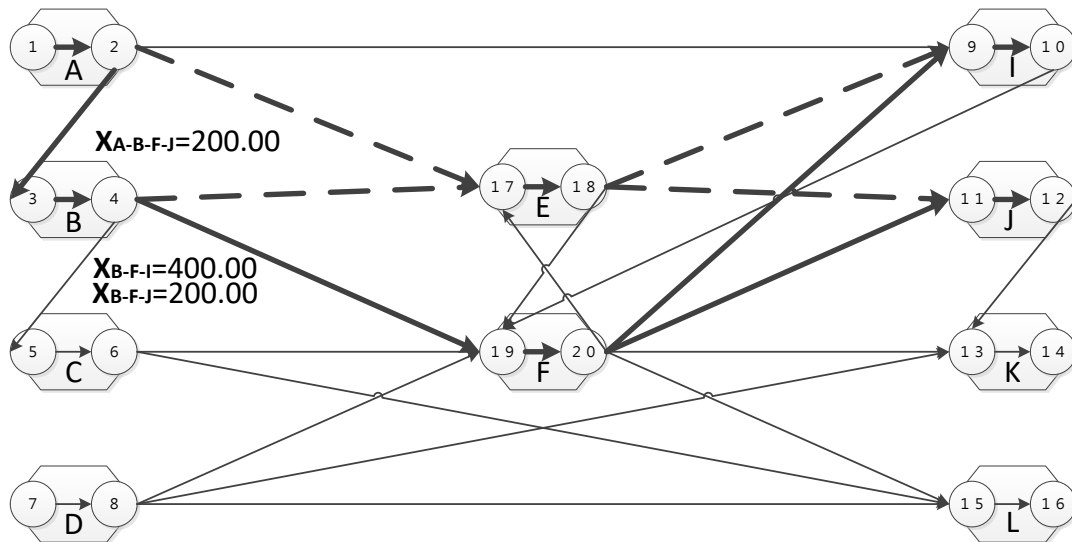


圖 5.9 港口拓寬、船舶大型化後轉運示意圖

5. 測試結果分析

透過假設海運網路之初步測試結果主要可呈現以下現象：

- (1)港口過於擁擠將不利於轉運的發展。
- (2)港口貨源多將能發揮規模經濟的效益，促使貨櫃集中運送並降低運送成本。
- (3)港口國內貨量少或經該港轉口的貨源不足，造成轉運成本提高，則無法吸引貨主選擇至該港轉運的路線。

以高雄港為例，若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（如圖 5.10 所示）。因此相關單位應研擬適當策略以能避免此現象之發生，維持高雄港在亞太區域所扮演的樞紐地位，維繫國家之經濟命脈而能永續發展與邁進。

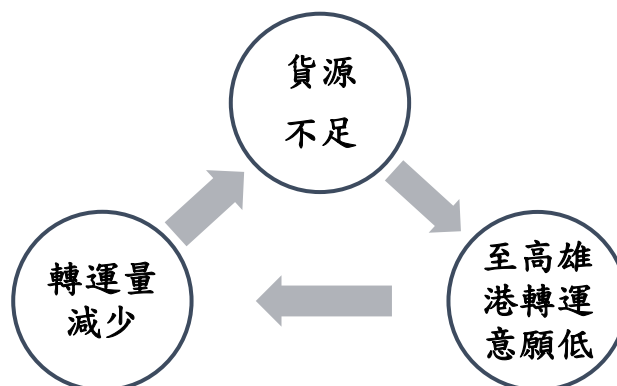


圖 5.10 貨源減少惡性循環示意圖

5.2 資料蒐集與分析

5.2.1 國際海運資料來源

本計畫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。故透過廣泛蒐集各資料庫之數據，以利後續執行模型之測試。本節將分項說明本計畫主要採用之國際海運資料來源，而詳細資料內容與說明以下做進一步的闡述。

1. 本所出版品

本所為進行海運政策相關分析、有效掌握國際、國內海運產業之變遷及其發展趨勢，自民國 102 年起持續進行有關「國際海運資料庫」之建置。該資料庫收錄了豐富之貨櫃航線資料，涵蓋了 2011 至 2015 年之航線類、航商類、港口類與船舶類等，但並無各航線之運量資料。

2. UN Comtrade Database

此資料庫為聯合國所提供，收錄了 1962 年迄今之國際貿易統計資料，包含每年及每月的貿易統計之資料，其值以美金做計算。由於各國雙邊進出口貿易量不一致，需進一步的修正以能加以運用。

3. UNCTAD (United Nations Conference On Trade and Development)

為聯合國下的機構之一，為促進各國經濟發展之策略與全球經濟的連結，以增進經濟成長與永續發展，而廣泛處理各國間貿易資料數據，其資料可追溯至 1948 年，並涵蓋全球大部分經濟體，透過該資料庫可取得各國國際貨櫃港之總裝卸量等數據。

4. Review of Maritime Transport (2015)

此刊物為聯合國自 1968 年起發行之年刊，涵蓋了國際海上貿易、全球船隊狀況、運價、海港、法規等範疇。其內容包含許多重要的統計資料外，雖統計資料較為零碎，但可提供年度重要的描述與分析，據以了解海運產業之現況。

5. 其他相關資料庫

由於海運資料過於龐大繁雜，部分資料亦有缺漏或誤差，故尚需其他資料庫做為輔助或補充，相關資料庫包括：ITC (2016), Lloyd's List Intelligence (2016), SEA-DISTANCES.ORG (2016)等。

5.2.2 國際海運資料內容概況

本研究構建之網路模型所需資料表列如表 5-9 所示，並分述如下：

表 5-9 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	每 TEU 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

1. 節點容量：各港櫃量與容量

蒐集各港口的貨櫃裝卸量，用以估算各港口容量，並能加以校估模型所運算出的流量分布是否與實際相符。而由於本模式僅考慮 31 個研究港，因此裝卸量必須加以排除非研究港之貨櫃量。本研究透過計算各港與其餘 30 港間往來之貨物占總裝卸量之比例來調整本研究採用進行校估的裝卸量。

表 5-10 各年度 31 主要港口裝卸量（單位：TEU）

港口 \ 年度	2015	2014	2013	2012	2011
LA/LB	15,352,000	15,160,871	14,599,155	14,123,376	14,001,610
Oakland	2,277,515	2,394,069	2,346,564	2,343,903	2,342,526
New York	6,372,000	6,372,000	5,772,303	5,467,347	5,529,909
Savannah	3,737,400	3,737,400	3,346,048	3,034,014	2,966,221
Keelung	1,445,337	2,943,420	2,641,544	2,704,730	2,402,780
Kaohsiung	10,264,420	10,593,335	9,937,719	9,781,221	9,636,289
Kobe	2,681,385	2,616,537	2,553,257	2,567,540	2,624,023
Yokohama	2,787,296	2,787,296	2,888,029	2,888,220	3,052,775
Busan	19,468,725	19,468,725	18,678,000	17,686,099	17,046,177
Qingdao	17,510,000	17,510,000	16,580,000	15,520,000	14,503,000
Xingang	14,100,000	14,061,000	13,010,000	12,300,000	11,500,000
Shanghai	36,540,000	36,540,000	35,285,000	33,617,000	32,529,000
Ningbo	20,620,000	8,572,000	8,010,000	7,201,700	6,460,700
Xiamen	9,183,000	9,183,000	8,572,000	8,010,000	7,201,700
Shenzhen	36,540,000	24,037,300	23,278,000	22,940,130	22,569,800
Guangzhou	16,970,000	16,970,000	16,600,000	15,309,000	14,743,600
Hong Kong	20,114,000	20,114,000	22,226,000	22,352,000	23,117,000
Manila	3,890,000	3,890,000	3,650,000	3,770,018	3,706,851
Hai Phong	1,002,987	1,040,000	964,000	1,018,794	1,018,794
Ho Chi Minh City	5,890,000	6,390,000	5,542,049	5,049,418	4,814,000
Jakarta	6,419,774	6,504,330	6,590,000	6,460,000	5,617,562
Laen Chabang	6,820,000	6,583,168	6,031,825	5,926,437	5,731,063
Singapore	30,922,000	33,869,000	32,240,000	31,649,400	29,937,700
Tanjung Pelepas	8,798,747	8,550,000	7,627,833	7,700,000	7,500,000
Port Klang	11,886,685	10,945,804	10,350,409	10,001,495	9,603,926
Hamburg	8,850,000	9,730,000	9,302,219	8,863,896	9,014,165
Rotterdam	12,234,535	12,297,570	11,621,000	11,865,916	11,876,921
Antwerp	9,654,000	8,978,000	8,578,269	8,635,169	8,664,243
Bremerhaven	5,520,000	5,780,000	5,830,711	6,134,000	5,915,487
Balboa	3,078,101	3,236,355	3,063,579	3,251,139	3,232,265
Tacoma	3,529,446	2,521,033	1,891,570	1,711,133	1,476,148

資料來源：Lloyd's List Intelligence (2016)；Dynamar (2016), Port Authorities, Government Agencies & terminal operating companies；本研究整理

2. 節點成本：各港口使用費、貨櫃處理費與平均轉運時間（小時）

船舶停靠各港口時所需付出的成本，包含轉運時間、使用費與平均單位貨物處理費。港口轉運時間與其之航線數多寡、港口容量（碼頭面積與碼頭能量）以及櫃量成長等具相關性，而當港口越擁擠時，所花費的轉運時間越長，而需付出更多成本。此外，進港船舶必須付出港口使用費，其與船型大小、來港航線數多寡、港口容量、國家產業扶植政策有關；而每單位貨物在碼頭上也必須付出貨櫃處理費(Terminal Handling Charge, THC)及拖車與櫃場的整理處理費用等，由於此數據實際調查不易，故本研究以合理推估之方式估算相關成本，詳細數據請見(表 5-11)。

(1)港口使用費

由於本研究為巨觀之策略分析，故簡化船型大小之因素，採用平均船型並將單位進港船舶的港口使用費平均分攤至每單位貨物(TEU)上，而計算出平均需負擔的港灣費用(USD)，用以計算節點成本。本計畫在此 31 個港口中，係以高雄港相關數據做為基準（調整係數為 1），並計算出高雄港內每單位貨物(TEU)所需負擔的港灣費用、以及每船每單位運能(TEU)平均要負擔的港灣費用後，再分別以其他 30 個港口的「2014 年吞吐櫃量/近 4 年櫃量成長率/平均靠港船型運能/總航線數目」此 4 項做為正向因子，並以各港口的「貨櫃碼頭長度/最大水深/碼頭設計能量/碼頭經營者特性/國家產業政策扶持」此 5 項做為負向因子，計算出其他 30 個港口的調整係數後，再行推估出各港的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)。

(2)港口平均單位貨物處理費

每 TEU 貨物在碼頭上的貨櫃處理費(THC)及拖車及櫃場的整體處理費用(實櫃，美金)，用以計算節點成本。本計畫在此 31 個港口中，亦是以高雄港相關數據做為基準（調整係數為 1），先行計算出高雄港內每單位(TEU)貨物在港口內的碼頭處理費用後，再分別以其他 30 個港口的上述 4 項正向因子，配合各港口的「貨櫃碼頭長度/碼頭總面積/碼頭設計能量/碼頭經營者特性/國家產業政策扶持」此 5 項做為負向因子，估算出其他 30 個港口的調整係數後，再行推估出各港內每 TEU 貨物在碼頭上的整體處理費用。

(3)各港口平均轉運時間

此係指每 TEU 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。同上述方式，先以高雄港相關數據做為基準（調整係數為 1），先計算出高雄港內每 TEU 貨物平均轉運時間後，再分別以其他 30 個港口的上述 4 項正向因子，以及各港口的「貨櫃碼頭長度/最大水深/碼頭總面積/碼頭設計能量/碼頭經營者特性/國家產業政策扶持」此 6 項負向因子，估算出其他 30 個港口的調整係數後，再行推估出各港內每 TEU 貨物在碼頭上的平均轉運時間。

3. 節線資料與容量

(1)主航線資料

本所的「國際海運資料庫」為本計畫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。本計畫所構建的網路模型，將以連結亞太重要貨櫃貿易路線(Trade Route)為核心，考量現存與潛在網路。貿易路線包括越太平洋航線、遠歐航線、非洲航線、澳紐航線、南美航線、中東印巴航線與亞洲區域航線，各路線簡述如下（表 5-12）：

- i. 越太平洋貿易路線（以下稱之越太平洋航線）：包括美西航線與美東航線，美西航線乃亞太區域橫跨太平洋至北美（含加拿大、美國與墨西哥）西岸港口；美東航線乃亞太港口至北美東岸港口，或經巴拿馬運河、或經蘇伊士運河。
- ii. 亞洲—歐洲貿易路線（以下稱遠歐航線）：航線自亞太區域至歐洲區域之地中海港口、或北/中/西歐港口，或經巴拿馬運河、或經蘇伊士運河。
- iii. 亞洲—非洲貿易路線（以下稱非洲航線）：航線自亞太區域至非洲港口。
- iv. 亞洲—澳紐貿易路線（以下稱澳紐航線）：航線自亞太區域至澳洲、或紐西蘭港口。
- v. 亞洲—南美貿易路線（以下稱南美航線）：航線自亞太區域至南美港口，或經巴拿馬運河、或經蘇伊士運河。
- vi. 亞洲—中東印巴貿易路線（以下稱中東印巴航線）：航線自亞太區域至中東或印度次大陸等港口。
- vii. 亞洲區域貿易路線（以下稱亞洲區域航線）：航行於亞太區域內之航線。

表 5-11 各貨櫃港口相關成本與作業時間估算彙整表

編號	區域	港口名稱	港口使用費	港口平均單位貨物處理費		港口平均轉運時間
			每單位貨物 TEU 在各港口 負擔的港灣費 用 (美金)	每船每單位運 能 (TEU) 平均 負擔的港灣費 用 (美金)	每 TEU 貨物 在碼頭上的 處理費用 (實 櫃, 美金)	貨物在各港口 平均轉運時間 (小時)
1	美西	Oakland	76.5	2.2	120.4	37.2
2		Tacoma	94.9	2.8	155.9	45.7
3		LA/LB	75.7	2.2	119.4	36.4
4	巴拿馬	Balboa	73.1	2.1	117.7	37.1
5	美東	New York	74.5	2.2	116.9	36.1
6		Savannah	77.0	2.2	119.4	37.2
7	臺灣	Keelung	68.6	2.0	121.2	37.7
8		Kaohsiung	72.0	2.1	115.0	35.0
9	日本	Kobe	70.7	2.1	113.4	35.1
10		Yokohama	75.4	2.2	123.5	37.7
11	韓國	Busan	81.1	2.4	131.6	39.2
12	華北	Qingdao	72.2	2.1	114.4	34.9
13		Xin Gang	58.8	1.7	87.8	28.5
14	華中	Shanghai	90.8	2.6	148.5	43.7
15		Ningbo	78.5	2.3	128.1	38.3
16	華南	Xiamen	64.1	1.9	99.1	31.1
17		Shenzhen	70.4	2.1	109.5	34.1
18		Guangzhou	54.2	1.6	79.5	26.4
19		Hong Kong	73.0	2.1	114.6	35.6
20	菲律賓	Manila	66.7	1.9	135.8	41.7
21	越南	Hai Phong	101.6	3.0	188.6	59.7
22		Ho Chi Minh City	68.2	2.0	119.4	37.3
23	印尼	Jakarta	73.9	2.2	117.2	36.9
24	泰國	Laen Chabang	58.9	1.7	89.6	29.0
25	中南半島	Singapore	89.8	2.6	145.1	43.3
26		Tanjung Pelepas	60.3	1.8	97.0	30.0
27		Port Klang	65.8	1.9	104.2	32.3
28	歐洲	Antwerp	75.1	2.2	119.2	36.3
29		Rotterdam	71.0	2.1	114.4	34.3
30		Hamburg	73.1	2.1	115.1	35.4
31		Bremen	72.1	2.1	111.9	35.3

資料來源：本研究估算

表 5-12 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（2016）

本計畫選定作為研究對象的 31 個主要港口，分布於亞太與歐美區域，而其間之聯繫需藉遠歐航線（不含遠地航線）與越太平洋航線（以下將該兩航線稱之歐美航線、或主航線），因而以下本計畫針對歐美航線加以說明。如以 G6 為例，遠歐航線（以下所稱之遠歐航線皆為狹義之遠歐航線，即不含遠地航線）與越太平洋航線各有 24、82 條（表 5-13）。近年來，航商之策略聯盟頗為盛行，尤其是全球 20 大航商中，僅 4 家航商未加入四大聯盟（包括 2M、O3、CKYHE 與 G6 等聯盟），而策略聯盟聚焦在歐美航線之聯營，因而遠歐航線與越太平洋航線各僅 2%、5% 屬非策略聯盟之航線（交通部運輸研究所，2015），本計畫乃以策略聯盟之航線加以進一步探討與分析。

就四大策略聯盟而言，CKYHE 與 G6 兩聯盟靠泊臺灣港群之比例較高，尤其是 CKYHE 聯盟中，計有兩家國籍航商（包括長榮與陽明），其皆以高雄港作為其母港，因而靠泊高雄港之機會頗高。然就 CKYHE 與 G6 兩聯盟而言，G6 之聯盟運作較為嚴謹，如參加 G6 聯盟之六家航商各派 3 位專業人員，在新加坡成立營運規劃中心，持續從事航運營運之規劃協調事宜，如航線聯營等，因而本計畫後續主要以 G6 之歐美航線作為情境分析之主要分析對象。

表 5-13 G6 聯盟各類歐美航線占全球該類航線之比例

單位：TEU；%

航線別		全球各類歐美航線之總運能	G6 聯盟	
			航線運能	百分比
遠歐航線 ¹	東向遠歐航線 ⁴	146,842	68,372	46.56
	西向遠歐航線 ⁴	2,872,434	577,787	20.11
	小計	3,019,276	646,159	21.04
越太平洋航線 ²	美西航線	1,959,245	489,621	24.99
	東向美東航線	709,911	221,098	31.14
	西向美東航線	852,301	238,997	28.04
	小計 ³	3,369,243	949,716	28.19

註：1.不含僅至地中海之遠地航線。

2.不含航至中美洲港口之南美航線、以及不至美西本土之航線（如僅至夏威夷、阿拉斯加之航線）。

3.不含重複航線之運能

4.東/西向航線各表示經巴拿馬運河、或蘇伊士運河之航線，包括遠歐航線與美東航線。

資料來源：交通部運輸研究所 (2016)

由於遠歐航線與越太平洋航線之貿易路線分類，較無法反映近年來航商聯盟之航線佈署，因而，本計畫將遠歐航線因其經巴拿馬運河、或蘇伊士運河細分為東向遠歐航線與西向遠歐航線。至於越太平洋航線則因受美加兩國沿海貿易權(cabotage)之限，外籍航商無法承運美西與美東間之貨物，美西航線與美東航線應皆會並存，因而將越太平洋航線細分為美西航線與美東航線，另將美東航線亦因經巴拿馬運河、或蘇伊士運河再細分為東向美東航線與西向美東航線。如表 5-13 所示，G6 聯盟各類歐美航線占全球該類歐美航線總運能之比例，遠歐航線為 21.04%，美西航線為 25%，美東航線則為最高，超過 28%（東向、西向美東航線各占 31.14%、28.04%），顯見以 G6 聯營歐美航線為後續情境分析之測試例子具有一定的代表性。

(2)各航線運能

本計畫之海運模型涵蓋各航商佈署於亞太區域之現存航線網路，並根據交通部運研所「國際海運資料庫」取得各大航商於各航線投入之運能作為航線容量，並以其之平均值作為虛擬航線之容量。而此節以 G6 聯營之歐美航線為例說明運能之取得方式，並於後續測試中，以此聯盟為主要研究與分析之對象。依據前述對歐美航線之分類，G6 聯盟各類歐美航線之航線可列表如表 5-14。其中，東向遠歐航線計有航線 PA1，西向遠歐航線計有航線 LP1、LP4~LP7 等 5 條航線，美西航線計有航線 CC1、CC2、CC4、NP1 等 10 條航線，東向美東航線計有航線 NCE、NYE、PA1 等 5 條航線，西向美東航線則有航線 AZX 等 3 條航線，合計為 23 條歐美航線（按：航線 PA1 兼具兩類航線之功能，但僅統計一次）。而各類歐美航線在亞太區域之佈署，則趨於「靠泊港分散化」，以航線數量達 10 條之美西航線為例，東南亞區域之集貨以航線 SE 系列（含航線 SE2、SE3）為主，

臺灣/華南區域之集貨以航線 SC 系列（含航線 SC1、SC2）為主，華中/華北區域之集貨以航線 CC 系列（含航線 CC1、CC2、CC4）為主，其他類之歐美航線亦有相同之趨勢（如圖 5.11）。

至於 G6 聯盟在各類歐美航線之佈署差異，如表 5-15 所示，G6 聯盟在遠歐航線與越太平洋航線各有航線數 6、18 條，亦即各約占 1/4、3/4，然就運能而言，卻各約占 2/5、3/5，有如此之差異主要乃因船型之影響，如西向遠歐航線之平均船型超過 12,000 TEU，而越太平洋航線之美西航線與西向美東航線之平均船型僅約為 7,500 TEU，而東向美東航線受巴拿馬運河之限，更僅為 4,800 TEU（按：巴拿馬運河自 2016 年第三季拓寬完成後，貨櫃船型可提升至 14,000 TEU，惟目前受紐約港船型之限，通行船型以 8,000 TEU 為主）。

表 5-14 G6 聯盟各歐美航線之航線資料（2015 年 12 月底）

貿易 路線	次貿易 路線	航線名稱	船舶數	運能
遠 歐 航 線	東向遠歐航線 （經巴拿馬運河）	PA1 (Pendulum)/B Service ¹	14	68,372
		小計	14	68,372
	西向遠歐航線 （經蘇伊士運河）	LP1	12	111,106
		LP4	10	132,984
		LP5	8	104,639
		LP6	7	92,270
		LP7	10	136,788
		小計	47	577,787
越 太 平 洋 航 線	美西航線	CC1	6	39,752
		CC2	1	5,888
		CC4	5	31,364
		NP1/PN4	7	63,641
		NP2/PN2/PNW	6	51,388
		NP3/PN3	6	50,790
		SC1	6	52,332
		SC2	6	50,094
		SE2	7	57,662
		SE3/SCX/PSG/FGX	13	86,710

表 5-14 G6 聯盟各歐美航線之航線資料 (2015 年 12 月底)

貿易 路線	次貿易 路線	航線名稱	船舶數	運能
		小計	63	489,621
	東向美東航線 (經巴拿馬運河)	NCE	10	49,221
		NYE/NYE/SCE	10	48,343
		PA1 (Pendulum)/B Service1	14	68,372
		PA2	11	50,907
		SCE	1	4,255
		小計	46	221,098
		西向美東航線 (經蘇伊士運河)	AZX/SAS	11	76,402
	CEC		10	88,331
	SVS/SVN/AUE3		11	74,264
	小計		32	238,997
	合計 ²			188	1,527,503

註：1.航線 PA1 兼具兩類航線之功能，故分列於東向遠歐航線與東向美東航線項下。

2.航線 PA1 之船舶數與運能僅統計一次。

資料來源：交通部運輸研究所 (2016)

A.東向/西向遠歐航線之佈署

2015年G6聯盟遠歐航線																			
航線	飛往港口/區域																	總運能	
	EUROPE	MED/THAILAND	MID EAST	Singapore	Pan Am	Norfolk	Bang Kong	Yokohama	Vancouver	Kobe	Yokohama	Yokohama	Yokohama	Yokohama	Yokohama	Yokohama	Yokohama	船舶數	總運量
LP1	1	4	3	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	111106
LP5	6	4	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	104639
LP7	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	136788
LP4	1	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	132984
LP6	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7	92270
PA1 (Pendulum)/B Service	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14	68372
船舶飛出次數	9	1	1	2	5	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
航線飛出次數	5	1	1	1	4	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		

B.美西航線之佈署

2015年G6聯盟美西航線																			總運能	
航線	飛往港口/區域																	船舶數	總運量	
	MED/THAILAND	MID EAST	Singapore	Leam Chabang	Cai Mep	SRV/CHN	Hong Kong	Yokohama	Kobe/Busan	Xiamen	Shanghai	Shanghai	Shanghai	Shanghai	Shanghai	Shanghai	Shanghai			
SE3/SCV/PSG/PGX																				

C.東向/西向美東航線之佈署

2015年G6聯盟美東航線																				
航線	飛往港口/區域																		總運能	
	EUROPE	EUROPE	EUROPE	EUROPE	EUROPE	EUROPE	EUROPE	EUROPE	EUROPE	EUROPE	EUROPE	EUROPE	EUROPE	EUROPE	EUROPE	EUROPE	EUROPE	EUROPE	船舶數	總運量
PA2																			11	50907
PA1 (Pendulum)/B Service																			14	68372
NCE																			10	49221
NVE/NYE/SC																			10	48343
SYS/SIN/AIE3																			11	74264
CEC																			10	88331
AZX/SAS																			11	76402
船舶飛出次數																				
航線飛出次數																				

資料來源：交通部運輸研究所 (2015 年 12 月底)

圖 5.11 G6 聯盟歐美航線在亞太區域佈署示意

表 5-15 G6 聯盟各類歐美航線之航線資料統計

		航線數		船舶數		運能		平均船型	
		數量	%	數量	%	數量	%	TEU	比例 ¹
遠 歐 航 線	東向遠歐航線	1	4.35	14	7.45	68,372	4.48	4884	0.40
	西向遠歐航線	5	21.74	47	25.00	577,787	37.83	12293	1.00
	小計	6	26.09	61	30.20	646,159	42.30	--	--
越 太 平 洋 航 線	美西航線	10	43.48	63	33.51	489,621	32.05	7772	0.63
	東向美東航線	5	21.74	46	24.47	221,098	14.47	4806	0.39
	西向美東航線	3	13.04	32	17.02	238,997	15.65	7469	0.61
	小計	18	78.26	141	69.80	949,716	62.17	--	--
合計 ²		23	100.00	188	100.00	1,527,503	100.00	--	--

註：1.2015 年 12 月底資料，以西向遠歐航線之船型為基準之比例。

2.不含重複航線之統計。

資料來源：交通部運輸研究所 (2016)

4. 各航線成本：距離與時間

根據 SEA-DISTANCES.ORG (2016)之資料，在設定的船速下，計算兩港間所需行駛的距離與時間，而用以計算各節線之運輸時間價值與成本，詳細兩港間的距離請參照附錄 B(a)，計算方式為：（距離/行駛速度(knot)）/24（小時/日）＝兩港間行駛天數。

5. OD 資料：貨櫃起迄資料

由於目前可取得資料多為國對國間之數據，本計畫所需之港對港的資料則不易取得，本所出版之「國際海運貨物完整流向資料收集與分析之研究」(顏進儒 et al., 2013)亦提及公開資料多為國到國、港到國、或港到洲之資料，而鮮少有港至港之資料。因此，本計畫首先 UN Comtrade Database(2016)與 ITC (2016)取得各國間貨櫃流量資料，再以各港口裝卸量與全國裝卸量之比例做為流量分配之依據，再者，由於其貨櫃流量以其價值(USD)做計算(數據詳見附錄 B(b))，故資料尚須經進一步的轉換。由於 UNCTADstat (2016)之資料庫內僅公布至 2014 年之各國貨櫃裝卸量，故利用 2014 年之各國裝卸貨櫃總價值以及各國裝卸量，計算各國單位貨櫃之價值(USD/TEU)，再者，針對每個起訖對的兩國之貨櫃價值計算平均，並將該兩國間貨櫃平均價值代入流量資料中，而能讓原貨櫃價值之資料轉為貨櫃單位數(TEU)以應用於模型中，詳細數據可見附錄 B(c)與(d)。

6. 其他成本參數：運輸時間價值與成本

由於在海運領域，航商之實際營運成本屬高度商業機密，因而並不易取得。另一方面，貨主之運送成本項目多樣而複雜，涵蓋了轉運、倉儲、時間、風險等成本，亦不易全面性的相關資料。由於本計畫係為構建一宏觀之整體預測模型，因此本計畫以巨觀分析為出發點，各貨櫃運輸成本可參考 Tavasszy et al. (2011) 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 1000 公里/日（539.96 海浬/日=22.5 節），藉此計算航行時間，而作為本模型輸入之參數。

5.3 實證分析

將模型應用於實際海運網路中，並透過調整成本參數，以使求解結果與實際值差異最小化，亦即使求解值貼近研究港口間互通之貨櫃實際裝卸值，提升此海運模型之實際應用性。

5.3.1 模型實際應用分析

在設定的假設參數下，利用海運實際路網進行貨物指派，依據所得結果以驗證模型之妥適性，了解其是否能呈現合理的流量分配趨勢。本研究考量 31 個重要的港口，輸入現存的主要航線，並納入兩港間所有可能之航線於網路中考慮。並以由 UN Comtrade Database(2016)與 ITC (2016)所轉換之資料，做為模型輸入之 OD 流量。

測試參數設定如下：擁擠效果 $\mu_C = 1E - 05$ ，乘載率效果 $\mu_{LF} = 1E + 05$ ，成本函數參數分別設為 $\alpha = 1$ 、 $\beta = 2$ 、 $\gamma = 8$ ，將其套用至海運貨物指派模型中，所得結果如表 5-16 所示。其中估算轉運量可由模型所求得之各港預估裝卸量減去輸入該港與輸出他港的 OD 量求得，由於本研究僅考慮起訖點為研究港之部分貨櫃流量，因此各港實際裝卸值需經比例縮減，以輸入之各港口 OD 量占其裝卸量之比例加以計算，藉以排除非研究港之貨櫃流量。

透過均衡的結果，此模型能呈現進行轉運以提升乘載量之結果，並能看出大型樞紐港如香港、新加坡等轉運量較大之趨勢，而由於本研究僅鎖定 31 個重要港口，且部分港口提供之進出口量資料包含轉運櫃，可能影響所求轉運量數值之精準度。此外，各港主要轉口量屬商業機密不易取得而難以作為校估基準，故本研究以能呈現各港轉運趨勢為主而非貼近實際值，並以裝卸量作為衡量模型與實際誤差之標準。在初步測試而未進行參數校估前，高雄港的裝卸量誤差值小於 4.5%，裝卸量預估值與目標值整體平均誤差為 21.42%，後續透過參數校估以進一步改善預測之平均誤差。

表 5-16 實際網路貨櫃流量指派結果

港口	已知數值		模型所求	
	¹ 歷年平均裝卸量	進出口 OD 總量	預估裝卸櫃量	估算轉運櫃量
LA/LB	6,842,575.81	5677857.18	5,723,243.33	45,386.15
Oakland	1,093,565.31	842327.0898	1,939,748.21	1,097,421.12
New York	2,757,468.65	2356651.201	2,617,063.11	260,411.91
Savannah	1,571,603.38	1382258.098	1,879,445.88	497,187.78
Tacoma	1,005,347.62	1,305,347.21	1,513,553.96	208,206.76
Balboa	626,275.23	356,550.11	945,542.67	588,992.56
Keelung	2,061,530.03	930460.3777	3,183,603.24	2,253,142.86
Kaohsiung	8,528,356.09	6607895.674	8,145,207.22	1,537,311.54
Kobe	2,309,302.37	1861307.462	3,615,601.97	1,754,294.51
Yokohama	2,550,253.97	1934826.533	2,752,546.73	817,720.20
Busan	13,010,070.50	10097951.83	11,008,137.53	910,185.70
Qingdao	6,322,589.29	4024163.5	4,509,686.52	485,523.02
Xin Gang	5,032,710.74	3240474.32	3,903,082.31	662,607.99
Shanghai	13,517,775.38	8397654.728	10,030,406.33	1,632,751.60
Ningbo	3,940,001.11	4738906.418	5,811,372.89	1,072,466.48
Xiamen	3,264,952.79	2110445.084	3,097,847.66	987,402.57
Shenzhen	9,064,877.13	5612843.187	6,343,206.72	730,363.54
Guangzhou	6,242,773.60	3,900,060.23	5,027,891.14	1,127,830.91
Hong Kong	5,790,861.37	4,760,116.04	7,423,128.76	2,663,012.72
Manila	2,496,299.81	1,982,354.70	2,468,260.77	485,906.07
Hai Phong	1,447,136.03	479,137.47	1,333,185.39	854,047.92
Ho Chi Minh City	3,379,216.84	2,813,715.11	3,384,281.96	570,566.84
Jakarta	3,545,952.31	2,868,183.79	3,574,247.86	706,064.07
Laen Chabang	4,730,243.96	3,738,373.27	4,003,978.90	265,605.63
Singapore	7,158,820.98	5,748,354.08	6,773,175.83	1,024,821.75
Tanjung Pelepas	4,179,795.16	3,516,874.20	4,446,921.09	930,046.89
Port Klang	5,491,865.17	4,751,128.30	6,498,487.99	1,747,359.69
Hamburg	3,891,527.15	2,930,467.63	3,399,943.29	469,475.66
Rotterdam	5,573,790.18	4,038,042.59	4,370,400.17	332,357.59
Antwerp	3,498,150.76	2,978,865.37	3,201,427.06	222,561.69
Bremerhaven	2,481,530.55	1,827,817.10	2,085,954.59	258,137.49

¹ 各港裝卸量僅包含往來於本研究納入之港口間的貨櫃量

此外，由於 G6 聯盟各類歐美航線占全球該類歐美航線總運能之比例，遠歐航線為 21.04%，美西航線為 25%，美東航線超過 28%為最高，顯見若以 G6 聯

營歐美航線為測試例子有一定的代表性。故本研究比較目前 G6 聯盟投入之航線運能與所求解出之歐美航線相關航段流量總和比例（表 5-17），以了解模型求解的流量是否與目前航商投入之運能相近，作為模型適用性的驗證。由比較結果可看出兩者比例相近，表示本研究所建構之模型能將輸入之起訖流量指派於適當的貿易路線上，使貨物分佈流向符合實際趨勢，而能呈現與實際運作貼近之結果。

表 5-17 G6 聯盟歐美航線運能之比例與模型求解之航線流量

航線別	已知數值		模型所求	
	G6 聯盟 每季航線投入 運能 (TEU)	運能比例	包含 G6 聯盟 航線之航段總 流量 (TEU)	流量比例
遠歐航線	646,159	40.49%	451,504	34.25%
越太平洋 航線	949,716	59.51%	866,806	65.75%
合計	1,595,875	100%	1,318,309	100%

5.3.2 節線容量設定分析

本研究以目前各大航商於各條航線投入之運能作為網路節線之容量，以能將航商佈署對航線選擇之影響因素納入考量。經由測試容量一致之網路，以分析容量設計對流量分佈的影響，結果顯示此架構所求得之解似較海運實務情況有所差異，主要可能原因如下：

1. 航商因素完全被排除

本計畫由貨主的角度出發，在固定航線網路下僅考慮貨物指派，航商航線佈署事實上會影響節線容量，故航商之角色於資料輸入時已經考量；若給定相同的網路節線容量，將完全排除航商之決策，而造成與實際有所落差。

另就現實情況來看，貨主在各港間並非皆能有充足運能任其自由選擇，而是在航商所提供之航線內做選擇，故若欲忠實呈現實際流量分佈，應採用相同的基準點，以分析在現行網路下貨運的選擇行為，並另分析在供、需變動下流量分佈可能之改變。

2. 一致的節線容量可能造成重要航道之貨量降低、影響乘載率因素

若採用各航線運能之平均值作為本模式節線之容量，可能導致部分原本流量較大的航段超過該節線之容量，而使其運量流失至其他航段。

若設定之平均容量高於其原本實際營運容量，可能因特定路徑對貨主成本較低而指派過多貨物流量（例如全部貨物均送到直達的最短路徑），然而實際航商可能因航線配置、成本等因素考量而未能於該航線提供相應足夠之運能，因而在設定相同的平均容量下，可能造成指派結果與現實落差。

再者，若以一極大的容量進行網路之設定，則會造成承載率的影響效果不彰，導致距離與港口成為影響貨主路徑選擇之主要因素，因而可能降低網路中需要轉運的量，這與目前實際航商運作重視乘載率的情況亦有所落差。

3. 節線容量與貨物流量相關

若假設節線容量完全相同，則本模式之貨物指派僅與港口容量、港口間距離有關，依此情形，則輸入港口容量、港口間距離與固定之節線容量之後，貨運的流量就應完全一樣而不會改變。事實上，即使港口容量相同，貨物流量還是會因航商佈署的節線容量改變而變化。經由本計畫測試可見貨物指派結果會受節線容量因素影響而不同。故應依實際狀況進行節線容量之設定，以能得到貼近真實之結果。

綜合以上所言，容量一致之網路設定本與現實有所落差，貨主實際也並非完全自由選擇所有兩港間的路線，因而此架構並不能反映現實，且可能因容量設定問題導致更大的誤差，故本研究採用實際航商投入之運能作為節線之容量，以能將航商之決策因素納入考慮，降低與實際之落差。

5.3.3 敏感度分析

透過調整參數之值進一步降低模型求解之平均誤差，俾使建構之模型能更為貼近現況，以利應用此海運貨物指派模型進行情境變動之分析時，能反映實際並能預估海運產業未來可能發展情勢。

1. 調整擁擠與乘載率效果之參數

調整參數值觀察其不同影響效果，計算個別之平均誤差值。若調整承載率之效果而降低乘載率之影響程度，此時表示規模經濟的效果減少，增加承載貨物量對營運成本降低的效益不大，且貨物直達成本較進行轉運小，因此模型求解結果將呈現不轉運之指派結果，與表 5-16 之結果相比，呈現各個港口之估算轉運量皆顯著減少。

2. 調整成本參數

透過調整 α 、 β 、 γ 之值並計算個別的平均誤差，找出與實際值適配之參數值。以調整港口成本之參數 α 觀察（如表 5-18），當其值增加至一定範圍時，擁擠度提升，貨源多的港口流量呈現減少之趨勢，貨櫃流向較不擁擠的港口，但當其值過大導致擁擠成本過高時，貨物則不轉運，各港口裝卸量皆降低。而調整 β 值亦

影響擁擠效果，然而經測試結果發現其影響程度較不明顯。而航線成本之參數 γ 變動則改變乘載率的影響效果，其值越大則提升貨物集中運送帶來的效益，對主要之樞紐港口貨櫃流量將有所提升。因此以目前實際值為基準，調整擁擠與承載率影響效果，而將模型參數調整至適當範圍時，將能呈現出目前海運市場整體之趨勢，並能用以預估未來可能之變動。

表 5-18 不同參數 α 值之指派結果

港口	$\alpha=1 \quad \beta=2 \quad \gamma=2$	$\alpha=10 \quad \beta=2 \quad \gamma=2$	$\alpha=1000 \quad \beta=2 \quad \gamma=2$
	平均誤差=18.15%	平均誤差=17.99%	平均誤差=24.98%
LA/LB	5,741,286.88	5,740,859.84	5,677,880.04
Oakland	1,112,848.36	1,116,616.72	1,006,790.67
New York	2,782,837.58	2,782,612.23	2,389,095.17
Savannah	1,643,741.74	1,640,584.41	1,405,678.32
Keelung	1,984,067.22	2,011,029.91	1,200,956.31
Kaohsiung	7,174,876.13	7,169,461.92	6,629,720.74
Kobe	2,256,236.66	2,246,672.30	1,881,843.05
Yokohama	2,113,661.67	2,116,152.60	1,965,805.81
Busan	10,506,970.06	10,505,821.47	10,123,939.28
Qingdao	4,248,676.07	4,243,547.32	4,051,825.63
Xin Gang	4,252,264.29	4,253,346.18	3,253,432.75
Shanghai	10,610,367.75	10,645,497.65	8,535,485.35
Ningbo	5,340,201.13	5,339,484.06	4,808,110.36
Xiamen	2,520,967.54	2,515,519.43	2,147,789.39
Shenzhen	6,474,109.54	6,478,425.44	5,654,355.87
Guangzhou	5,994,766.06	6,011,012.20	3,904,541.55
Hong Kong	5,744,667.38	5,742,712.61	4,879,336.48
Manila	2,146,183.09	2,194,280.00	1,983,140.49
Hai Phong	1,476,257.65	1,472,092.35	502,870.55
Ho Chi Minh	3,065,507.13	3,084,956.11	2,819,738.11
Jakarta	3,463,063.98	3,472,695.38	2,871,881.37
Laen	3,842,076.90	3,845,916.81	3,740,717.60
Singapore	5,851,010.10	5,855,295.16	5,816,197.44
Tanjung	3,912,894.34	3,915,187.74	3,556,711.09
Port Klang	6,299,776.83	6,319,158.26	4,782,835.97
Hamburg	3,177,970.01	3,172,351.06	2,955,605.18
Rotterdam	4,284,013.87	4,287,561.68	4,064,574.63
Antwerp	3,162,160.39	3,169,854.95	2,986,849.36
Bremerhaven	2,017,722.75	2,020,628.30	1,829,968.50
Balboa	1,311,775.23	1,307,305.91	783,768.92
Tacoma	1,451,040.53	1,451,875.94	1,314,438.37

3. 調整航線容量

此外，進一步分析船型大小對靠港行為的變動性，並評估模型呈現實際靠港行為之能力。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四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 5.12）。

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，運能過剩下，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 5.12 所示。

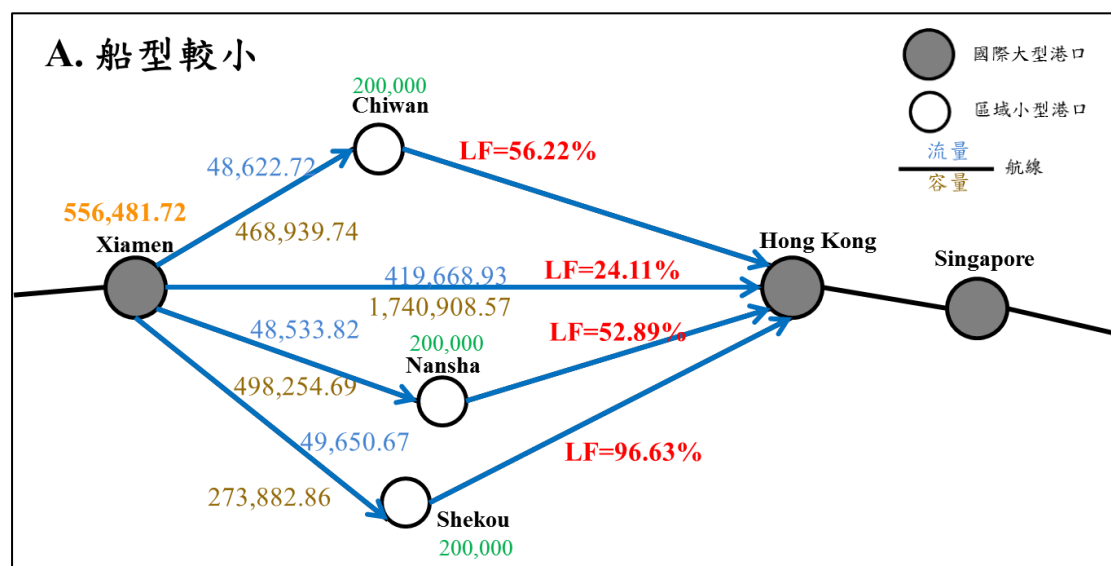


圖 5.12 較小船型之靠泊模型

(2)當船型較大時，僅選擇貨源較大的國際樞紐港口靠泊（圖 5.13）。

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 5-19），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。

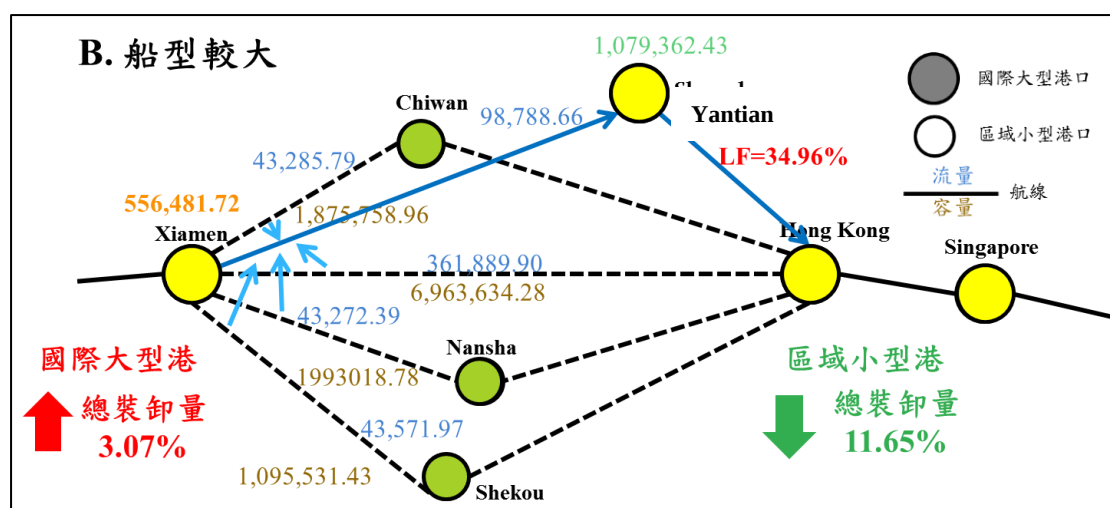


圖 5.13 大型船型之靠泊模型

表 5-19 不同層級港口之總裝卸量變動率

情境 港口層級	平均船型擴大為二倍	平均船型擴大為四倍
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 5-20）。

表 5-20 大型研究港之轉運量變動量（單位:TEU）

情境 港口	平均船型擴大為四倍
香港	+1,943,815.55
新加坡	+848,954.62
高雄	-161,597.29

由測試結果發現，當船舶越趨大型化時，大型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時的思維，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，只將大型船舶集中在大型樞紐港靠泊，而是會利用不同的大船，散布在不同的樞紐港間靠泊，避免聯盟成員內彼此爭奪貨源。此一現象實際於 2015 年底皆可發現（如圖 6.22、圖 6.23），聯營航商的最終靠泊港口散布於亞洲重要樞紐港口。

根據以上結果可見，本模型具備良好反應實際情況之能力，透過調整相關參數或輸入之網路資料，能反映出合理的貨櫃分配結果，亦顯示本模型之建構方式運用於海運指派之有效性。

5.4 參數校估

本計畫透過發展演算法以校估模型中相關參數，俾使模型產生流量貼近實務狀況，以利於後續預測與分析。參數校估方式為下沉方向演算法(Descent Direction Heuristic)，利用不斷的預估改善方向 $-\nabla W(\theta)$ 改善現行解，直到收斂為止（如圖 5.14 所示），以下針對演算法簡述。

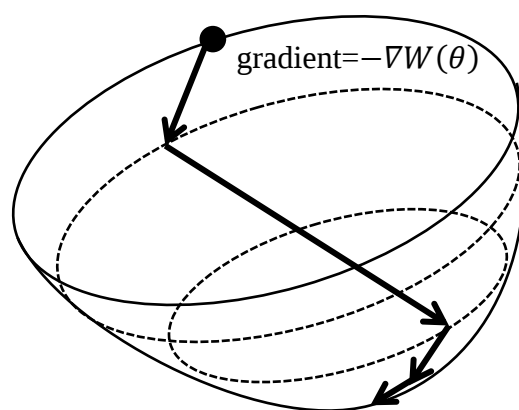


圖 5.14 下沉方向演算法示意圖

5.4.1 參數校估演算法

本計畫運用啟發式解法，採用最佳化技術中的下沉方向搜尋法，以成本項的未知參數作為決策變數，代入已知的資料進行求解。其主要的概念為透過增加一單位量所需校估的參數來計算其對目標值所帶來的改善，藉以求得模型之改善梯度(gradient)，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，重複運算直到達到收斂門檻，文獻中亦有類似之作法(Lin, 2011)。

本研究校估之目標式為：

$$\text{Min } W(\theta) = \frac{1}{|K|} \sum_{k=1}^K |x_k(\theta) - x_k^*|^2$$

此式用以最小化預測值與實際值間之誤差，以使結果能更為貼合實際。其中， K 為港口之集合， θ 為欲校估之參數集合， x_k^* 為港口實際的裝卸量、 $x_k(\theta)$ 為給定參數 θ 後模式的預測港口裝卸量。

再者，令 θ_i^n 為在第 n 次運算下之第 i 個參數（例如： α , β 或 γ ），透過梯度 $\nabla g_{\theta_i^n}$ 對參數進行更新，並以 λ^n 決定移動之步幅。參數更新方式如下：

$$\theta_i^{n+1} = \theta_i^n + \lambda^n \nabla g_{\theta_i^n}$$

$$\nabla g_{\theta_i^n} = \frac{\partial W(\theta_i)}{\partial \theta_i} \approx W(\theta_i + 1) - W(\theta_i)$$

校估之流程可見圖 5.15，主要的步驟如下：

1. 步驟 1：給定參數初值

令迭代次數 $n \leftarrow 0$ ，起始步幅 $\lambda^0 \leftarrow 2$ 。以成本項的未知參數 θ_i^n 為決策變數，並設定其初始值。

2. 步驟 2：尋找改善方向

求解未知參數值增加一單位量對目標值之影響，作為各個參數改善之方向 $\nabla g_{\theta_i^n}$ 。

3. 步驟 3：移動步幅

依據步驟 2 所求出的方向移動，一旦目標值改善停滯時，則將步幅減半 $\lambda^n/2$ 。根據方向與步幅長度更新決策變數之值。

4. 步驟 4：利用海運模型指派流量

利用目前的參數並應用第三章所構建的海運模型進行貨物流量指派，而能求解出各航段的貨物流量。

5. 步驟 5：計算目標值

以最小化為目標值，亦即使貨櫃指派後求得的各港裝卸量之解與實際值間差異最小化。將步驟四所求出的流量解代入目標函式計算其值。若兩者差異之目標值降至所訂定的門檻值下時，則停止計算，並求得一組符合現實流量的參數解。反之，則判斷目標值是否改善以決定更新參數值與否，並回到**步驟 2**重複進行演算流程。

5.4.2 校估結果分析

根據參數校估結果求解出一組適當的成本函數之參數如下：

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

透過此組參數求解，可將本計畫之各港裝卸量平均誤差降至 12.12%（如表 5-21），已達到一定的精準度，預期本模型能呈現貨運流量分配之趨勢。故下一章將進一步運用此組參數於實際海運網路中進行情境分析，以了解產業環境變動對運量分配之影響性。

表 5-21 模型求解與實際值之平均誤差

港口	實際平均吞吐量 ¹	模型求解之吞吐量
LA/LB	6,842,575.81	5,776,203.85
Oakland	1,093,565.31	1,284,805.12
New York	2,757,468.65	2,683,174.61
Savannah	1,571,603.38	1,589,858.62
Keelung	1,407,620.51	1,483,189.89
Kaohsiung	8,528,356.09	6,948,387.66
Kobe	2,309,302.37	2,486,196.60
Yokohama	2,550,253.97	2,192,879.48
Busan	13,010,070.50	10,435,293.92
Qingdao	5,977,888.38	4,495,130.89
Xingang	5,032,710.74	4,739,214.65
Shanghai	13,517,775.38	11,102,744.78
Ningbo	6,890,145.15	6,866,318.44
Xiamen	3,264,952.79	3,142,001.80
Yantian	9,064,877.13	7,588,729.27
Guangzhou	6,242,773.60	6,334,561.02
Hong Kong	5,790,861.37	6,053,394.79
Manila	2,496,299.81	2,183,726.51
Hai Phong	1,447,136.03	1,237,214.05
Ho Chi Minh City	3,379,216.84	3,112,109.56
Jakarta*	3,545,952.31	3,197,679.98
Laen Chabang	4,730,243.96	3,798,271.92
Singapore	7,158,820.98	5,957,404.80
Tanjung Pelepas	4,179,795.16	3,863,606.48
Port Klang	5,491,865.17	5,939,927.63
Hamburg	3,891,527.15	3,396,924.95
Rotterdam	5,573,790.18	4,344,607.43
Antwerp	3,498,150.76	3,037,523.80
Bremerhaven	2,481,530.55	1,975,518.34
Balboa	626,275.23	758,658.39
Tacoma	1,636,851.83	1,436,609.65
平均誤差(%)	12.12%	

¹ 各港裝卸量僅包含往來於本研究納入之港口間的貨櫃量

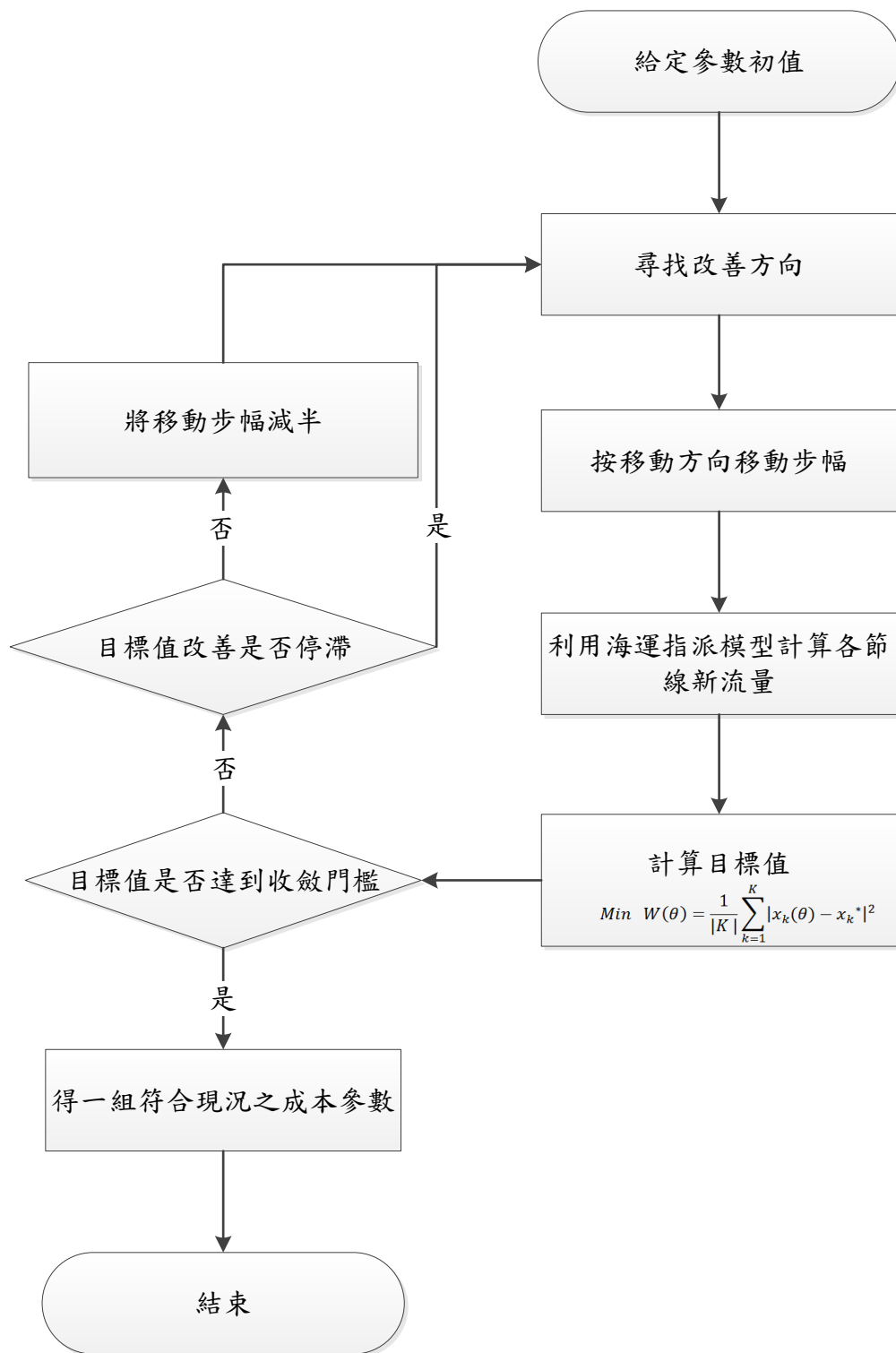


圖 5.15 校估參數流程

第六章 情境分析

為利於應用前章所構建海運模型，本研究根據目前國際上海運發展之趨勢，就近年來亞太區域貨櫃航運變化幅度較大，且對臺灣港群影響較為顯著的議題，選擇三個未來可能之情境作為海運模型情境分析的情境，其中包括東協運量增加、巴拿馬運河拓寬以及亞太區域主航線靠泊港分散化等情境進行情境分析。調整目前海運網路之架構或相關數據，並應用本研究所建構出的海運模型於不同情境中，藉以評估外部環境變化所造成貨主選擇航線行為改變時，全球貨櫃流量可能的變動情形，以及對臺灣港埠可能造成的影響，分析臺灣群港未來於全球海運網路之定位，以能協助相關單位適時研擬適當之因應與發展策略，維持臺灣港口於海運產業之地位，並持續提升我國港群於亞太區域轉運之競爭力。

6.1 東協運量增加情境分析

6.1.1 東協十國背景

東協全稱是東南亞國家協會(Association of Southeast Asian Nations, ASEAN)，東協十國是指 1967 年 8 月 8 日成立，當時共有五個創始成員國，分別是新加坡、馬來西亞、泰國、菲律賓、印尼，後來增加汶萊、越南、寮國、緬甸、柬埔寨等五個國家，合計為十個國家（圖 6.）。2010 年，與中國大陸建立中國-東協自由貿易區，形成「東協加一」，規模為全球人口數最多，亦是開發中國家最大的自由貿易區。2015 年 11 月 22 日，東協十國於馬來西亞召開的第二十七屆高峰會簽署共同聲明，成立東協經濟共同體(ASEAN Economic Community, AEC)，於同年 12 月 31 日正式上路。

東協經濟共同體是東協十國經濟整合的終極目標，其目標在創造一個穩定、繁榮與具有高度競爭力的經濟區域，促成貨物、服務與專業勞力的自由流通，同時扶助各會員國之間有更自由的資本流動、平等的經濟發展，並能縮減貧富與社會經濟的差距。東協經濟共同體將把區域內多元的特色轉化成為互補的商業機會，令東協在全球供應鏈中更有一份地位。



圖 6.1 東協十國位置圖

表 6-1 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

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，隨著國內建設及內需的成長，以及外國製造業的投資設廠，對外並加強貨物的運輸及港口碼頭基礎建設等，而成為外國航運業的新興市場。

另一海運市場誘因，則是東協後來的經濟合作區域擴大為「東協加一」，係指東協與它國建立自由貿易區（Free Trade Area, FTA）；對臺灣而言，影響最大的「東協加一」為中國大陸與東協建立「中國—東協自由貿易區」（China-ASEAN Free Trade Area, CAFTA），又稱「東協 10+1」。由於中國大陸自 20 世紀 90 年

代以來，與東協各成員國逐漸恢復外交關係，加上其國內經濟與對外貿易崛起，為區域整合帶來效益，以及在 1997 年亞洲金融風暴時，對備受衝擊的東協各國給予貸款援助，有助於各國穩定國內經濟情勢，皆使東協各國對中國大陸在經濟合作方面轉而支持。

中國大陸於 1994 年加入「東協區域論壇」(ASEAN Regional Forum, ARF)、1996 年正式升格為東協全面對話夥伴國(Dialogue Partnership)、2002 年與東協正式簽署《東協－中國 CECA 經濟合作架構協定》(Framework Agreement on Comprehensive Economic Co-Operation Between ASEAN and the People's Republic of China)，隨後，中國大陸於 2004 年與東協簽署貨品貿易協定及爭端解決協定、2007 年簽署服務貿易協定、2009 年再簽署投資協定，而相關協定於 2010 年以前陸續生效，也代表「中國大陸－東協自由貿易區」(China-ASEAN FTA)已經成型。

中國大陸和東協在貿易結構上互補性強，且當時彼此的貿易額占各自對外貿易總額的比重不高，雙方成立「中國－東協自由貿易區」，將有助於產生較大的貿易創造效應。例如對東協而言，中國是一個深具出口潛力的龐大市場；對中國來說，亦有助於其開發與東協各國鄰近的西南地區，並進一步擴展中國在東南亞區域的影響力。



圖 6.2 東協十國加三

隨著區域經濟體的發展，東亞自由貿易區機制更加擴大，東協加三(ASEAN Plus Three Cooperation, APT)是原東協會員國與中國大陸、日本和韓國等三個東亞鄰近國家的合作機制，又稱「東協 10+3」、「ASEAN+3」等（如圖 6.2）。三國分別於 1997 年 12 月 16 日在馬來西亞吉隆坡與東協發表聯合聲明，承諾基於相互的利益與責任，共同為亞太區域的區域和平穩定、經濟成長繁榮、社會文化發展等層面努力。2007 年第 11 屆東協加三高峰會（新加坡）決議通過東亞合作第二次聯合聲明與東協加三合作執行計畫(2007~2017)，各國重申東協加三的合作機制將以實現東協共同體為目標，繼續支持東協的各項整合，並在推動東亞共同體此一長程目標上，扮演關鍵角色。

東協各國過去因戰禍及政局動盪，對與外國直接貿易及允許國外投資港口碼頭等，都採取封閉政策且無力興築港口航道，故較大型貨櫃船無法直接彎靠，各國小型商港貨物需至此地區較大型港口接駁至遠洋貨船，區內國際貿易則以近洋小型貨船川航各國沿岸港口。近年除部分內陸國家尚需藉境外港口轉運，隨經濟起飛，已吸引世界各貨櫃航商開發新深水碼頭及佈署大型遠洋貨櫃船，也影響原有至其他東亞港口轉運的需求。Intra Asia Trade Today 依據 2014 年間東協 (ASEAN) 區域內各港口在國內與國際貨運的角色，以及貨櫃量對應世界前 50 大港口的排名與在各國內的經濟貿易發展，作出一功能分類，其近年來主要的港口之功能型態與櫃量之轉變如表 6-2 所示。

表 6-2 東協主要港口貨櫃量與功能型態（單位：百萬 TEU）

港口	國家	2015	2014	2013	2012	2011	功能型態
新加坡	新加坡	30.92	33.87	32.60	31.65	29.64	全球樞紐港
巴生	馬來西亞	11.88	10.95	10.35	10.00	9.60	全球樞紐港
丹戎帕拉帕斯	馬來西亞	8.79	8.50	7.63	7.70	7.50	全球樞紐港
雅加達	印尼	6.41	6.40	6.59	6.46	5.65	區域樞紐港
蘭查邦	泰國	6.82	6.58	6.04	5.93	5.73	區域樞紐港
胡志明	越南	5.89	6.39	5.96	5.19	4.53	區域樞紐港
馬尼拉	菲律賓	3.65	3.65	3.77	3.71	3.46	國內主港口
泗水	印尼	***	3.13	3.02	2.89	2.64	區域樞紐港

資料來源：本研究整理自下列資料

1. Intra Asia Trade Today, "What's happening in Intra Asia?", <http://om.shippingazette.com/OM/OM1/OM1-Story3-2.asp>
2. World Shipping Council, "TOP 50 WORLD CONTAINER PORTS", <http://www.worldshipping.org/about-the-industry/global-trade/top-50-world-container-ports>

臺灣過去因地理位置位於東北亞及北美航線的交接處，且港闊水深並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。

以香港的東方海外航運(OOCL)為例，其近洋航線彎靠東協主要港後，再以高雄港專用碼頭為作業基地，作為近洋與遠洋分流接駁的節點。如圖 6.3、圖 6.4 所示，東協及中國大陸為東亞近洋航線的主要貨源市場，涉及該市場分屬進口原料及出口成品的考量，東協至中國大陸、日韓等港口，在高雄港進行近洋航線接駁，亦可進行遠洋航線的轉運作業。



圖 6.3 香港東方海外航運近洋航線圖例 1



圖 6.4 香港東方海外航運近洋航線圖例 2

另從東協區域發展觀點，雖然有多數的沿海港口，航商在此仍依港口條件選擇區域型及全球型樞紐港作為貨物集散轉運點，如 OOCL 即以高雄港為東協（新加坡、蘭查邦）、韓國釜山、中國大陸華北（大連、天津、青島）為航線的連接點（圖 6.5）。

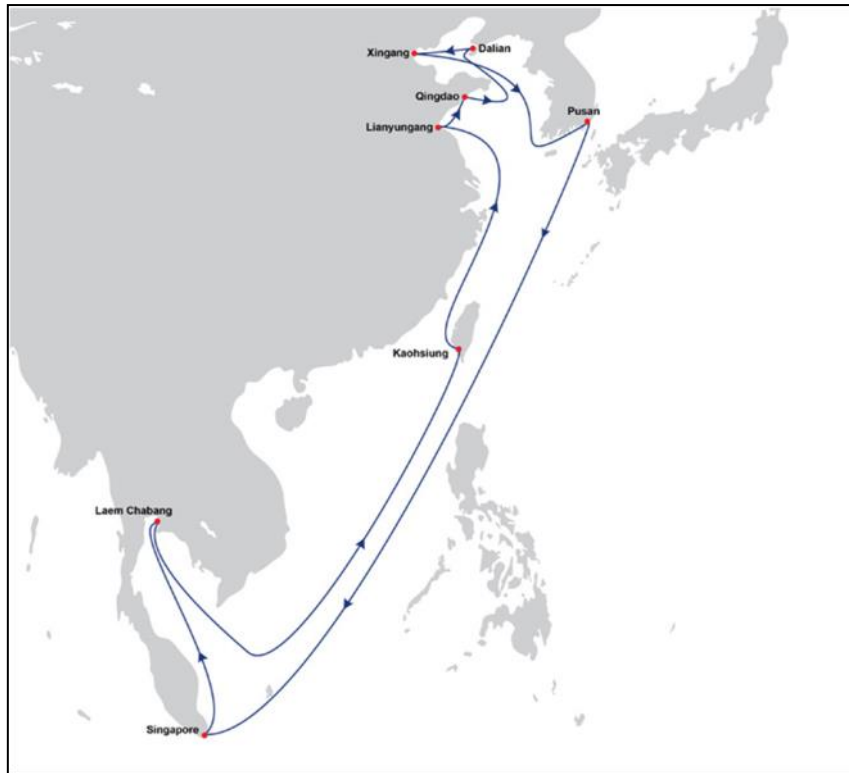


圖 6.5 香港東方海外航運近洋航線圖例 3

依據上述案例分析，可從東協區域內對外航線方向、港口角色發展及高雄港擔任東協港口轉運等，來探討未來如東協貨量增加時的變化趨勢：

1. 高雄港原為東協港口往東北亞與北美港口的越太平洋航線轉運港，隨東協港口建設的現代化及航商聯盟的重組，大型貨櫃船彎靠港口順序將隨聯盟各方派船方式改變。
2. 東協港口主要貿易對手國位置為北美東西兩岸及歐洲地區港口，東協運量愈大，其進出口航運方向可從東向至北美或西向至歐洲及美東港口，因航線方向數量改變而會影響高雄港未來轉運地位。

由於高雄港轉運櫃約 40% 主要來自東南亞，受其變動影響深遠，如上述當航商在東協港口基礎設施可配合船舶大型化作業，且其內需與區域貿易增長後，後續可能影響轉運點及航商聯盟的航線安排，故本情境用以分析東協需求量成長後，對高雄港可能造成之衝擊。

6.1.2 數值測試

隨著東協經濟成長下，本情境預期東協市場之需求將有所提升，故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，測試東協需求提升二成、五成以及兩倍下，分別可能對高雄港帶來的影響性。

由模型求解結果如表 6-3 可發現，當東協運量小幅增加時（如二成），將促使高雄港的轉運量提升約 6.30%；然而，當運量成長幅度更大時（如五成或兩倍），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，以運量提升至五成而言，轉運量將降低 6.33%，而當其運量增為原本的兩倍時，轉運量更減少 58.64%。此變動主要來自於東協東向往北美之航線改變影響，由於傳統上東協港口以高雄港為其往東北亞與北美港口之越太平洋航線的轉運港，然而當其運量大幅增加而毋須再向北集貨時，其東向之航線將逐漸轉為直達北美而不轉運，顯示當東協自身已有足夠的貨源時，可能將大幅降低經由高雄港轉運的貨櫃量，而直接向東往北美運送。而且由於高雄港的地理位置本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，而令港口吸引力不足，亦將間接促成高雄港轉運量降低之現象（圖 6.6）。

表 6-3 高雄港轉運量之變動

情境	高雄港轉運量變動
東協運量增加 20%	+6.30%
東協運量增加 50%	-6.33%
東協運量增為 200%	-58.64%



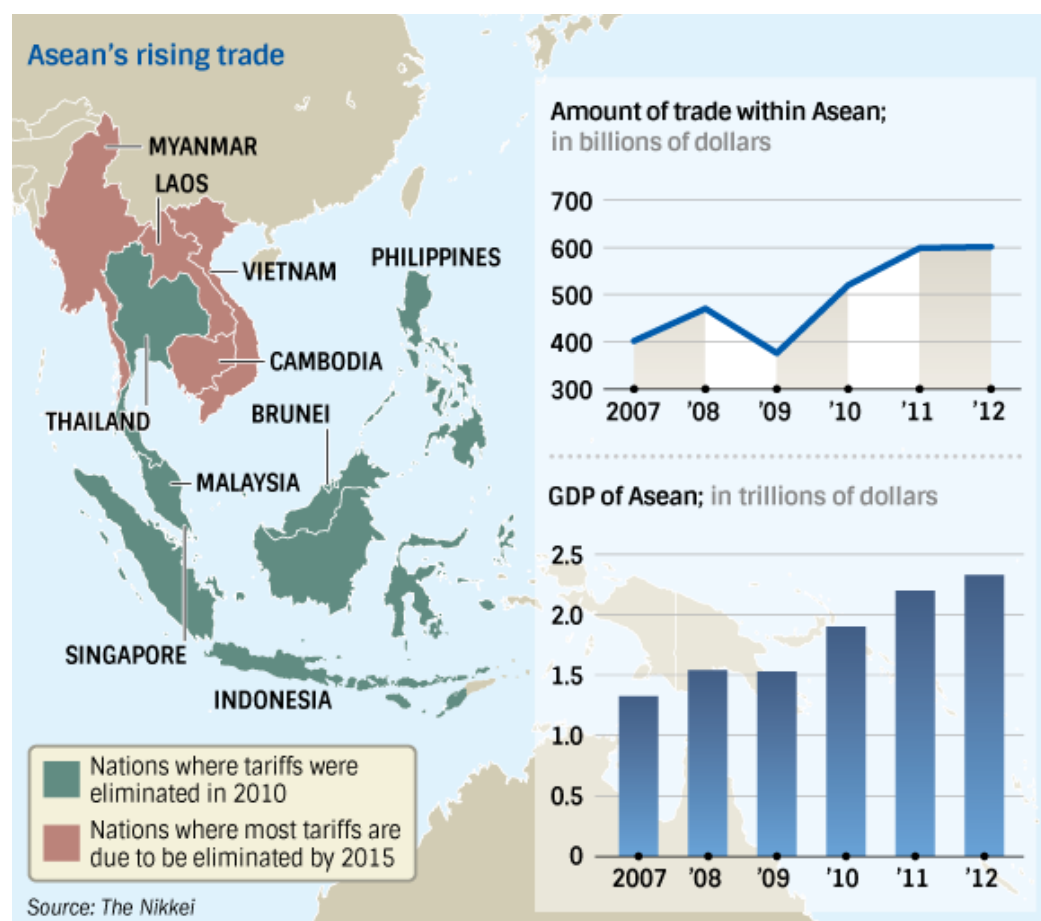
圖 6.6 東協運量大幅增加對高雄港之衝擊

6.1.3 結果分析

如前東協背景所述，東協國家總體經濟預測持續成長，本情境用以分析在東協持續發展下（圖 6.7），對高雄港可能帶來的衝擊。本小節從實務佐以國外的相關資料分析，闡述東協區域運量發展對本研究測試、航運界及臺灣港口可能影響，可分別由整體趨勢以及高雄港轉運地位進行說明：

1. 東協區域貨量預測穩定成長，有利航商聯盟大型船舶加入

如前所述，預測東協國家之總體經濟將持續成長，該區域之發展前景，一為東協各國內需之彼此貿易發展需求，有區域內各港口之基礎建設改善，並支撐港口擴建發展的部分基本運量；另一為東協十加三（中日韓）自由貿易區的成立、歐美放寬國際廠商對東協的直接投資限制（如緬甸、越南等），對增加東協勞力密集產品、原物料出口及引進國外消費品、設備及中間原物料，預期將有利東協



國家港口對外國際運輸的貨櫃運量增加。

圖 6.7 東協貿易成長趨勢

資料來源：<http://asia.nikkei.com/print/article/11212>

2.東協貨量大幅增加，其航線方向及港口發展影響高雄港轉運地位

東協國家對外貨櫃運輸，早期以新加坡港為主要疏運中心，在此區域國際港口碼頭設施尚未充分發展之前，遠東-歐洲（西向）及東南亞-北美（西向）以新加坡港為航線軸心的轉運中心，除新加坡港有完整的航運相關服務外，也是洲際航商船舶規模能提供接納的唯一港口，為一全球樞紐港，與高雄港在東亞的角色相當，對遠洋航線相當提供航段互補接續的功能。

近期東協國家的港口發展，鄰近新加坡港的馬來西亞港口（如巴生港、丹戎帕拉帕斯港），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（兩岸航段對國際中轉貨運送有限制），如同本計畫測試之結果所顯示。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。

再者，東協的西向航線（東南亞-歐洲）本以新加坡港為轉運中心，高雄港因其地理位置相較不利，長期趨勢觀察東協的對外貿易夥伴，除中日韓位於東北亞區域，西向的歐洲（中東、美東）、東向的北美（東北亞、美東），除考量貨載量大小、進口貨主指定收貨港外，在國際油價如果持續平穩下，航商聯營為解決船舶艙位供給過剩問題，在東協此區域的對外航線總體成本（港口費用、船舶營運成本、運費協議）比較下，將使航商（聯盟）以主要美東目的地港為考量下，東協區域洲際航線的東向（越太平洋）轉西向（遠東-歐洲）的方向改變，將影響高雄港的未來部分轉運量。若東協西向往歐洲或美東港口航線增加，可能不利高雄港的轉運地位。

整體而言，於實務上，當船舶大型化、航商聯盟（船隊聯營）及東協港口設施改善下，航商可減少東協經高雄港的二次轉運（東向航線），另原經美西港口由複合運輸往美東區域貨載，或新增由西向直接至美東區域的選擇，長期皆可能影響高雄港的二次轉運貨載。

綜合以上分析，雖然東協經濟持續成長帶動對外貿運輸的需求，然而當前東協各國國內港口設施依據其經濟改革開放程度發展的水準不一，如本計畫測試結果顯示，在該區域發展初期高雄港目前尚有其發展空間。此外，由於東協貨物集散至主要港口尚需藉鐵公路、河道進行疏運，其綜合運輸成本仍會為航商考量

運送時間及費用的考量。因此，航商在東協區域內基於運輸成本（時間及費用）（表 6-4）、運量規模等，預期會選擇遠洋及近洋航線的不同轉運港（表 6-2）。另配合東協 10+1（中）、10+3（中、日、韓）自由貿易區的擴大，航商或可運用在高雄港專用碼頭或聯營使用，擴大規模經濟的營運效果，並以高雄港銜接東協、兩岸三地、日韓等港口，配合船舶大型化充分運用艙位，並藉聯營及共同派船提高使用率。因此高雄港若能及時把握東協港口目前尚未發展完全下之契機，提供優惠等誘因降低航商運輸成本，吸引航商靠泊，並發展與改善港口之策略，吸引外籍航商的投資，以能積極擴展港埠之貨源，並與航商鞏固良好的合作關係，確保既有的航商與航線靠泊，進而能維持並提升高雄港未來發展之競爭力。

表 6-4 東協港口貨櫃運輸綜合成本比較

國家	出口成本 (每櫃/美元)	進口成本 (每櫃/美元)
馬來西亞	450	450
新加坡	456	439
中國大陸	500	545
香港	625	583
泰國	625	795
越南	756	940

資料來源：本研究整理自下列資料

A.T. Kearney News, “Vietnam's Growth Strategy: Roads, Rails, Rivers”,
http://www.atkearney.it/transportation/ideas-insights/article/-/asset_publisher/LCcgOeS4t85g/content/vietnams-growth-strategy-roads-rails-rivers/10192

WORLD BANK GROUP, “Doing Business 2010”,
<http://www.doingbusiness.org/reports/global-reports/doing-business-2010/>

6.2 巴拿馬運河拓寬

6.2.1 巴拿馬運河拓寬背景

巴拿馬運河是銜接大西洋與太平洋重要之通道，更扮演著國際貿易重要橋樑，據巴拿馬運河之官網年報(2015)所示：目前每年大約有 12,000 艘來自世界各地船舶通過運河，其中貨櫃船數約占四分之一。在未拓寬之前，由戴輝煌 et al. (2015)相關研究所示：近年來每年的貨櫃船數量與航線，有持續稍減的現象，此一衰退數據早已受到巴拿馬運河管理當局重視。目前運河已經竣工完成拓寬，所能通行之貨櫃船最大船型，將由 4,500 TEU 提升至 14,000 TEU，預計美東航線勢必受到影響而產生重組現象(戴輝煌 et al., 2015)，此與我臺灣港群未來的營運與發展有直接相關，即是本研究所關切的議題。

觀察巴拿馬運河拓寬後的第一階段（初期），各大航商正在逐步進行航行船舶佈署與運能投入之調整，但似不利於高雄港之美東航線佈署。本計畫僅就與高雄港較為有關之 CKYHE 與 G6 聯盟，簡述其在美東航線之投入如后：

1. CKYHE 聯盟（圖 6.8）：

2015 年 Q4 東向/西向美東航線各有 5、2 條，其中有靠泊高雄港的美東航線，東向有 2 條(AW3/AWY/AWE3、以及長榮獨營的 NUE)，西向有 2 條(AUE/AW8/AWE8、AWE4/AWK/AW4/AWE4/NUE4)。配合巴拿馬運河之拓寬，其將東向美東航線改佈署較大船型，進而進行航線整併，東向/西向各減少一條，即減至 4、1 條，其中，靠泊高雄港的美東航線，東向與西向各餘 1 條，而且這 2 條航線，全部改為環球式美東航線。

2. G6 聯盟（圖 6.9）：

2015 年 Q4 東向/西向美東航線各有 4、3 條，其中，有靠泊高雄港的美東航線，僅有東向 1 條。配合巴拿馬運河之拓寬，其進行航線整併，東向減少一條，即成為東向/西向各有 3 條，其中，靠泊高雄港的美東航線竟由東向改成西向（1 條）。

由以上結果顯示，巴拿馬運河拓寬後初期的供給面變化，貨櫃航線船舶將呈現大型化的趨勢。由於此階段受紐約港域船型之限，船型由 4500 TEU 提高至 8500 TEU，運能提升將導致亞太區域東向與西向美東航線重新佈署。如以上所述，不管是 CKYHE 或是 G6 聯盟，由亞洲迄美東的航線，均有減少的情況產生。同時，靠泊高雄港的美東航線，也同時減少，這些聯營航線甚至變成 1983 年至 2003 年時代的環球航線佈署模型。

由需求面來看，美國東岸為運河最具競爭優勢的經濟腹地，而西岸則是複合運輸模型最具競爭優勢的範圍；中西部地區，即是巴拿馬運河模型和複合運輸模型互相搶奪的經濟腹地。如運河拓寬，船型由 4,500 TEU 提高至 8,500 TEU，單位成本降低，若同時造成衍生需求致使 OD 貨量增加，將影響北美東岸經濟腹地的改變，造成美東、美西航線與陸橋貨間的競爭與運量的變動。

再者，巴拿馬運河的拓寬亦影響東/西向美東航線櫃源之競合。東向（經巴拿馬運河）與西向（經蘇伊士運河）的美東航線（圖 6.10），受乘載率、航行時間成本與單位運輸成本所影響，存在競爭關係。巴拿馬運河在大西洋側之經濟腹地，約可分為美東、墨西哥灣、中南美及南美等四大腹地，東亞遠洋航線在對於後三者腹地之貿易上，仍應會採用經巴拿馬運河較具效益。然因大圓航線之航行特性，部分美東市場經蘇伊士運河（西向美東航線）會是較具競爭優勢。

下一小節將針對目前巴拿馬運河拓寬後的變化，運用模型分析未來整體海運發展可能的趨勢，據以進一步瞭解其對高雄港的影響。

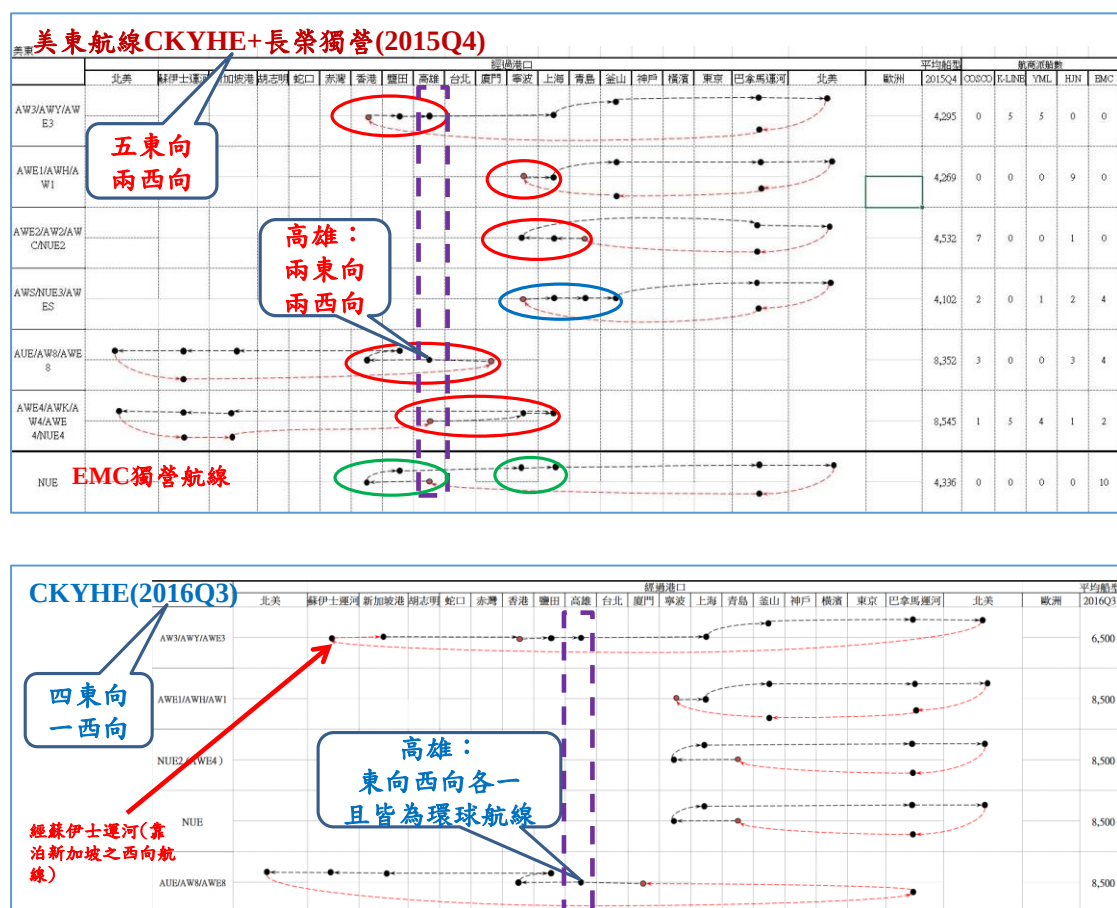


圖 6.8 CKYHE 聯盟巴拿馬運河拓寬前後的高雄港航線佈署變化

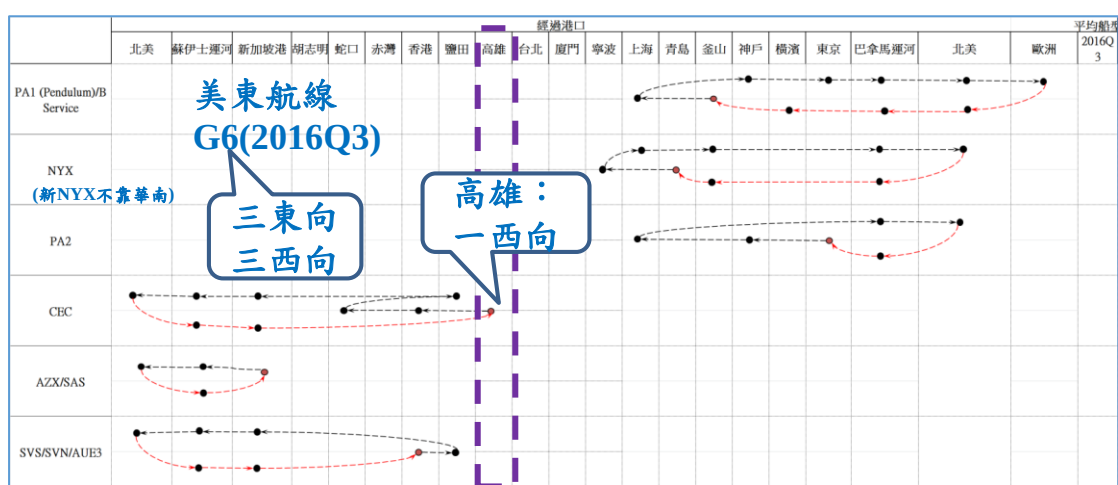
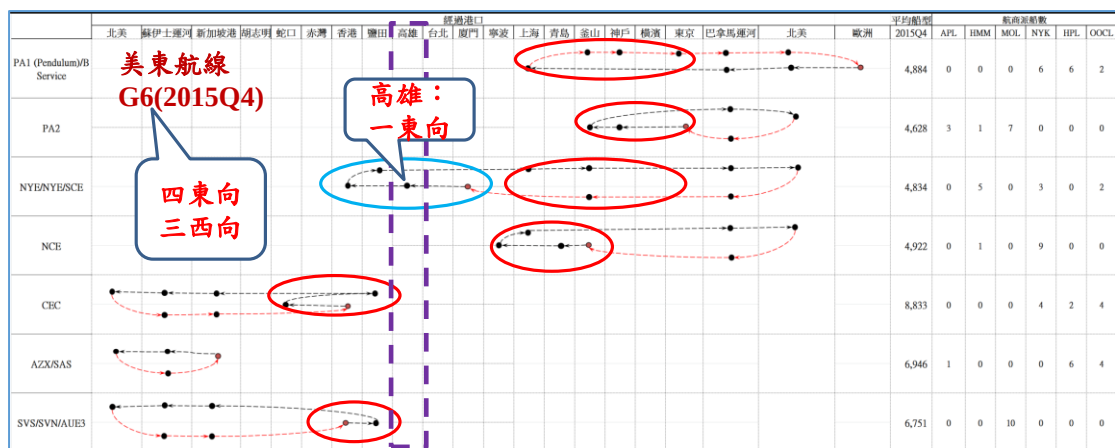


圖 6.9 G6 聯盟巴拿馬運河拓寬前後的高雄港航線佈署變化

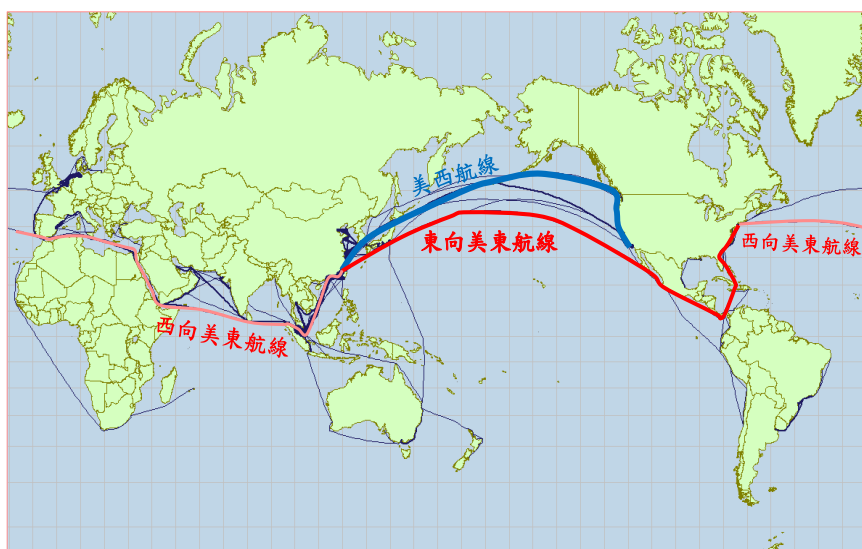


圖 6.10 巴拿馬運河拓寬後美西與美東航線配置示意圖

6.2.2 數值測試

如上述巴拿馬運河拓寬的背景下，本情境可在進一步分成三個子情境進行分析，針對巴拿馬運河拓寬後，對於供給面、需求面以及東/西向美東航線變動進行分析，分述如后：

1. 子情境 1：供給面--貨櫃航線船舶大型化

就供給面而言，貨櫃航線船舶將呈現大型化的趨勢，在第一階段由於受紐約港域船型之限，預期船型由 4500 TEU 提高至 8500 TEU，亦即船型變化的幅度約為兩倍，因此透過調整模型輸入之網路，提升航線容量為兩倍，呈現航線運能提升的情況，同時維持需求不變下進行本子情境之測試。

由結果表 6-5 可看出，經巴拿馬運河東向美東之航線運量將有 19.15% 的成長，而美西航線將減少約 20.13%。顯示當運河拓寬後可容納更大型的船舶，使單位運輸成本降低，促使運河模型相較複合運輸模型將會更具競爭優勢，進而使航線配置產生變化（圖 6.11）。

表 6-5 東向美東航線船型倍增情境下航線流量變動（單位:TEU）

航線 \ 情境	原始情境	船舶大型化	變動率
東向美東	505,625.63	604,471.25	+19.15%
美西	460,725.30	345,195.13	-20.13%

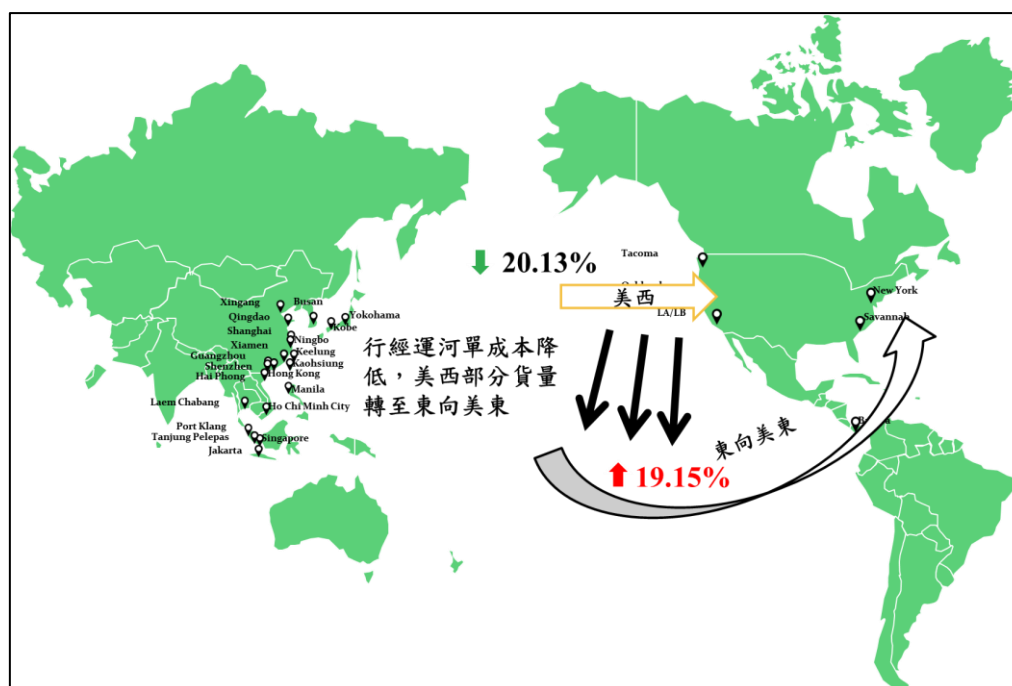


圖 6.11 供給面變動下航線流量分佈之變動

2. 子情境 2：需求面--美東貨運需求增加

就需求面而言，美國東岸為運河最具競爭優勢的經濟腹地，而西岸則是複合運輸模型最具競爭優勢的範圍，而居於兩者間的中西部地區，即是巴拿馬運河模型和複合運輸模型互相搶奪的經濟腹地。當運河拓寬的第一階段令船型由 4,500 TEU 提高至 8,500 TEU，將會影響北美東岸經濟腹地的改變，造成美東、美西航線與陸橋貨間的競爭與運量的變動。故當船舶容量提高為兩倍下，考慮美東航線之服務市場將擴大，需求量增加。因此亦透過調整美東港口 OD 量增加為原本的兩成而美西需求不變下，了解運能提升與美東貨量增加對貨物流量配置的影響性。

由求解結果表 6-6 可看出運河拓寬對供需層面產生的影響，將促使貨運流量分佈之變動，以經巴拿馬運河之東向美東航線來看，其占北美東岸市場貨量之比例增加 10.03%，而美西則因而減少 10.03%（如圖 6.12）。其結果顯示運河拓寬下使其單位運輸成本降低，再加上美東市場擴大下發揮規模經濟之集中效果，可能促使更多貨物經運河運送至美東，而衝擊複合運輸模型，降低原本由美西經陸橋運至美東的貨量。

整體而言，由於美國中西部地區傳統上是巴拿馬運河和複合運輸兩模型主要的市場競爭地，當運河拓寬完成後，若以較大船舶行駛，能降低其單位運輸成本，預期將使運河對於美東市場之競爭腹地向左擴張。根據 MAFC(2011)研究，以美東航線為例，如船型由 4,500 TEU 提高至 8,500 TEU，市場範圍由 46%增至 63%（如圖 6.19），與本計畫觀察結果相近。

表 6-6 美東航線經濟腹地擴大情境下航線流量變動（單位:TEU）

航線 \ 情境	原始情境		美東貨運需求增加 以及船舶大型化		變動率
	貨量(TEU)	比率	貨量(TEU)	比率	
東向美東	505,625.63	52.32%	712431.60	62.35%	+10.03%
美西	460,725.30	47.68%	430192.89	37.65%	-10.03%

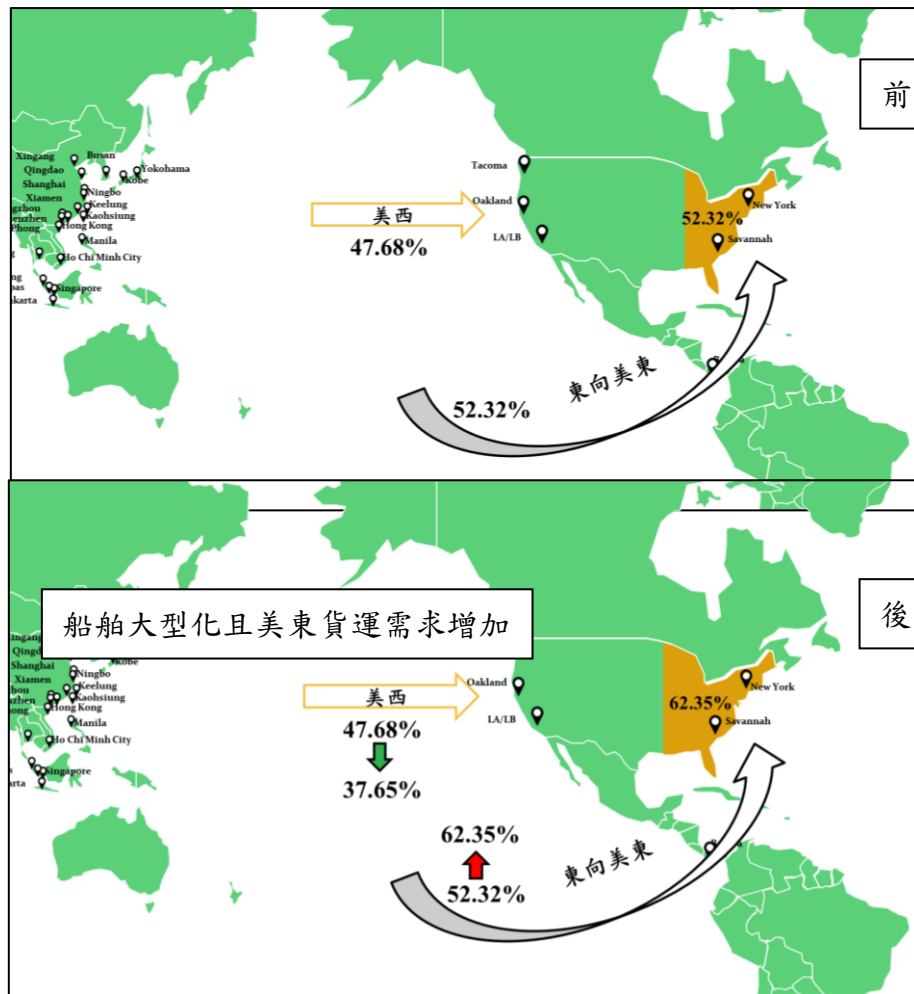


圖 6.12 巴拿馬運河對美東經濟腹地之變動

3. 子情境 3：東/西向美東競合分析

本子情境分析旨在分析東/西向美東航線櫃源之競合變動。東向（經巴拿馬運河）與西向（經蘇伊士運河）的美東航線，受乘載率、航行時間成本與單位運輸成本所影響，存在競爭關係。在美東需求增加以及船舶大型化下，巴拿馬運河拓寬令東/西向航線於亞太區域的經濟腹地更為明確，以華中、華南為分界點，東向之經濟腹地以東北亞、華中以北為主，西向則以華南以南為主。承接子情境 2，當船舶容量提高為兩倍下，且美東航線之服務市場擴大，需求量增加為原本的兩成，分析東/西向美東航線於亞太區之經濟腹地分界之變動情形。

當運河拓寬後，若貨物量充足，採用經巴拿馬運河的東向美東航線較具效益（如表 6-7），其運量提升 40.90%。對於華中華北的貨物而言，在具有足夠之乘載率下，其毋須再向東南亞地區集貨而能直接往美東運送。而華南、東南亞地區則於區域內進行集貨並向西運送。故東向與西向美東的貨源分界點，將會根據船型與貨運需求、成本之變動而決定其界限的向南或北偏移程度。

表 6-7 西向與東向美東之航線運量變動率（貨量充足下）

航線 \ 情境	美東貨運需求增加以及船舶大型化下
西向美東	-11.32%
東向美東	+40.90%

以 G6 聯盟 2015 年 Q4 東向美東之航線 NYE/NYE/SCE 為例，該航線於亞太區原靠泊華北至華南區域之港口（圖 6.13）。但巴拿馬運河拓寬後，根據模型求解，由華南到華中的量降低 29%，華南區域貨物將轉為往西向美東運送（圖 6.14）。實際亦觀察到 G6 聯盟於 2016 年 Q3 將航線調整為僅靠泊華中以北地區之港口，顯示東/西向美東航線於亞太區之經濟腹地分界將更為明確。



圖 6.13 巴拿馬運河拓寬前航線 NYE/NYE/SCE 之配置



圖 6.14 巴拿馬運河拓寬後航線 NYE/NYE/SCE 之配置

6.2.3 結果分析

本情境分析旨在探討巴拿馬運河拓寬後，美東航線可佈署較以往更大型船舶對運量之影響，此外，亦擬進一步探討美東航線提高船型後，對美東航線經濟腹地之影響、以及對東/西向美東航線競合之影響，並輔以國外海運實務加以補充分析此三子情境（圖 6.15）。



圖 6.15 巴拿馬運河拓寬後的航線可能變化情境

資料來源：

<https://www.bbh.com/en-us/insights/redrawing-global-shipping-routes--the-panama-canal-gets-an-upgrade/10940>

1. 子情境 1：貨櫃航線船舶大型化

巴拿馬運河在 2016 年 6 月拓寬啟用，使船舶通過運河連接太平洋與大西洋的北美兩岸港口之接納能量增加，根據本研究之結果亦顯示，在起運港為亞洲(東亞、東協)，目的港為北美東西兩岸港口的假設不變下，運河拓寬後使大型貨櫃船可從美西經運河至美東港口，而增加使用運河向美東的貨物流量，甚至能將航段再加以延伸而形成環球航線。

根據過去研究，巴拿馬運河拓寬後最大之影響，係為貨櫃航商在東亞至美東航線，甚至在全球航線佈署上均有所改變，據 Rodrigue (2010)、陳繼紅 et al. (2013)及戴輝煌 et al. (2015)的預測，巴拿馬運河拓寬之後，全球貨櫃航線將形成如圖 6.16 之環赤道航線、南北鐘擺式航線、越洋鐘擺式航線、以及區域內部中轉運輸支線等四個主要部分。港群部分之影響，則可從北美區域港口、中美/加勒比海區域港口、南美區域港口；再延伸到亞洲區域港口群。其中大型母船之佈署，將有效串聯北美東西岸和中美/加勒比海區域形成深水港。然而受限於美國境內之內河/內海/沿岸航行權之因素(cabotage)，非美國籍的大型貨櫃母船，是無法在美國東/西兩岸港口，進行美國本地之國內貿易貨物之裝卸，因此，未來運河拓寬後，越太平洋美西航線與美東航線，應該仍會維持分離情勢。

本研究結果顯示：運河拓寬後將使部分貨櫃由「複合式運輸方式」轉為使用「全水路運輸方式」，主要乃因「全水路運輸方式」可因巴拿馬運河拓寬而使用

較大船型，因而降低單位運輸成本產生之結果。惟實務上，由於北美與亞洲的貿易為不對稱貨物流向，此航線有季節性需求及空櫃調度平衡，涉及通過運河費用及等候成本，航線去程及返程彎靠港口會有差異，由於航運聯盟船隊出船比例、攬貨能力、是否擁有專用碼頭等協商實力，亦會影響航線安排彎靠港口及順序。而因大型貨櫃船（8,000 TEU 以上）之持有營運成本較高(如建造費、租金、港口費、油料等)，通常會佈署在貨載實櫃量大的起迄港間的航段，以達到最大效益。巴拿馬運河拓寬後，北美美西航段延伸至美東後產生的費用／效益（與原有接駁運輸比較）仍待後續實證觀察分析。

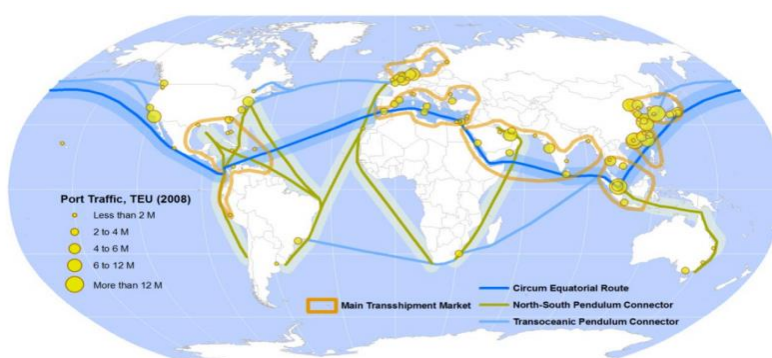


圖 6.16 巴拿馬運河拓寬後全球貨櫃航線配置示意圖

資料來源：Rodrigue (2010)。

2. 子情境 2：美東貨運需求增加

本子情境主要用以分析當運河拓寬後，大型貨櫃船可由美西港口延伸至美東港口，衍生原美國中部及東南區域貨載由美西港口以鐵公路運送，將改由經運河運送至美東港口，再由鐵公路運送至美國中部及東南區域，此會造成美東地區貨量增加（圖 6.17）。

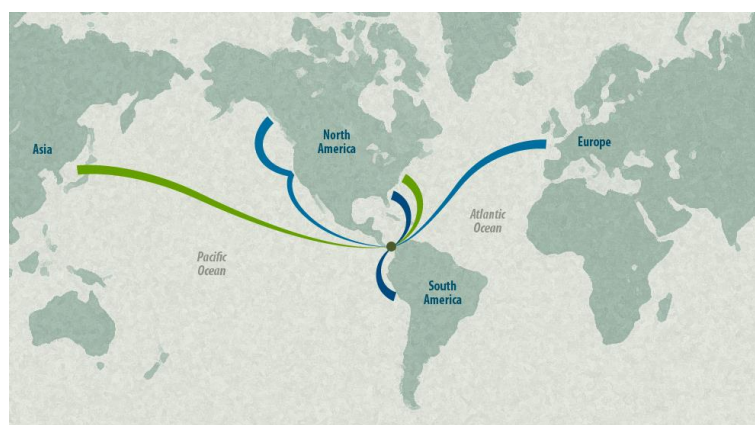
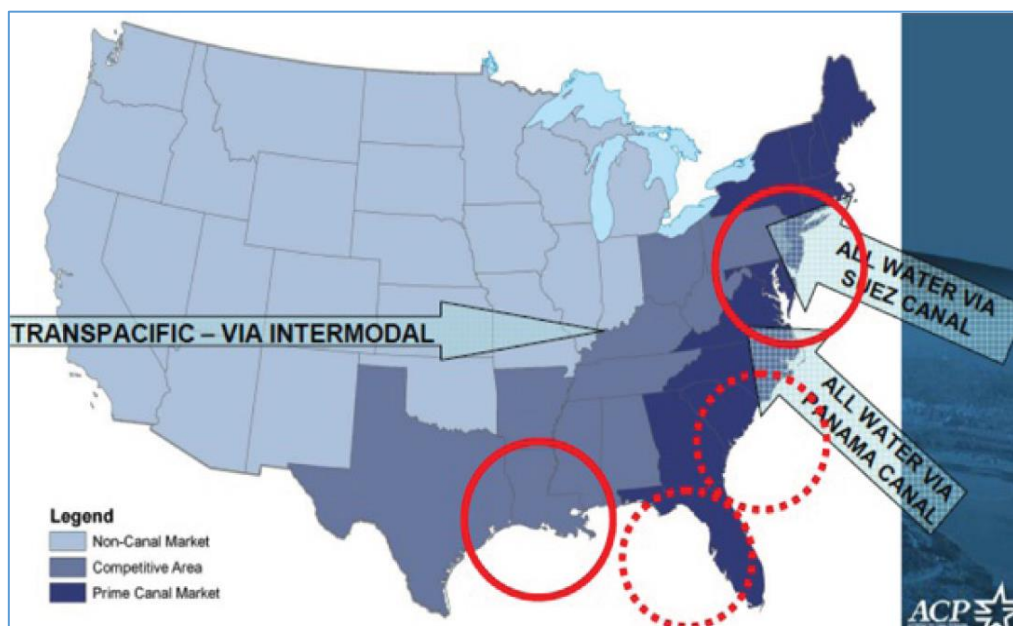


圖 6.17 美東貨源增加流向示意圖

資料來源：<http://latinports.org/en/california-ports-compete-with-panama-canal-and-lazaro-cardenas/>

實務上，航商在航線的選擇，除船舶大小的調配（亦考慮航速及耗油），貨載的流向亦是考量因素。如亞洲（起運港）至美東港口（目的港）的貨量增加，此是美國內陸海鐵運輸與巴拿馬運河海運方式的競爭（二次裝卸費用、運費及時間成本）。

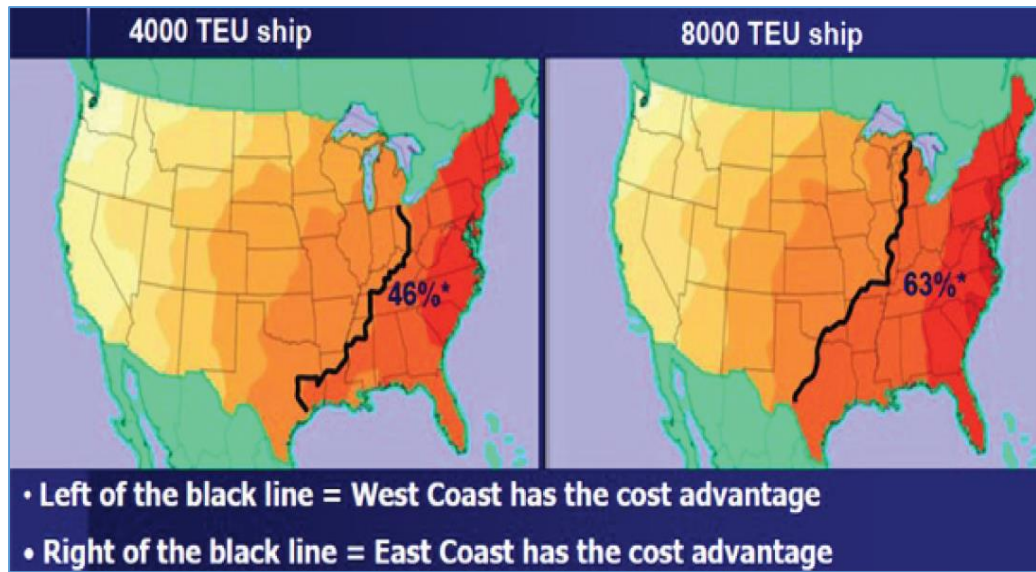
由本研究分析結果可發現，運河拓寬後會影響運河與複合運輸對北美經濟腹地的改變，主要原因在於運河拓寬會產生航行成本降低，導致市場份額改變。傳統上，美國中西部地區是巴拿馬運河和複合運輸兩模型主要的市場競爭地，依巴拿馬運河 2015 年官網與戴輝煌 et al. (2015)之報告，經巴拿馬運河、複合運輸模型和經蘇伊士運河等三種模型，在美國市場之競爭版圖如圖 6.18 所示：運河拓寬後，圖內最右邊區塊的美國東岸，仍是其最具競爭優勢的經濟腹地，最左邊區塊是複合運輸模型最具競爭優勢的範圍，而中間區塊則是美國中西部地區，即是巴拿馬運河模型和複合運輸模型互相搶奪的經濟腹地。另外，北美東部的波士頓和紐約等地區，因大圓航線之特性，亦會使西向經蘇伊士運河至美東航線在此區，有其競爭優勢。



資料來源：MAFC (2011)

圖 6.18 複合運輸模型與全水路模型經濟腹地競爭示意圖

另外，根據 MAFC (2011)之研究，運河在未拓寬前僅能以 4,000 TEU 船舶航行，相對複合運輸等其他模型而言，最佳的競爭經濟腹地約占美東沿岸等 46% 的市場範圍（圖 6.19），但在 2016 年運河拓寬後，若改採 8,000 TEU 船舶航行，則最具競爭優勢之經濟腹地則可以擴充至 63%，該結果運本研究測試結果相近，也進一步驗證本模型的正確性。



資料來源：Mid-America Freight Coalition (MAFC) (2011). The Far Reaching Effects of Canal Expansion. Available at: <http://midamericafreight.org/2011/03/panama-canal-expansion/>

圖 6.19 巴拿馬運河拓寬前後經濟腹地變化示意圖

綜合而言，巴拿馬運河會與美國內陸複合運輸模型相互競爭美國中西部之市場，然而市占率能增加多少，主要是受到美東港口建設和運河費用及美國內陸運輸費用等總成本之影響，若單位運輸成本能降更低，則能促進巴拿馬運河模型的發展。因為隨著大型船舶之佈署，若能降低每單位航行成本，經巴拿馬運河模型相較複合運輸模型，將會更具競爭力，尤其對美國中西部市場的競爭會更具優勢。根據 Rodrigue (2010)研究顯示，若每日每 TEU 成本能降減少 75~125 美金（圖 6.20），則預期全水路經巴拿馬運河模型之市場率會有 30%以上的成長。整體而言，相關總航運成本，仍是受到運河費用、美國內陸運輸費用和美東港口建設等因素的影響。

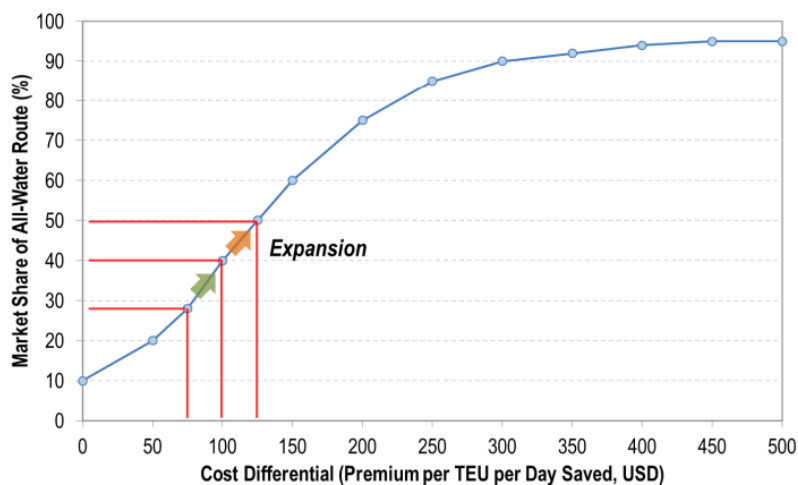


圖 6.20 巴拿馬運河拓寬後全水路模型市占率變化示意圖

資料來源：Rodrigue (2010)。

3. 子情境 3：東/西向美東競合分析

如研究結果顯示，由於高雄港正好位處於東/西向美東航線的交界點，雖然高雄港原以東南亞東向往北美的轉運角色，然而若運河拓寬後的東向美東航線，改從華中經日韓至北美東岸；而西向美東航線則由華南、東協經蘇伊士運河至北美東岸，則不論東向、或西向美東航線皆將令高雄港處於不利的地位。

本研究除發現上述現象外，亦延伸出航商對東/西向美東航線的選擇比較問題，亦即東/西向航線的競合將影響其在亞太經濟腹地分界的變動。由於巴拿馬運河拓寬，東向美東航線不再受限於船型，航商有比較大的自由度選擇東向、或西向航線，以及其靠泊港口之順序，甚且選擇區域轉運港、洲際樞紐港(圖 6.21)。在實務上，龍頭航商如 Maersk Line 擁有最大及數量的大型貨櫃船，針對全球航線的選擇上，在越太平洋(美東)與遠東-歐洲(美東)的方向，運河的通過相關費用及等候通過時間成本等，亦會列入細部考慮，而其選擇行為亦會影響其他航商聯盟的競爭回應。

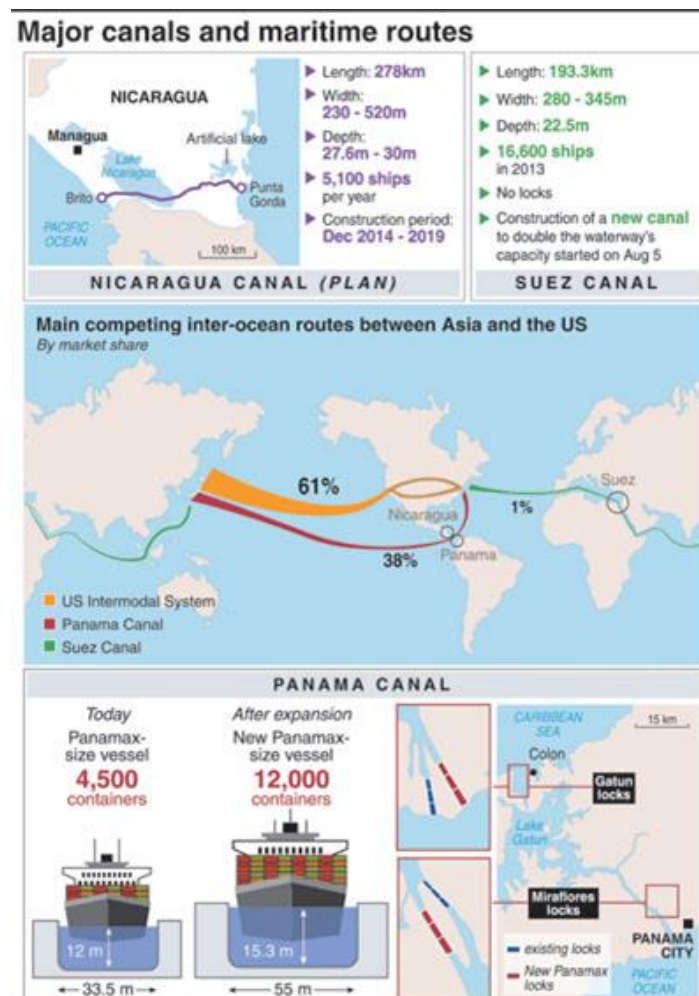


圖 6.21 巴拿馬運河與蘇伊士運河比較

資料來源：<http://www.breconder.com/index.php>

綜觀三個子情境之研究結果，巴拿馬運河拓寬後，東向（經巴拿馬運河）與西向（經蘇伊士運河）的美東航線，存在某些程度上的競爭關係，亞太（傳統美西航線）與北美東岸各大經濟腹地之間，亦會存在著運河與複合運送行為的競爭特性。雖有助於航運船舶數量的提升，但根據近期發展，主要策略聯盟在亞洲迄美東的航線數均有航線整併（減少）現象；同時在高雄港的美東航線數，亦有減少之相同現象，顯見這是聯盟航商緣於「船型變大」後，眾航商在短期內，為因應「運能供給擴展；但櫃源需求短期內難以提升」的情況下，不得不為之策略模型，顯示短期內，巴拿馬運河對我國高雄港不見得會有優勢產生。

6.3 主航線泊靠港分散化

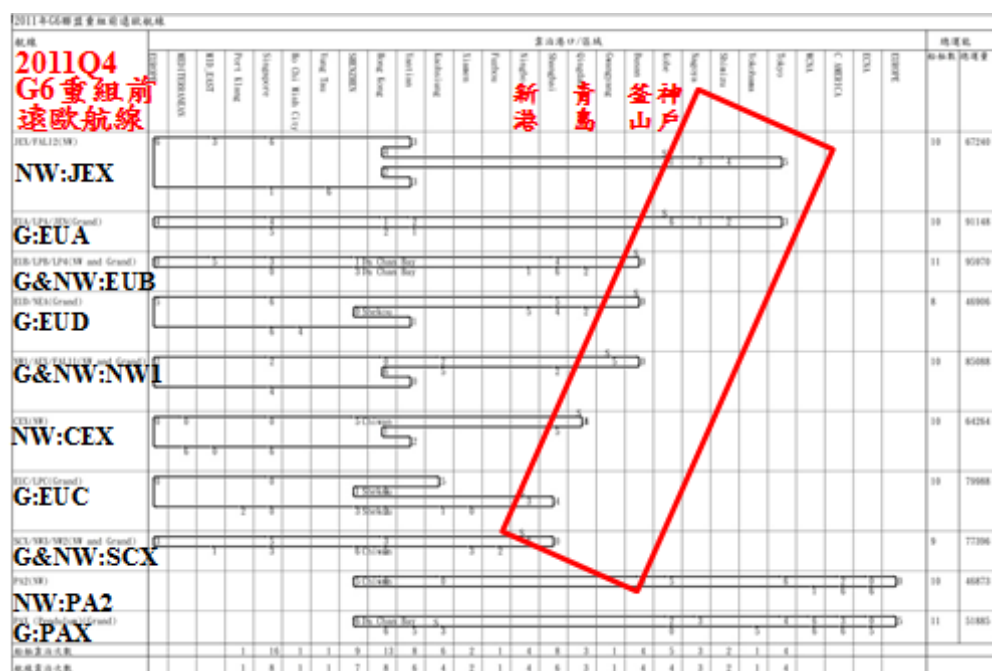
6.3.1 靠泊港分散化背景

所謂「靠泊港分散化」乃主航線的大型船舶不會僅集中於少數大型樞紐港靠泊，而是分散在不同港口靠泊。此現象在船舶大型化、策略聯盟普及的今日尤為盛行，主要乃因策略聯盟航商對其聯營航線之佈署會朝向聯盟化，亦即航線佈署由航商策略聯盟共同規劃，因而其不是單一航線逐一佈署，而是同一貿易路線(如遠歐航線)整體考量再加以佈署。

如以 G6 聯盟重組前/後的西向遠歐航線佈署為例（圖 6.22、圖 6.23），即可發現其「靠泊港分散化」相當顯著。在 2011 年 G6 聯盟重組前，其有西向遠歐航線 8 條；至 2015 年（G6 聯盟重組後），西向遠歐航線整併至 5 條，然由於平均船型由 7,795TEU 增至 12,293TEU，增加近六成，因而總運能僅減少 5.0%（表 6-8）。

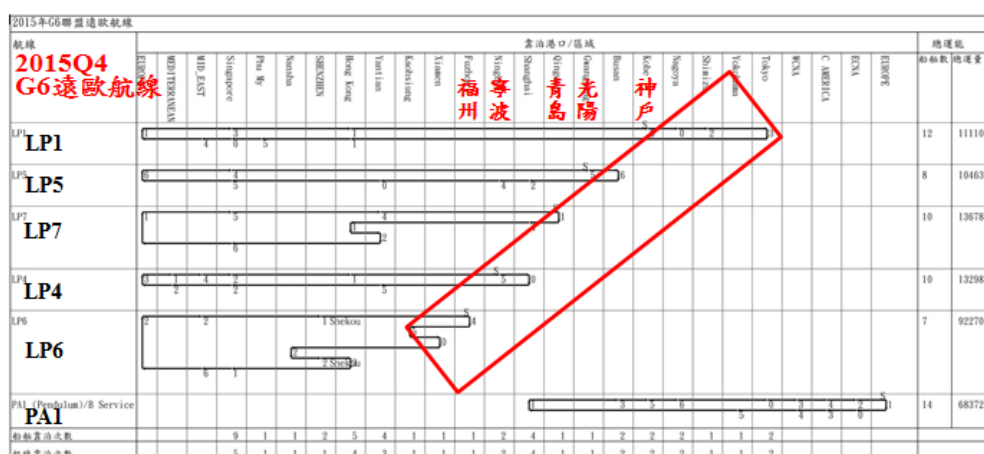
表 6-8 G6 聯盟重組前/後西向遠歐航線之比較

	航線數	平均船型 (TEU)	總運能 (TEU)	起始港		亞太區域內靠泊港	
				所有航線 起始港總數	平均每一起始港之 航線數 (5)=(1)/(4)	所有航線靠 泊港總數	平均每一起始港之 航線靠泊 港口數量 (7)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
重組前 (2011Q4)	8	7,795	608,000	4	2	19	6.8
重組後 (2015Q4)	5	12,293	577,787	5	1	18	5.8
增加率 (%)	-37.5	57.7	-5.0	25.0	-50.0	-5.3	-14.7



- 註：1.除航線 PA2 與航線 PAX 為東向遠歐航線外，其餘皆為西向遠歐航線。
2.重組前原有兩個聯盟：大聯盟(Grand, G)與新世界聯盟(New World, NW)。

圖 6.22 G6 聯盟重組前東/西向遠歐航線 (2011 年 Q4)



- 註：除航線 PA1 為東向遠歐航線外，其餘皆為西向遠歐航線。

圖 6.23 G6 聯盟東/西向遠歐航線 (2015 年 Q4)

就起始港而言，G6 聯盟重組前計有 4 個起始港，平均每一起始港有 2 條航線，重組後計有 5 個起始港，且每一條航線之起始港皆不同，此顯示起始港之佈署有「分散化」現象。此外，就亞太區域之靠泊港而言，重組前/後每條西向遠歐航線各靠泊 6.8 與 5.8 個港口，但靠泊港的總數卻僅相差一個（各為 19 與 18 個），此顯示：重組後各航線的起始港或一般靠泊港皆相當分散，此即「靠泊港分散化」現象。

事實上，「靠泊港分散化」不僅發生在 G6 策略聯盟的遠歐航線，亦發生在主航線，如美西航線與東/西向美東航線等（圖 6.24、圖 6.25）；而且不僅 G6

策略聯盟，其他聯盟策略亦是，如 CKYHE 聯盟。以下本研究將運用海運模型，就「靠泊港分散化」現象之影響進行分析。



圖 6.24 G6 聯盟美西航線 (2015 年 Q4)

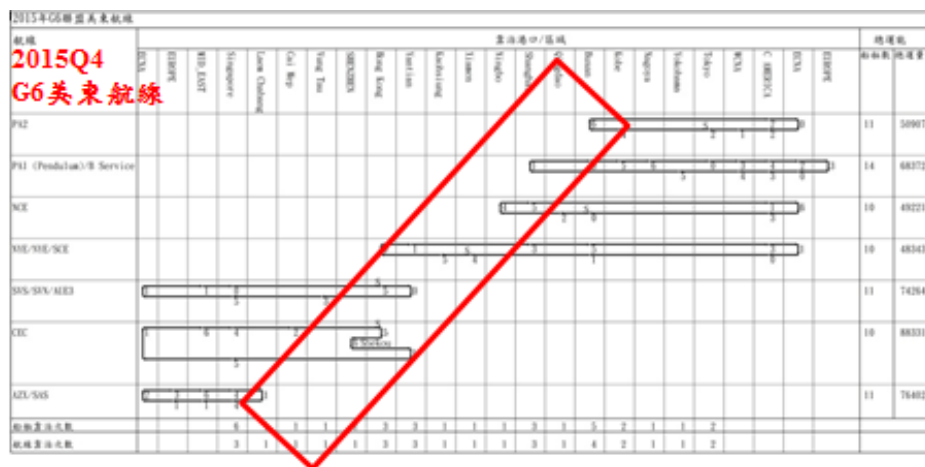


圖 6.25 G6 聯盟東/西向美東航線 (2015 年 Q4)

6.3.2 數值測試

如前所述，歐美聯營航線之「靠泊港分散化」現象，乃策略聯盟航商在船型大型化之壓力下，不會僅集中於少數大型樞紐港靠泊，而是分散在不同港口靠泊。而此分散化之現象早在 2011 年前後便逐漸顯示，並於近年有更加明顯之趨勢，本研究運用海運模型，針對此靠泊港分散化之影響進行分析，並由網路成本面之變動探討此現象。

本計畫在船型增為兩倍而需求不變之假設下，透過調整模式之輸入航線，給定分散化前後不同之網路架構，分別以分散化前後之航線網路進行模式之求解，分析在船舶大型化的情況下，新舊網路的成本變動，並驗證此模式能否反映實際航商的重組行為與靠港模式，以呈現船舶大型化下促成靠泊港分散化之現象。

本計畫以 G6 聯盟之西向遠歐航線進行測試，分別帶入 2011 年第四季 G6 聯盟重組前的航線佈署（圖 6.22）以及 2015 年第四季之航線佈署（圖 6.23）進行求解。航線重組前/後之主要差異在於聯盟航商於各港間投入之運能，如表 6-8 所示，該航線重組前/後之西向遠歐航線數由 8 條整併成 5 條，然由於平均船型由 7,795 TEU 增至 12,293 TEU（增加近六成），因而總運能僅減少 5.0%。而就航線起始港而言，重組前計有神戶、釜山/光陽、青島與新港四個起始港，平均每一起始港有兩條航線，重組後計有五個起始港，包括神戶、釜山/光陽、青島、寧波與福州五個起始港，亦即每一條航線之起始港皆不同；就亞太區域之靠泊港而言，重組前/後平均每條航線各靠泊 6.8、5.8 個港口。易言之，不論就起始港與靠泊港皆有「靠泊港分散化」之趨勢。

由求解結果表 6-9 可發現，2015 年第四季 G6 聯盟之西向遠歐航線的靠港模式成本較低，減少約 28,594,003 美金之成本。此結果與靠泊港分散化之佈署行為相符，表示在船舶大型化下，航商於各港佈署的航線呈現減少之趨勢，而使部分大型港口船舶靠港次數降低，以降低其營運成本。

表 6-9 集貨分散前後 G6 聯盟西向遠歐航線成本

航線	船舶大型化下之航線成本(USD)
2011 年 Q4 G6 聯盟重組前遠歐航線	1,531,099,555.76
2015 年 Q4 G6 聯盟遠歐航線	1,502,505,552.91

6.3.3 結果分析

本階段旨在分析在船舶大型化的新舊網路成本變動差異性，並驗證本計畫所構建的模式，能否反映出實際聯盟航商的歐美聯營航線重組行為與靠港模式。研究結果發現：從航運實務角度，來解釋此一測試之結果，所具體呈現的意涵，是符合航商之理性行為，呈現出在船舶大型化下，所促成之靠泊港分散化現象。

綜論這些年來，各大聯盟航商在佈署主航線時，其靠泊港分散化之成因，由前述情境分析結果可推測出，主要應是受到「船型」、「貨源」間的供需關係的影響，特別是當貨櫃船舶大型化下，整體運能增大時，航商在營運上，將會減少停靠貨源較少的港口，以期降低整體的營運成本，同時，亦必須配合各大航商間

「策略聯盟」的共同決策行為——聯營航線佈署聯盟化，更會促成此一現象的產生。

至於有關主航線靠泊港分散化對我國港口營運之影響，綜合上述分析可知，主航線靠泊港分散化現象早已產生，任一條眾多航商聯營後所產生之貿易路線，大多佈署多條航線，同一聯盟不同航商之間，亦會利用不同的主航線對同區域內不同樞紐港進行集貨。因此，傳統上，某單一大港統包全區域內之主航線與集貨航線的超級樞紐港現象，似已難以發生。

此外，近年來策略聯盟力量逐漸變大，加上船舶大型化之影響持續產生，「靠泊港分散化」現象將更為顯著，因而傳統航商在佈署主航線的思維已經改變了，一切應以「貨源」配合「船型」，再配合「聯盟」行為為主。此反映如高雄港仍持續處於貨源不足的情況下，一旦貨櫃航商聯盟佈署新的主航線時，可能會降低其選擇靠泊高雄港的意願，再加上巴拿馬運河拓寬等衝擊，未來似將令我國高雄港，很難再有回復昔日各種主航線樞紐港的機會。因而我國航港發展的策略上，建議未來宜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，以確保穩固既有的航商與航線靠泊為主。

第七章 結論與建議

本計畫以本所「國際海運資料庫」所蒐集亞太區域主要港口之實際航線資料，建立連結亞太重要貨櫃貿易路線為核心之定期航運網路模型，並接續探討東協運量增加、巴拿馬運河拓寬、主航線靠泊港分散化等多項情境分析。本研究獲致之結論與建議分述如下。

7.1 結論

1. 海運產業運作乃一多樣而高度複雜的系統，航運市場易受內外因素影響而更動，決策行為影響因素眾多且複雜，實難以用單一網路模型完整描述。本研究以巨觀分析為目標，挑選其中主要的基本影響因子(時間、成本等)並作適當簡化後建構模型，接續透過有限參數預估海運整體之趨勢，可作為長期策略性規劃之參考。
2. 近年船舶排程與指派之問題已有廣泛研究，但定期航班網路設計，特別是考慮港口相關運作之研究仍屬少數。本研究首先蒐集大量資料，建構出基本的海運網路，並作為模型輸入之資料以能進行測試。於模型中考量港口擁擠與乘載率因素，並以使用者均衡作為運量指派之基礎，經小型網路測試可發現，本研究建構之模型能經由調整參數與數據，合理地求解出不同情境下可能的流量分配狀況，並進一步進行實證分析，其結果能呈現轉運之行為，並隨參數之調整而改變貨櫃流量分佈結果，且該結果與現實情況相近，顯示本計畫提出之模型具備良好反應實際之能力。而透過以裝卸量為基準，校估本計畫模型之參數，降低預估之平均誤差，並使本研究建構之模型能更貼近真實，提升模型的實際預測力，而能用以評估未來海運趨勢。
3. 本計畫針對目前海運市場重要的議題進行分析，包含東協運量增加、巴拿馬運河拓寬以及靠泊港集貨分散化等，各情境分析結果說明如下：
 - (1)東協運量增加:過去臺灣港口因地理位置位於東北亞及北美航線的交接處，且港闊水深並採開放策略，吸引歐美日韓等世界大型貨櫃航商進駐，相對於東協各國早期港口多機具簡陋、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。模式分析結果知，當東協貨量微幅增加時，有助增加高雄港之運量，然若其貨量持續大幅成長時，則反對高雄港造成衝擊。目前東協經濟持續成長，加上東亞自由貿易區機制更加擴大，遠洋貨量大幅增加，隨著區域經濟發展與政策開放，其港埠設施也持續提升，在港口能接納大型貨櫃船直接彎靠的情況下，其貨載可減少經高雄港的二次轉運作業，衝擊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。

- (2)巴拿馬運河拓寬：巴拿馬運河拓寬已於2016年竣工，本模式主要由供給面、需求面以及東/西向美東航線變動，分析其拓寬後對航運網路流量分佈影響。就供給面而言，在巴拿馬運河拓寬後的第一階段，預期船型將由 4,500 TEU 提高至 8,500 TEU，為反映航線運能提升的情況，於模式中將調整航線容量為兩倍，結果顯示經巴拿馬運河東向美東之航線運量將有 19%的成長，而美西航線將減少約 25%，兩者佔比亦有變動。當運河拓寬後可容納更大型的船隻，降低單位運輸成本，促使運河模式相較複合運輸模式(+ land bridge)更具競爭優勢。
- (3)靠泊港集貨分散化：近年來航商佈署呈現靠泊港集貨分散化的趨勢，經由模型求解在船舶大型化下不同航線佈署下的成本，結果顯現靠泊港分散的佈署方式成本較低，與實際情況相符。代表船舶運能過剩下，同一聯盟內的航商為避免與聯盟夥伴互相競爭，因此分配不同船舶靠泊不同港埠，以獲得足夠之貨源。
4. 整體而言，本研究透過情境分析發現，受貨源、船型大小、航線佈署等因素交錯影響，未來港口層級化的現象將更為明顯，若未能及時提出對策因應，將可能發生貨源不斷減少的惡性循環，在櫃源減低的情況下，我國重要國際港（如高雄港）由洲際貨櫃中心變成區域樞紐的隱憂將持續發酵，因此如何積極開拓貨源，同時更新港口設備提升服務效率，係我國港群重要發展課題。

7.2 建議

1. 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，投入與鄰近港埠競逐：依本研究所納影響因子來看，掌握「貨源」為港口競爭關鍵因素之一，尤其在目前運能過剩情況下，必須擁有足夠的貨量才能發揮使用大型船舶的經濟效益。然臺灣近年進出口櫃量成長遲緩，欲鞏固高雄港於亞太區域地位，應由提升轉口貨櫃量著手，積極爭取轉口櫃量，投入與鄰近港埠的競逐。在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，做為主要關注的「顧客群」，以確保穩固既有的航商與航線靠泊。並發展自由港區內之多國貨櫃(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，並減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。
2. 應以航運聯盟思維，研擬港口吸引航商靠泊之相關策略：近年策略聯盟力量逐漸變大，加上船舶大型化的趨勢，已經改變了傳統航商在佈署主航線的思維，以「貨源」配合「船型」再配合「聯盟」行為，成為影響現行航線佈署與靠港選擇的因素，再加上 2016 年巴拿馬運河拓寬後的衝擊，我國港口應努

力維持現有靠泊航商及其所參與聯盟內的主航線，並確保其在我國港口的「集貨轉運」，做為持續客源吸引與重要的努力目標。

3. 建議持續擴大海運網路資料完整度，並逐步納入海運網路相關決策因素(如航商聯盟等)，提升模型預測能力：政策支援與研究規劃，均應奠基於周延資料的蒐整分析，發展數量化之分析預測工具，有助於研判趨勢發展以研擬相關因應策略。本研究已初步建構出一套策略規劃之海運指派模型，並能呈現合理結果，而以本研究為基礎，建議未來可進一步研究方向如下：

- (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，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佈的影響性。
- (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（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、航商聯盟等）影響，未來可納入更多影響因子，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，會呈現平均成本會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] 交通部運輸研究所, 104 年度『國際海運資料庫』更新擴充及資料分析, 2015。
- [2] 交通部運輸研究所, 105 年度『國際海運資料庫』更新擴充及資料分析, 2016。
- [3] 邱明琦, 陳春益, 林佐鼎, 海運貨櫃排程模式之研究, 運輸計畫季刊, 2002. 31 (3) p. 495-522。
- [4] 陳春益, 張永昌, 航商選擇定期貨櫃航線泊靠港之探討, Proceedings of the National Science Council, 1997。
- [5] 陳繼紅, 曹越, 梁小芳 and 韓玲冰, 巴拿馬運河擴建對國際集裝箱海運格局的影響, 航海技術, 2013. p. 73-76。
- [6] 盧華安, 定期航線靠港順序及船期安排之研究, 國立海洋大學, 2000。
- [7] 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, 2001. 30 (3) p. 577-601。
- [8] 戴輝煌, 陳春益, 楊清喬, 蘇東濤, 新航路與船舶動力發展對高雄港樞紐地位之影響與因應策略, 2015, 交通部運輸研究所。
- [9] 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, 2001. 30 (4) p. 871-890。
- [10] 顏進儒, 張志清, 鍾政棋, 趙時樑, 蔡豐明, 劉穹林, 賀天君, 陳一昌, 許書耕, 黃俊豪, 張昭, 國際海運貨物完整流向資料收集與分析之研究, 2013, 交通部運輸研究所。
- [11] 財團法人中華經濟研究院, 臺灣東南亞國家協會研究中心, 東協加一; <http://www.aseancenter.org.tw/ASEANintro.aspx>。
- [12] 財團法人中華經濟研究院, 臺灣東南亞國家協會研究中心, 東協加三; <http://www.aseancenter.org.tw/ASEAN3.aspx>。
- [13] ASEAN Community, ASEAN Overview; <http://www.asean-community.au.edu/>.
- [14] A.T. Kearney News, Vietnam's Growth Strategy: Roads, Rails, Rivers; http://www.atkearney.it/transportation/ideas-insights/article/-/asset_publisher/LCcgOeS4t85g/content/vietnams-growth-strategy-roads-rails-rivers/10192.
- [15] Agarwal, R. and O. Ergun, Network Design and Allocation Mechanisms for Carrier Alliances in Liner Shipping, Operations Research, 2010. 58 (6) p. 1726-1742.

- [16] Agarwal, R. and Ö. Ergun, Ship scheduling and network design for cargo routing in liner shipping, *Transportation Science*, 2008. 42 (2) p. 175-196.
- [17] Al-Khayyal, F. and S.-J. Hwang, Inventory constrained maritime routing and scheduling for multi-commodity liquid bulk, Part I: Applications and model, *European Journal of Operational Research*, 2007. 176 (1) p. 106-130.
- [18] Andersson, H., A. Hoff, M. Christiansen, G. Hasle and A. Lokketangen, Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing, *Computers & Operations Research*, 2010. 37 (9) p. 1515-1536.
- [19] Baumol, W. J. and P. Wolfe, A warehouse-location problem, *Operations Research*, 1958. 6 (2) p. 252-263.
- [20] Beckmann, M., C. McGuire and C. B. Winsten, *Studies in the Economics of Transportation*, Yale University Press, 1956.
- [21] Brouer, B. D., J. F. Alvarez, C. E. M. Plum, D. Pisinger and M. M. Sigurd, A Base Integer Programming Model and Benchmark Suite for Liner-Shipping Network Design, *Transportation Science*, 2013. 48 (2) p. 281-312.
- [22] Brown, G. G., G. W. Graves and D. Ronen, Scheduling ocean transportation of crude oil, *Management Science*, 1987. 33 (3) p. 335-346.
- [23] Chang, Y. T., S. Y. Lee and J. L. Tongzon, Port selection factors by shipping lines: Different perspectives between trunk liners and feeder service providers, *Marine Policy*, 2008. 32 (6) p. 877-885.
- [24] Choi, B. C., K. Lee, J. Y. T. Leung, M. L. Pinedo and D. Briskorn, Container Scheduling: Complexity and Algorithms, *Production and Operations Management*, 2012. 21 (1) p. 115-128.
- [25] Christiansen, M., K. Fagerholt, B. Nygreen and D. Ronen, Ship routing and scheduling in the new millennium, *European Journal of Operational Research*, 2013. 228 (3) p. 467-483.
- [26] Christiansen, M., K. Fagerholt and D. Ronen, Ship routing and scheduling: Status and perspectives, *Transportation Science*, 2004. 38 (1) p. 1-18.
- [27] Ding, J. F. and G. S. Liang, Using fuzzy MCDM to select partners of strategic alliances for liner shipping, *Information Sciences*, 2005. 173 (1-3) p. 197-225.
- [28] Dynamar. 2016; <https://www.dynamar.com/>.
- [29] Evangelista, P. and A. Morvillo, Alliances in liner shipping: an instrument to gain operational efficiency or supply chain integration?, *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 1999. 2 (1) p. 21-38.

- [30] East Asia Business Council, Why should you join as a member of the East Asia Business Exchange (EABEX)?; <http://www.eabex.org/why-eabex>.
- [31] Evangelista, P. and A. Morvillo, Cooperative strategies in international and Italian liner shipping, *Maritime Economics & Logistics*, 2000. 2 (1) p. 1-16.
- [32] Flood, M. M., Application of transportation theory to scheduling a military tanker fleet, *Journal of the Operations Research Society of America*, 1954. 2 (2) p. 150-162.
- [33] Frank, M. and P. Wolfe, An algorithm for quadratic programming, *Naval research logistics quarterly*, 1956. 3 (1-2) p. 95-110.
- [34] Gelareh, S. and Q. Meng, A novel modeling approach for the fleet deployment problem within a short-term planning horizon, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2010. 46 (1) p. 76-89.
- [35] Guy, E. and B. Urli, Port Selection and Multicriteria Analysis: An Application to the Montreal-New York Alternative, *Maritime Economics & Logistics*, 2006. 8 (2) p. 169-186.
- [36] Hoff, A., H. Andersson, M. Christiansen, G. Hasle and A. Løkketangen, Industrial aspects and literature survey: Fleet composition and routing, *Computers & Operations Research*, 2010. 37 (12) p. 2041-2061.
- [37] Huang, C. and I. Karimi, Scheduling trans-shipment operations in maritime chemical transportation, *Industrial & engineering chemistry research*, 2006. 45 (6) p. 1955-1973.
- [38] Intra Asia Trade Today, What's happening in Intra Asia;
<http://om.shippingazette.com/OM/OM1/OM1-Story3-2.asp>.
- [39] Intelligence, L. s. L. Lloyd's List Intelligence, 2016;
<http://www.lloydlistintelligence.com/llint/index.htm>.
- [40] ITC. International Trade Centre, 2016;
http://www.trademap.org/Bilateral_TS.aspx.
- [41] Kiefer, J., Sequential minimax search for a maximum, *Proceedings of the American mathematical society*, 1953. 4 (3) p. 502-506.
- [42] Kim, H.-J., Y.-T. Chang, K.-T. Kim and H.-J. Kim, An epsilon-optimal algorithm considering greenhouse gas emissions for the management of a ship's bunker fuel, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2012. 17 (2) p. 97-103.

- [43] Koenigsberg, E. and D. Meyers, An interacting cyclic queue model of fleet operations, *Logistics and Transportation Review*, 1980. 16 (1) p. 59-71.
- [44] Laderman, J., L. Gleiberman and J. Egan, Vessel allocation by linear programming, *Naval Research Logistics Quarterly*, 1966. 13 (3) p. 315-320.
- [45] Larson, R. C., Transporting sludge to the 106-mile site: An inventory/routing model for fleet sizing and logistics system design, *Transportation Science*, 1988. 22 (3) p. 186-198.
- [46] 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*, 2011. 26 (8) p. 581-594.
- [47] Malchow, M. B. and A. Kanafani, A disaggregate analysis of port selection, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2004. 40 (4) p. 317-337.
- [48] McKay, M. and H. Hartley, Computerized scheduling of seagoing tankers, *Naval Research Logistics Quarterly*, 1974. 21 (2) p. 255-264.
- [49] Meng, Q., S. Wang, H. Andersson and K. Thun, Containership Routing and Scheduling in Liner Shipping: Overview and Future Research Directions, *Transportation Science*, 2014. 48 (2) p. 265-280.
- [50] Miller, D. M., An interactive, computer-aided ship scheduling system, *European Journal of Operational Research*, 1987. 32 (3) p. 363-379.
- [51] Mid-America Freight Coalition (MAFC), 2011, The Far Reaching Effects of Canal Expansion.
- [52] Murphy, P. R. and J. M. Daley, A comparative analysis of port selection factors, *Transportation Journal*, 1994. p. 15-21.
- [53] Murphy, P. R., J. M. Daley and D. R. Dalenberg, Port Selection Criteria: An Application of a Transportation, *Logistics and Transportation Review*, 1992. 28 (3) p. 237-255.
- [54] Naslund, B., Combined Sea and Land Transportation, *Operational Research Quarterly*, 1970. 21 (1) p. 47-59.
- [55] Olson, C., E. Sorenson and W. Sullivan, Medium-range scheduling for a freighter fleet, *Operations Research*, 1969. 17 (4) p. 565-582.
- [56] Orient Overseas Container Line, OOCL announces new Intra-Asia service; <http://www.oocl.com/eng/aboutoocl/corporatemessages/2014/Pages/23dec14.asp>
[X](#).

- [57] Panayides, P. M. and R. Wiedmer, Strategic alliances in container liner shipping, *Research in Transportation Economics*, 2011. 32 (1) p. 25-38.
- [58] Qi, X. and D.-P. Song, Minimizing fuel emissions by optimizing vessel schedules in liner shipping with uncertain port times, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2012. 48 (4) p. 863-880.
- [59] Rana, K. and R. Vickson, A model and solution algorithm for optimal routing of a time-chartered containership, *Transportation Science*, 1988. 22 (2) p. 83-95.
- [60] Rao, M. and S. Zionts, Allocation of transportation units to alternative trips—A column generation scheme with out-of-kilter subproblems, *Operations Research*, 1968. 16 (1) p. 52-63.
- [61] Rodrigue, J.-P. (2010). *Factors impacting North American freight distribution in view of the Panama Canal expansion*, Van Horne Institute.
- [62] Ronen, D., The effect of oil price on the optimal speed of ships, *Journal of the Operational Research Society*, 1982. p. 1035-1040.
- [63] Ronen, D., Cargo-Ships Routing and Scheduling - Survey of Models and Problems, *European Journal of Operational Research*, 1983. 12 (2) p. 119-126.
- [64] Ronen, D., Cargo ships routing and scheduling: Survey of models and problems, *European Journal of Operational Research*, 1983. 12 (2) p. 119-126.
- [65] Ronen, D., Ship scheduling: The last decade, *European Journal of Operational Research*, 1993. 71 (3) p. 325-333.
- [66] Ryoo, D.-K. and H. A. Thanopoulou, Liner alliances in the globalization era: a strategic tool for Asian container carriers, *Maritime Policy & Management*, 1999. 26 (4) p. 349-367.
- [67] SEA-DISTANCES.ORG. 2016; <http://www.sea-distances.org/>.
- [68] Sheffi, Y., Urban transportation network, Equilibrium analysis with mathematical programming methods, Prentice Hall, 1985.
- [69] Shyshou, A., I. Gribkovskaia and J. Barceló, A simulation study of the fleet sizing problem arising in offshore anchor handling operations, *European Journal of Operational Research*, 2010. 203 (1) p. 230-240.
- [70] Slack, B., C. Comtois and R. McCalla, Strategic alliances in the container shipping industry: a global perspective, *Maritime Policy & Management*, 2002. 29 (1) p. 65-76.

- [71] Song, D.-W. and P. M. Panayides, A conceptual application of cooperative game theory to liner shipping strategic alliances, *Maritime Policy & Management*, 2002. (3) p. 285-301.
- [72] Song, D.-W. and K.-T. Yeo, A Competitive Analysis of Chinese Container Ports Using the Analytic Hierarchy Process, *Maritime Economics & Logistics*, 2004. 6 (1) p. 34-52.
- [73] Tavasszy, L., M. Minderhoud, J.-F. Perrin and T. Notteboom, A strategic network choice model for global container flows: specification, estimation and application, *Journal of Transport Geography*, 2011. 19 (6) p. 1163-1172.
- [74] Tavasszy, L., M. Minderhoud, J. F. Perrin and T. Notteboom, A strategic network choice model for global container flows: specification, estimation and application, *Journal of Transport Geography*, 2011. 19 (6) p. 1163-1172.
- [75] The Association of Southeast Asian Nations, About ASEAN; <http://asean.org/>
- [76] The Association of Southeast Asian, Nations, ASEAN +3; <http://asean.org/asean/external-relations/asean-3/>.
- [77] Tiwari, P. and H. Itoh, Shippers' port and carrier selection behaviour in China: a discrete choice analysis, *Maritime Economics & Logistics*, 2003. 5 (1) p. 23-39.
- [78] Trudeau, P. and M. Dror, Stochastic inventory routing: Route design with stockouts and route failures, *Transportation Science*, 1992. 26 (3) p. 171-184.
- [79] UN Comtrade Database, 2016; <http://comtrade.un.org/>.
- [80] UNCTADstat. 2016; <http://unctadstat.unctad.org/wds/ReportFolders/reportFolders.aspx>.
- [81] Wang, S. and Q. Meng, Robust schedule design for liner shipping services, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2012. 48 (6) p. 1093-1106.
- [82] Wang, S., Q. Meng and Z. Liu, Containership scheduling with transit-time-sensitive container shipment demand, *Transportation Research Part B: Methodological*, 2013. 54 p. 68-83.
- [83] Wardrop, J. G., Road Paper. Some Theoretical Aspects Of Road Traffic Research, *Proceedings of the institution of civil engineers*, 1952. 1 (3) p. 325-362.

- [84] World Maritime News, OOCL Expands Intra-Asia Coverage;
<http://worldmaritimenews.com/archives/172470/oocl-expands-intra-asia-coverage/>.
- [85] World Shipping Council, TOP 50 WORLD CONTAINER PORTS;
<http://www.worldshipping.org/about-the-industry/global-trade/top-50-world-container-ports>
- [86] Yan, S., C.-Y. Chen and S.-C. Lin, Ship scheduling and container shipment planning for liners in short-term operations, Journal of marine science and technology, 2009. 14 (4) p. 417-435.

附錄：參考資料

附錄A ：測試使用數據

(a) OD 流量(情境 1~情境 3-(3)、情境 4)

	A	B	C	D	I	J	K	L	E	F
A	0	100	0	0	800	200	0	0	200	200
B	0	0	100	0	400	200	200	300	100	400
C	0	0	0	0	0	0	300	300	0	200
D	0	0	0	0	0	400	300	200	0	100
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
J	0	0	0	0	0	0	100	0	0	300
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	100	100	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	500	300	400	0	0

(b) OD 流量(情境 3-(4) 港口轉運貨源充足)

	A	B	C	D	I	J	K	L	E	F
A	0	100	0	0	200	200	0	0	200	200
B	0	0	100	0	900	200	200	300	400	400
C	0	0	0	0	0	0	300	300	0	200
D	0	0	0	0	0	400	300	200	0	100
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
J	0	0	0	0	0	0	100	0	0	300
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	100	100	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	500	300	400	0	0

(c) 網路資料(情境 1 到情境 3)

起點	訖點	節線距離	港口成本	節線容量	節點容量	船速
1	2	-	2.00	-	1,500.00	1,000.00
2	9	3,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
2	17	2,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
2	3	1,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
3	4	-	2.00	-	1,500.00	1,000.00
4	17	2,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
4	5	1,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
4	19	2,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
5	6	-	2.00	-	1,500.00	1,000.00
6	19	2,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
6	15	3,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
7	8	-	2.00	-	1,500.00	1,000.00
8	19	2,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
8	13	5,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
8	15	4,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
9	10	-	2.00	-	1,500.00	1,000.00
10	19	2,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
10	17	3,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
11	12	-	2.00	-	1,500.00	1,000.00
12	13	2,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
12	19	1,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
13	14	-	2.00	-	1,500.00	1,000.00
15	16	-	2.00	-	1,500.00	1,000.00
17	18	-	2.00	-	3,000.00	1,000.00
18	9	3,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
18	11	2,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
18	19	2,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
19	20	-	2.00	-	4,000.00	1,000.00
20	13	3,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
20	15	2,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
20	17	3,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00
20	11	4,000.00	-	1,300.00	-	1,000.00

(d) 網路資料(情境 4)

起點	訖點	節線距離	港口成本	節線容量	節點容量	船速
1	2	-	2.00	-	1,500.00	1,000.00
2	9	3,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
2	17	2,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
2	3	1,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
3	4	-	2.00	-	1,500.00	1,000.00
4	17	2,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
4	5	1,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
4	19	2,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
5	6	-	2.00	-	1,500.00	1,000.00
6	19	2,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
6	15	3,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
7	8	-	2.00	-	1,500.00	1,000.00
8	19	2,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
8	13	5,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
8	15	4,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
9	10	-	2.00	-	1,500.00	1,000.00
10	19	2,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
10	17	3,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
11	12	-	2.00	-	1,500.00	1,000.00
12	13	2,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
12	19	1,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
13	14	-	2.00	-	1,500.00	1,000.00
15	16	-	2.00	-	1,500.00	1,000.00
17	18	-	2.00	-	3,000.00	1,000.00
18	9	3,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
18	11	2,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
18	19	2,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
19	20	-	2.00	-	8,000.00	1,000.00
20	13	3,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
20	15	2,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
20	17	3,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
20	11	4,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00
20	9	3,000.00	-	2,000.00	-	1,000.00

附錄B ：國際海運資料數據

- (a) 各航線距離(海哩)
- (b) 2015 年各國間貨櫃流量價值(千美元)
- (c) 2014 年各國貨櫃單位價值(美元)
- (d) 港對港貨櫃流量估算值

(a) 各航線航線距離(海哩)

			美西			巴拿馬	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					
			奧克蘭 Oakland	塔科馬 Tacoma	洛杉磯 LA/LB	巴爾博亞 Balboa	紐約 New York	薩凡納 Savannah	基隆 Keelung	高雄 Kaohsiung	神戶 Kobe	橫濱 Yokohama	釜山 Busan	青島 Qingdao	天津 Tianjin	上海 Shanghai	寧波 Ningbo-Zhoushan	廈門 Xiamen	深圳港(鹽/蛇/赤) Yantai	廣州 Guangzhou	香港 Hong Kong	馬尼拉 Manila	海防 Haiphong	胡志明 Ho Chi Minh	雅加達 Jakarta	蘭查邦 Laem Chabang	新加坡港 Singapore	丹戎帕拉帕斯 Tanjung Bruas	巴生港 Port Kelang	安特衛普 Antwerp	鹿特丹 Rotterdam	漢堡 Hamburg	布萊梅 Bremen	
1	美西	奧克蘭 Oakland	0	3272	539	828	5416	5007	4701	4900	3934	3644	4007	4499	4685	4494	4454	4881	5155	5223	5140	5330	5742	5990	6797	6511	6462	6584	6672	8250	8245	8498	8485	
2		塔科馬 Tacoma	3272	0	2953	4056	1988	1606	8739	8966	7972	7726	8077	8569	8818	8528	8578	8933	9224	9310	9188	9383	9643	10000	10538	10560	10469	10592	10743	4822	4819	5078	5020	
3		洛杉磯 LA/LB	539	2953	0	8421	4923	4514	5920	6117	5137	4842	5230	5706	5910	5708	5668	6116	6378	6446	6363	6533	6961	7190	7899	7706	7669	7791	7879	7757	7752	8005	7992	
4	巴拿馬		巴爾博亞 Balboa	828	4056	8421	0	6042	5660	5317	5511	4559	4314	4613	5119	5305	5114	5130	5501	5772	5843	5760	5986	6191	6588	7352	7142	7072	7195	7346	8870	8873	9132	9074
5	美東		紐約 New York	5416	1988	4923	6042	0	705	10757	10960	9978	9698	10085	10587	10783	10582	10542	10955	11222	11290	11207	11366	11455	10779	10393	10917	10133	10010	9936	3388	3383	3620	3618

6		薩凡納 Savannah	5007	1606	4514	5660	705	0	10348	10551	9569	9289	9676	10178	10374	10173	10133	10546	10803	10881	10798	10957	11408	11257	11408	11395	10611	10488	10414	3942	3937	4127	4125
7	臺灣	基隆(含臺北) Keelung	4701	8739	5920	5317	10757	10348	0	224	917	1134	716	697	996	421	381	222	486	554	471	728	1082	1312	2158	1832	1812	1934	2022	10105	10100	10353	10340
8		高雄 Kaohsiung	4900	8966	6117	5511	10960	10551	224	0	1130	1337	908	876	1174	600	560	164	357	425	342	543	940	1121	1957	1638	1621	1743	1831	9914	9909	10162	10149
9	日本	神戶 Kobe	3934	7972	5137	4559	9978	9569	917	1130	0	353	365	808	1005	783	743	1114	1387	1455	1372	1563	1982	2213	3020	2733	2691	2813	2901	10984	10979	11232	11219
10		橫濱 Yokohama	3644	7726	4842	4314	9698	9289	1134	1337	353	0	657	1101	1298	1036	996	1336	1599	1667	1584	1758	2194	2418	3221	2932	2892	3014	3102	11185	11180	11433	11420
11	韓國	釜山 Busan	4007	8077	5230	4613	10085	9676	716	908	365	657	0	502	688	492	452	886	1155	1223	1140	1410	1749	2005	2839	2522	2503	2625	2713	10796	10791	11044	11031
12	華北	青島 Qingdao	4499	8569	5706	5119	10587	10178	697	876	808	1101	502	0	412	399	359	846	1115	1183	1100	1404	1709	1963	2799	2480	2463	2585	2673	10756	10745	11004	10991

13		天津 Tianjin	4685	8818	5910	5305	10783	10374	996	1174	1005	1298	688	412	0	696	656	1147	1416	1480	1401	1700	2011	2264	3101	2777	2764	2886	2974	11057	11052	11305	11292
14		上海 Shanghai	4494	8528	5708	5114	10582	10173	421	600	783	1036	492	399	696	0	40	585	860	928	845	1128	1454	1687	2523	2204	2237	2359	2447	10530	10525	10778	10765
15	華中	寧波 Ningbo-Zhoushan	4454	8578	5668	5130	10542	10133	381	560	743	996	452	359	656	40	0	545	820	888	805	1088	1414	1647	2483	2164	2197	2319	2407	10490	10485	10738	10725
16		廈門 Xiamen	4881	8933	6116	5501	10955	10546	222	164	1114	1336	886	846	1147	585	545	0	302	370	287	662	896	1150	1986	1667	1653	1775	1863	9946	9941	10194	10181
17	華南	深圳港(鹽/蛇/赤) Yantai	5155	9224	6378	5772	11222	10803	486	357	1387	1599	1155	1115	1416	860	820	302	0	98	15	617	622	912	1774	1427	1445	1567	1655	9738	9734	99986	9973
18		廣州 Guangzhou	5223	9310	6446	5843	11290	10881	554	425	1455	1667	1223	1183	1480	928	888	370	98	0	83	715	720	1010	1872	1625	1543	1753	1665	9836	9831	10084	10071

19		香港 Hong Kong	5140	9188	6363	5760	11207	10798	471	342	1372	1584	1140	1100	1401	845	805	287	15	83	0	632	637	927	1789	1442	1460	1582	1670	9753	9748	10001	9988
20	菲律賓	馬尼拉 Manila	5330	9383	6533	5986	11366	10957	728	543	1563	1758	1410	1404	1700	1128	1088	662	617	715	632	0	952	907	1562	1418	1314	1463	1551	9634	9629	9882	9869
21	越南	海防 Haiphong	5742	9643	6961	6191	11455	11408	1082	940	1982	2194	1749	1709	2011	1454	1414	896	622	720	637	952	0	803	1668	1327	1322	1444	1532	9615	9610	9863	9850
22		胡志明 Ho Chi Minh	5990	10000	7190	6588	10779	11257	1312	1121	2213	2418	2005	1963	2264	1687	1647	1150	912	1010	927	907	803	0	1032	634	646	768	856	8939	8934	9187	9174
23	印尼	雅加達 Jakarta	6797	10538	7899	7352	10393	11408	2158	1957	3020	3221	2839	2799	3101	2523	2483	1986	1774	1872	1789	1562	1668	1032	0	1244	525	612	700	8553	8548	8801	8788
24	泰國	蘭查邦 Laem Chabang	6511	10560	7706	7142	10917	11395	1832	1638	2733	2932	2522	2480	2777	2204	2164	1667	1427	1625	1442	1418	1327	634	1244	0	784	906	994	9077	9072	9325	9312
25	中南半島	新加坡港 Singapore	6462	10469	7669	7072	10133	10611	1812	1621	2691	2892	2503	2463	2764	2237	2197	1653	1445	1543	1460	1314	1322	646	525	784	0	122	210	8293	8288	8541	8528

26		丹戎帕拉帕斯 Tanjung Bruas	6584	10592	7791	7195	10010	10488	1934	1743	2813	3014	2625	2585	2886	2359	2319	1775	1567	1753	1582	1463	1444	768	612	906	122	0	90	8170	8165	8418	8405
27		巴生港 Port Swettenham	6672	10743	7879	7346	9936	10414	2022	1831	2901	3102	2713	2673	2974	2447	2407	1863	1655	1665	1670	1551	1532	856	700	994	210	90	0	8096	8091	8344	8331
28	歐洲	安特衛普 Antwerp	8250	4822	7757	8870	3388	3942	10105	9914	10984	11185	10796	10756	11057	10530	10490	9946	9738	9836	9753	9634	9615	8939	8553	9077	8293	8170	8096	0	149	405	392
29		鹿特丹 Rotterdam	8245	4819	7752	8873	3383	3937	10100	9909	10979	11180	10791	10745	11052	10525	10485	9941	9734	9831	9748	9629	9610	8934	8548	9072	8288	8165	8091	149	0	290	305
30		漢堡 Hamburg	8498	5078	8005	9132	3620	4127	10353	10162	11232	11433	11044	11004	11305	10778	10738	10194	99986	10084	10001	9882	9863	9187	8801	9325	8541	8418	8344	405	290	0	152
31		布萊梅 Bremen	8485	5020	7992	9074	3618	4125	10340	10149	11219	11420	11031	10991	11292	10765	10725	10181	9973	10071	9988	9869	9850	9174	8788	9312	8528	8405	8331	392	305	152	0

資料來源：AXSMarine ; SEA-DISTANCES.ORG

(b) 2015 年各國間貨櫃流量價值(千美元)

O/D	USA	Panama	Taiwan	Japan	Korean	China	Hong Kong	Philippines	Vietnam	Indonesia	Thailand	Singapore	Malaysia	Belgium	Netherlands	Germany
USA	-	9,980,043.50	26,260,445.00	65,383,154.00	43,856,672.00	133,365,093.00	33,302,591.00	7,773,999.00	6,679,007.00	7,655,708.50	12,584,903.50	30,976,664.50	13,259,278.50	33,140,515.18	39,635,133.00	58,590,433.00
Panama	3,489,008.00	-	29,178.00	160,282.00	1,310,514.00	177,992.50	20,750.50	2,339.00	21,094.50	19,859.50	43,897.50	4,298.00	18,435.00	29,295.06	101,174.50	85,187.50
Taiwan	38,253,671.00	107,118.00	-	21,262,822.00	14,600,714.00	108,046,591.00	36,836,400.50	6,456,848.50	10,261,895.00	3,397,460.50	6,578,401.00	20,956,228.50	8,250,518.50	1,068,591.00	4,154,343.00	7,499,011.50
Japan	130,584,154.50	2,502,714.50	37,803,785.50	-	44,953,925.00	126,210,089.50	35,426,928.50	8,125,657.50	12,700,111.50	14,273,653.00	29,562,679.50	19,229,045.50	12,887,898.00	6,826,529.50	11,699,600.00	19,791,940.00
Korean	72,125,582.00	1,329,454.50	12,509,711.50	26,202,085.50	-	155,852,153.00	26,166,243.00	6,441,128.00	24,750,863.50	9,861,325.00	6,688,784.00	16,609,590.00	7,853,539.50	2,096,384.00	3,971,965.50	7,361,952.00
China	456,718,679.00	4,844,094.00	44,588,818.50	148,201,443.50	95,855,786.00	-	296,112,711.50	19,085,315.50	55,014,361.50	32,499,832.00	39,614,865.50	47,631,872.00	38,717,458.00	16,217,403.03	66,408,786.50	86,056,156.00

O/D	USA	Panama	Taiwan	Japan	Korean	China	Hong Kong	Philippines	Vietnam	Indonesia	Thailand	Singapore	Malaysia	Belgium	Netherlands	Germany
Hong Kong	24,959,396.00	76,517.00	5,087,294.00	8,535,225.50	4,299,653.00	148,003,702.00	-	2,579,730.50	5,434,672.50	2,480,109.00	4,984,269.50	4,909,795.00	3,330,640.50	1,959,502.57	6,312,004.50	5,420,157.50
Philippines	9,696,017.00	2,225.00	2,004,816.50	10,643,401.00	2,881,398.00	12,706,404.00	7,022,331.00	-	701,491.00	664,005.50	2,306,126.00	4,091,386.50	1,438,369.00	266,900.43	1,852,258.00	2,991,555.50
Vietnam	34,157,340.00	146,978.00	2,407,987.50	14,900,090.00	8,485,109.50	20,028,024.50	5,908,876.00	1,875,442.50	-	3,154,087.00	3,753,905.50	3,273,138.50	4,385,154.00	1,815,562.00	3,625,082.50	7,071,327.50
Indonesia	18,593,347.50	70,648.00	6,194,574.00	21,470,518.50	9,729,519.00	18,710,233.00	2,546,575.00	3,498,366.00	2,469,849.00	-	6,161,161.50	15,567,802.50	8,856,336.50	1,292,829.00	3,696,068.00	3,631,262.50
Thailand	26,653,658.00	222,595.00	3,701,443.50	20,092,270.50	4,444,769.50	30,266,291.50	11,406,013.50	5,166,771.50	7,908,890.00	8,743,450.50	-	8,186,805.50	10,376,393.00	1,533,752.50	3,954,956.50	4,973,717.00
Singapore	20,849,730.00	2,747,800.50	10,777,775.50	11,568,145.00	11,223,329.00	37,641,032.00	36,780,342.50	5,646,292.50	9,482,844.00	26,780,803.50	10,478,806.50	-	29,438,864.50	5,652,000.13	5,446,585.50	6,050,687.50

O/D	USA	Panama	Taiwan	Japan	Korean	China	Hong Kong	Philippines	Vietnam	Indonesia	Thailand	Singapore	Malaysia	Belgium	Netherlands	Germany
Malaysia	26,752,015.00	72,145.50	6,314,890.50	20,252,570.50	7,545,666.50	39,660,301.00	10,746,648.00	3,344,322.00	4,334,618.50	9,162,509.00	11,639,284.00	30,457,837.50	-	985,696.25	5,812,652.00	6,426,259.00
Belgium	21,779,354.24	103,113.48	738,201.50	2,909,100.50	1,470,443.00	6,993,152.94	2,859,987.06	384,201.65	499,686.50	537,617.50	1,115,401.76	1,351,491.99	625,045.40	-	43,192,333.50	53,290,451.85
Netherlands	19,055,901.50	120,644.00	2,946,780.00	3,104,969.00	4,479,511.50	9,566,257.50	2,689,074.50	445,946.00	716,467.50	839,823.00	1,067,923.50	4,385,135.50	1,783,769.00	62,367,098.50	-	112,614,839.00
Germany	126,614,992.50	372,237.00	8,419,875.00	19,640,496.50	20,425,371.50	83,518,788.00	6,554,572.00	2,497,571.00	2,585,618.50	3,525,518.00	5,013,532.50	8,179,865.50	5,665,743.50	46,891,309.59	7,316,861.14	-

資料來源：UN Comtrade；International Trade Centre；本研究整理

(c) 2014 年各國貨櫃單位價值(美元)

	USA	Panama	Taiwan	Japan	Korean	China	Hong Kong	Philippines	Vietnam	Indonesia	Thailand	Singapore	Malaysia	Belgium	Netherlands	Germany
2014 年裝卸 量(TEU)	46,488,522.51	7,942,291.00	16,430,542.26	20,744,460.68	23,796,846.23	181,635,244.64	22,300,000.00	5,869,427.10	9,531,076.45	11,900,763.07	8,283,756.17	34,832,376.00	22,718,784.40	11,187,265.30	12,513,407.25	19,685,381.13
2014 裝卸貨 櫃總價值	4,030,598,340, 000.00	14,523,470,00 0.00	586,973,795,0 00.00	1,502,402,218, 000.00	1,098,631,751, 000.00	4,300,364,312,0 00.00	1,124,677,965 ,000.00	129,528,624,0 00.00	298,056,187,0 00.00	354,215,534,0 00.00	455,504,271,0 00.00	776,015,992,0 00.00	442,958,406,0 00.00	927,413,998,0 00.00	1,262,743,192, 000.00	2,713,113,445, 000.00
單位貨櫃價 值	86,700.93	1,828.62	35,724.55	72,424.26	46,167.12	23,675.83	50,433.99	22,068.36	31,272.04	29,764.10	54,987.65	22,278.58	19,497.45	82,899.08	100,911.22	137,823.77

資料來源：UN Comtrade；UNCTAD；本研究整理

(d) 港對港貨櫃流量估算值

	LA/LB	Oakland	New York	Savannah	Keelung	Kaohsiung	Kobe*	Yokohama	Busan	Qingdao	Xingang	Shanghai	Ningbo	Xiamen	Shenzhen	Guangzhou	Hong Kong	Manila	Hai Phong	Ho Chi Minh City	Jakarta*	Laen Chabang	Singapore	Tanjung Pelepas	Port Klang	Hamburg	Rotterdam	Antwerp	Bremerhaven	Balboa	Tacoma
LA/LB	-	-	-	-	12,197.43	86,623.09	31,101.51	32,329.97	155,224.57	66,472.52	53,527.27	138,715.36	78,278.89	34,861.06	138,715.36	64,422.54	117,955.90	25,144.54	2,621.12	15,392.40	19,085.37	40,153.27	148,979.50	30,237.27	40,849.10	62,029.58	115,459.40	96,860.58	38,689.64	27,783.11	-
Oakland	-	-	-	-	1,809.53	12,850.79	4,614.00	4,796.25	23,028.03	9,861.40	7,940.93	20,578.84	11,612.91	5,171.74	20,578.84	9,557.28	17,499.11	3,730.27	388.85	2,283.51	2,831.37	5,956.86	22,101.55	4,485.79	6,060.09	9,202.27	17,128.75	14,369.56	5,739.72	4,121.71	-
New York	-	-	-	-	5,062.66	35,953.77	12,908.99	13,418.88	64,427.50	27,590.08	22,217.03	57,575.19	32,490.43	14,469.43	57,575.19	26,739.21	48,958.77	10,436.49	1,087.92	6,388.77	7,921.57	16,666.01	61,835.42	12,550.28	16,954.82	25,745.99	47,922.57	40,202.94	16,058.52	11,531.65	-
Savannah	-	-	-	-	2,969.43	21,088.14	7,571.57	7,870.64	37,788.97	16,182.54	13,031.06	33,769.85	19,056.77	8,486.82	33,769.85	15,683.48	28,716.02	6,121.37	638.10	3,747.24	4,646.28	9,775.20	36,268.63	7,361.17	9,944.59	15,100.92	28,108.26	23,580.43	9,418.88	6,763.72	-
Keelung	17,768.03	2,635.94	7,374.80	4,325.58	-	-	5,477.46	5,693.82	29,854.37	34,147.83	27,497.68	71,259.94	40,212.92	17,908.60	71,259.94	33,094.72	74,412.92	13,361.81	2,476.59	14,454.36	5,208.94	11,821.61	64,406.68	12,222.69	16,512.26	3,962.17	6,269.32	1,660.29	2,471.32	224.70	4,084.90

Kaohsiung	126,1 84.12	18,71 9.79	52,37 3.97	30,71 9.16	-	-	38,89 9.57	40,43 6.05	212,0 18.22	242,5 09.29	195,2 81.61	506,0 70.20	285,5 82.04	127,1 82.34	506,0 70.20	235,0 30.42	528,4 61.83	94,89 2.20	17,58 8.12	103,2 85.53	36,99 2.56	83,95 4.11	457,4 00.08	86,80 2.44	117,2 65.93	28,13 8.34	44,52 3.16	11,79 0.95	17,55 0.69	1,595. 78	29,00 9.90
Kobe*	62,11 6.36	9,215. 15	25,78 2.01	15,12 2.05	9,738. 54	69,16 0.66	-	-	88,88 6.54	34,52 7.05	27,80 3.05	72,05 1.32	40,65 9.50	18,10 7.48	72,05 1.32	33,46 2.26	70,28 2.41	14,40 2.17	2,750. 93	16,15 4.71	19,64 0.04	52,96 6.81	50,68 8.80	16,06 2.37	21,69 9.49	12,08 7.99	19,49 0.11	11,34 3.69	7,539. 63	3,718. 25	14,28 0.64
Yokohama	64,56 9.88	9,579. 13	26,80 0.37	15,71 9.35	10,12 3.20	71,89 2.41	-	-	92,39 7.44	35,89 0.82	28,90 1.23	74,89 7.24	42,26 5.49	18,82 2.70	74,89 7.24	34,78 3.97	73,05 8.47	14,97 1.03	2,859. 59	16,79 2.80	20,41 5.80	55,05 8.92	52,69 0.94	16,69 6.81	22,55 6.59	12,56 5.45	20,25 9.94	11,79 1.75	7,837. 43	3,865. 11	14,84 4.70
68-B	255,2 78.43	37,87 1.32	105,9 55.85	62,14 6.80	25,57 8.85	181,6 54.59	51,80 8.89	53,85 5.27	-	352,5 92.19	283,9 26.32	735,7 92.05	415,2 17.08	184,9 14.57	735,7 92.05	341,7 18.42	396,7 98.43	95,01 9.36	43,36 2.70	254,6 45.66	109,7 53.10	90,72 4.39	364,1 02.13	82,35 1.80	111,2 53.33	30,88 0.72	46,86 8.46	25,19 6.64	19,26 1.19	18,36 5.55	58,68 8.86
Qingdao	227,6 40.09	33,77 1.09	94,48 4.28	55,41 8.32	14,09 2.17	100,0 79.07	40,54 3.19	42,14 4.59	216,8 59.38	-	-	-	-	-	-	-	656,2 35.47	47,08 5.97	15,35 2.94	90,15 9.48	57,62 1.54	77,46 6.87	174,3 60.72	69,23 0.63	93,52 7.26	46,10 7.22	103,7 15.66	26,46 5.39	28,75 8.40	14,11 8.79	52,33 4.77
Xingang	183,3 08.13	27,19 4.31	76,08 3.86	44,62 5.83	11,34 7.78	80,58 9.09	32,64 7.57	33,93 7.10	174,6 26.92	-	-	-	-	-	-	-	528,4 36.33	37,91 6.17	12,36 3.01	72,60 1.30	46,39 9.98	62,38 0.52	140,4 04.69	55,74 8.25	75,31 3.21	37,12 8.03	83,51 7.46	21,31 1.37	23,15 7.82	11,36 9.22	42,14 2.79
Shanghai	475,0 41.06	70,47 3.76	197,1 70.51	115,6 47.37	29,40 7.65	208,8 45.76	84,60 5.83	87,94 7.64	452,5 43.80	-	-	-	-	-	-	-	1,369, 437.1 3	98,25 9.36	32,03 8.62	188,1 45.49	120,2 45.06	161,6 58.44	363,8 57.27	144,4 71.00	195,1 73.39	96,21 6.89	216,4 34.62	55,22 8.18	60,01 3.25	29,46 3.20	109,2 12.60

Ningbo	268,0 71.88	39,76 9.26	111,2 65.90	65,26 1.32	16,59 5.12	117,8 54.39	47,74 4.17	49,63 0.00	255,3 76.38	-	-	-	-	-	-	-	772,7 91.29	55,44 9.04	18,07 9.81	106,1 72.96	67,85 5.86	91,22 5.97	205,3 29.42	81,52 6.88	110,1 38.90	54,29 6.45	122,1 36.88	31,16 5.98	33,86 6.26	16,62 6.47	61,63 0.10
Xiamen	119,3 84.29	17,71 1.02	49,55 1.64	29,06 3.76	7,390. 54	52,48 5.79	21,26 2.60	22,10 2.44	113,7 30.42	-	-	-	-	-	-	-	344,1 58.21	24,69 3.92	8,051. 74	47,28 3.53	30,21 9.22	40,62 6.97	91,44 2.29	36,30 7.53	49,04 9.73	24,18 0.62	54,39 2.97	13,87 9.59	15,08 2.15	7,404. 50	27,44 6.61
Shenzhen	475,0 41.06	70,47 3.76	197,1 70.51	115,6 47.37	29,40 7.65	208,8 45.76	84,60 5.83	87,94 7.64	452,5 43.80	-	-	-	-	-	-	-	1,369, 437.1 3	98,25 9.36	32,03 8.62	188,1 45.49	120,2 45.06	161,6 58.44	363,8 57.27	144,4 71.00	195,1 73.39	96,21 6.89	216,4 34.62	55,22 8.18	60,01 3.25	29,46 3.20	109,2 12.60
Guangzhou	220,6 19.78	32,72 9.60	91,57 0.43	53,70 9.25	13,65 7.58	96,99 2.68	39,29 2.85	40,84 4.87	210,1 71.54	-	-	-	-	-	-	-	635,9 97.48	45,63 3.86	14,87 9.46	87,37 9.01	55,84 4.52	75,07 7.83	168,9 83.52	67,09 5.59	90,64 2.93	44,68 5.30	100,5 17.12	25,64 9.21	27,87 1.51	13,68 3.38	50,72 0.79
Hong Kong	88,40 4.77	13,11 5.11	36,69 3.28	21,52 1.89	10,27 6.80	72,98 3.26	16,93 2.78	17,60 1.60	65,20 2.16	328,0 01.05	264,1 24.20	684,4 75.06	386,2 58.23	172,0 17.91	684,4 75.06	317,8 85.65	-	37,22 8.76	9,370. 35	55,02 6.99	27,16 4.68	67,42 6.55	105,3 07.74	34,08 7.10	46,05 0.03	23,09 6.48	75,23 4.76	23,69 6.72	14,40 5.94	1,009. 01	20,32 4.38
Manila	31,36 1.19	4,652. 53	13,01 6.78	7,634. 79	4,148. 77	29,46 3.51	18,86 4.69	19,60 9.82	42,50 6.31	31,34 8.36	25,24 3.40	65,41 8.00	36,91 6.23	16,44 0.43	65,41 8.00	30,38 1.59	101,3 41.09	-	1,285. 81	7,550. 85	7,732. 46	29,32 8.20	98,86 9.65	17,01 8.39	22,99 1.03	10,31 3.51	18,66 9.73	2,817. 24	6,432. 83	44.09	7,209. 98
Hai Phong	13,40 4.74	1,988. 63	5,563. 77	3,263. 35	581.1 4	4,127. 11	3,227. 46	3,354. 94	14,86 5.63	5,589. 25	4,500. 77	11,66 3.69	6,581. 97	2,931. 24	11,66 3.69	5,416. 88	10,18 7.96	3,437. 62	-	-	4,226. 33	5,736. 38	8,906. 58	5,785. 02	7,815. 29	3,074. 14	4,544. 78	2,359. 77	1,917. 43	291.0 9	3,081. 77

Hamburg	Port Klang	Tanjung Pelepas	Singapore	Laen Chabang	Jakarta*	Ho Chi Minh City
134,0 47.05	82,41 7.43	61,00 6.92	100,2 74.91	85,04 0.90	46,35 2.45	78,71 8.80
19,88 6.28	12,22 6.87	9,050. 56	14,87 6.08	12,61 6.07	6,876. 52	11,67 8.17
55,63 7.56	34,20 8.17	25,32 1.53	41,62 0.10	35,29 7.07	19,23 9.04	32,67 3.02
32,63 3.37	20,06 4.28	14,85 1.96	24,41 1.64	20,70 2.96	11,28 4.37	19,16 3.86
4,448. 72	12,63 8.37	9,355. 16	33,12 4.32	6,651. 62	9,497. 43	3,412. 72
31,59 3.67	89,75 4.54	66,43 8.00	235,2 40.58	47,23 8.14	67,44 8.36	24,23 6.29
11,99 5.49	34,09 9.46	25,24 1.06	30,49 4.25	35,99 8.88	29,54 2.67	18,95 3.11
12,46 9.30	35,44 6.35	26,23 8.05	31,69 8.73	37,42 0.79	30,70 9.57	19,70 1.74
85,67 7.02	106,8 92.00	79,12 3.46	246,0 28.83	60,28 7.34	108,2 86.15	87,29 7.82
44,74 7.75	95,80 4.83	70,91 6.53	137,7 88.36	59,18 5.73	33,17 2.86	32,82 2.64
36,03 3.31	77,14 7.23	57,10 5.83	110,9 54.65	47,65 9.55	26,71 2.58	26,43 0.56
93,37 9.94	199,9 26.23	147,9 89.15	287,5 37.79	123,5 09.23	69,22 5.38	68,49 4.52
52,69 5.52	112,8 20.99	83,51 2.21	162,2 61.33	69,69 7.87	39,06 4.79	38,65 2.36
23,46 7.65	50,24 4.19	37,19 1.69	72,26 2.16	31,03 9.55	17,39 7.28	17,21 3.61
93,37 9.94	199,9 26.23	147,9 89.15	287,5 37.79	123,5 09.23	69,22 5.38	68,49 4.52
43,36 7.75	92,85 0.25	68,72 9.50	133,5 39.03	57,36 0.47	32,14 9.83	31,81 0.40
27,93 0.46	148,5 85.08	109,9 85.46	788,8 83.20	154,2 99.07	27,89 2.68	59,82 8.38
8,610. 48	53,45 5.97	39,56 9.11	136,4 44.44	65,70 8.51	40,73 9.06	20,18 7.27
1,124. 05	7,725. 22	5,718. 35	25,80 3.89	12,08 5.64	3,309. 48	-
6,600. 96	45,36 6.04	33,58 0.79	151,5 32.30	70,97 2.45	19,43 4.78	-
9,735. 50	103,7 46.20	76,79 4.88	462,9 79.30	84,87 5.94	-	24,81 8.92
19,53 6.66	141,5 09.00	104,7 47.61	198,0 98.45	-	59,80 8.70	33,68 6.63
41,97 9.28	722,0 15.16	534,4 49.15	-	154,7 68.91	269,1 31.97	52,30 3.53
13,57 9.52	-	-	516,5 69.05	93,38 2.24	74,22 8.72	33,97 2.30
18,34 5.28	-	-	697,8 60.00	126,1 54.93	100,2 79.44	45,89 4.94
-	20,80 7.77	15,40 2.30	31,05 2.28	19,38 1.51	10,02 7.51	18,05 2.75
29,12 7.87	55,29 7.37	40,93 2.15	81,69 0.08	42,86 1.88	29,43 4.56	26,68 9.01
180,4 70.13	9,856. 12	7,295. 69	88,74 8.02	16,79 8.31	10,67 4.08	13,85 7.67
-	12,97 8.41	9,606. 86	19,36 8.20	12,08 8.80	6,254. 45	11,26 0.02
967.7 9	1,480. 46	1,095. 86	80,45 7.64	2,528. 86	889.0 6	1,709. 39
30,81 7.60	18,94 7.88	14,02 5.58	23,05 3.34	19,55 1.02	10,65 6.49	18,09 7.56

Tacoma	Balboa	Bremerhaven	Antwerp	Rotterdam
-	9,712.93	83,609.01	63,655.04	55,510.93
-	1,440.94	12,403.65	9,443.42	8,235.21
-	4,031.45	34,702.75	26,420.66	23,040.36
-	2,364.59	20,354.37	15,496.64	13,513.97
2,804.21	61.21	2,774.79	1,146.96	4,446.99
19,914.77	434.68	19,705.88	8,145.39	31,581.40
7,150.28	238.13	7,481.93	4,834.07	5,172.50
7,432.71	247.53	7,777.46	5,025.01	5,376.81
35,686.34	18,103.90	53,439.23	17,673.39	52,857.41
15,282.12	518.78	27,910.46	11,412.22	14,940.35
12,305.99	417.75	22,475.01	9,189.74	12,030.78
31,890.85	1,082.60	58,243.76	23,815.10	31,177.64
17,996.43	610.93	32,867.71	13,439.17	17,593.95
8,014.61	272.07	14,637.45	5,985.06	7,835.37
31,890.85	1,082.60	58,243.76	23,815.10	31,177.64
14,810.83	502.79	27,049.71	11,060.27	14,479.60
27,118.22	273.63	17,421.03	34,586.48	32,051.92
5,780.76	46.35	5,370.60	4,055.41	4,494.89
602.60	41.78	701.10	649.47	898.24
3,538.73	245.33	4,117.21	3,813.97	5,274.86
4,387.75	249.92	6,072.31	4,438.77	6,688.14
9,231.29	498.71	12,185.58	12,216.35	11,573.63
34,250.59	125.85	26,183.68	21,221.20	65,770.02
6,951.59	280.02	8,469.94	4,626.31	12,561.13
9,391.26	378.29	11,442.48	6,249.92	16,969.49
14,260.69	221.48	-	205,098.45	448,311.13
26,544.28	804.03	18,167.89	448,880.08	-
22,268.38	252.33	112,564.42	-	648,155.49
8,894.80	138.14	-	127,925.81	279,624.57
6,387.37	-	603.64	888.16	958.76
-	2,233.02	19,221.83	14,634.38	12,762.04

資料來源：UN Comtrade；International Trade Centre；本研究整理

附錄C：期中審查意見及辦理情形

交通部運輸研究所■合作研究計畫第2類□委託研究計畫

■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：「MOTC- IOT-105- EDB001 由國際航運網路模型探討臺灣港群之營運策略與未來發展」計畫案

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
(一) 交通部航港局		
1. 在架設模型的時候，考慮港口與航線成本，以貨主角度為出發點，並不考慮航商，例如航商目前以獲利為考量決定航線配置等因素，是否並未在模式中考慮？	1. 本計畫主要用以描述亞太地區相關主要海運貨櫃流向，而主要僅考慮貨物指派，在已給定的現存與潛在航線網路下，分析貨物流向以及各港櫃量，瞭解內外環境改變對港口競爭力的影響性，因此暫不考慮航商佈署航線之部分，但於期末報告將提出未來研究方向，屆時會建議將此考量納入模式之中。	同意辦理
2. 在現行架構下，定期航運網路固定後，在貨櫃指派演算法的部份，如何決定貨櫃路線與流量，以決定最適路線？	2. 本計畫透過使用者均衡(User Equilibrium, UE)之模式進行貨物指派，在現行供給過剩之狀況下，貨主可選擇不同航商服務之航線，經由重複轉換所選之航線直到貨主皆無法藉由變更航線獲得更好的服務時即達到均衡之指派結果，而此概念即符合使用者均衡之概念。	同意辦理
3. 本計畫由貨主角度出發，但後續許多情境分析與預測，仍無法排除航商因素，如欲提升模型預測精確度，未來是否考慮於模型中適度引進航商角色？	3. 航商之角色主要於資料輸入時考量，並作為模式求解後分析之對象。即表示於建構航線網路時考量航商現行或未來可能知航線佈署，以作為模型輸入之資料，並針對 G6 聯盟聯營之航線為研究對象，分析指派之運量分配結果是否符合其航線佈署之趨勢。	同意辦理
4. 於情境概述中，例如東協運量分析部分，是否可能加入考量政治、經貿方面之因素？例如東協與大陸簽訂 FTA，這樣的因素是否造成對高雄港貨櫃之影響？	4. 謝謝委員建議，由於政治、經貿涉及複雜且難以模式化分析之因素，故本計畫將不考量政治、經貿等因素，未來將於期末報告述明本計畫之假設，以避免誤導讀者。	同意辦理
5. 巴拿馬運河拓寬的部份，蘇伊士運河為了因應，擬降低其運河通行費用，如此調整是否影響兩運河之競爭，進而影響高雄港貨量？	5. 謝謝委員建議，可透過調整行經不同運河之航線的成本，將於後續研究進行情境分析。	同意辦理

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
(二) 臺灣港務股份有限公司		
1. 簡報 P30、期中報告 P38 之中的表格是唯一在報告中沒有標註資料來源的表格，此表格之資料來源為何？報告之中其他的表格為 2011 年到 2015 年之資料，此表格是否能夠更新至 2015 櫃量？此表格中港口功能型態分為全球樞紐港、區域樞紐港與國內主要港口，分類的依據為何？	1. 謝謝委員指正，此表格整理自 Intra Asia Trade Today, “What’s happening in Intra Asia?” (http://om.shippingazette.com/OM/OM1/OM1-Story3-2.asp)與 World Shipping Council, ”Top 50 world container ports”。 (http://www.worldshipping.org/about-the-industry/global-trade/top-50-world-container-ports)，資料來源將於期末報告補上。此表格中港口功能型態分為全球樞紐港、區域樞紐港與國內主要港口，分類的依據，依據 Intra Asia Trade Today, “What’s happening in Intra Asia?”，此篇文章對東協(ASEAN)區域內的港口，其 2014 年貨櫃量對應世界前 50 大港口的排名及在各國內的經濟貿易發展，就其港口在國內與國際貨運的角色，作出一功能分類。	同意辦理
2. 此研究以 31 重要港口為標的，可能會導致後續分析的問題，建議納入東協大、小港資料，或許可使研究更加完整。	2. 謝謝貴單位之建議。由於海運資料過於龐大且部分為商業機密，短期間難以蒐集完整，且亦會增加模型之複雜度。故本計畫中暫且考慮 31 重要港口為標的，以建構初步可運用之海運模型，待未來進一步取得各港完備資料後，另進行調整與更深入之研究。	同意辦理
3. 期中報告 P41，東協港口貨櫃運輸綜合成本比較資料來源為 The World Bank’s Doing Business 2010，此部份似乎有 2014 或者 2015 資料，建議更新。	3. 謝謝委員指正，東協港口貨櫃運輸綜合成本比較資料，係引用自下列原文對越南運輸與鄰近國家比較專題分析中的表 2，其表 2 資料來源原文註記為引用世界銀行的分析報告(The World Bank’s Doing Business 2010)。經查世界銀行係專題性對各區域之不同經濟議題提出專題報告，尚無連續性對一區域或議題的常態報告。(繼 “Doing Business 2010” 之後其最新出版為 “Doing Business 2016” , http://www.doingbusiness.org/reports/)	同意辦理
4. 期中報告 P45 提及大圓航線、P44	4. 大圓航線係指一般船舶在航行越洋	同意辦理

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
環赤道航線，請說明之。	航行時，會依地球之緯度與洋流之走向，所航行之最短路徑。環赤道航線意指傳統的 RTW (round the world) routes 環球航線的意思，其與赤道平行。	
(三) 港研中心		
1. 模式中並未納入船舶大小因素之考量，一般實務上遠洋航線會使用大型船舶，區域航線使用小型船舶，不同大小船舶航行的時間成本不同，但於模式之中時間成本為一固定值，使用所有船舶平均值，建議於未來進一步時可納入船舶大小之考量。	1. 謝謝貴單位之建議。本計畫為一長期策略性規劃(strategic planning)之研究，故假設船舶時間成本相同且固定。營運一航線之船型大小涉及航商船舶佈署行為，須於營運規劃(operational planning)時方能精準考量，故本計畫僅考慮單一船型，以能簡化模型，委員之寶貴意見本團隊將嘗試評估，但結果需待嚴謹測試方能得知。	同意辦理
2. 模式中假設停靠港口之使用費與成本為一固定值，實際上在許多港口具有規模經濟特性，例如許多港口之貨櫃碼頭營運為貨櫃碼頭公司或航商投資、興建，通常興建之沉沒成本龐大且固定，當使用量越大時，會呈現平均成本會隨之降低之規模經濟效益。	2. 感謝貴單位之建議。如何衡量平均成本隨使用量降低之效益尚待進一步之研究。本計畫現階段以平均值為主以能簡化模型，後續研究可嘗試納入考量。	同意辦理
3. 模式中港口容量架設以港口裝卸量的 1.2 倍計算，假設的依據為何？	3. 本計畫初步假設港口裝卸量的 1.2 倍為港口容量，未來將進行敏感度分析，以分析不同的容量計算方式對模式之影響。	同意辦理
(四) 賴副組長威伸		
1. 本研究的目的是在構建趨近航運實務運作的網路模型，由於實務上的限制和考量非常多，該模式無法考量現實面所有的限制，因此必須適度的簡化、放鬆限制和設定假設條件，這些假設必須在模式構建前先加以說明。	1. 謝謝委員指正，將於期末報告中加入研究假設作詳細說明。	同意辦理
2. 本研究的輸入資料應該是港口間的貨物起訖量(p.96)，研究團隊應說明該 OD 量及轉運量是如何推估?有無方法進行校估？	2. 貨物起訖量之推估方法詳述於期中報告 6.2 節第 5 點中，各港轉運量則可由模式計算出之各港裝卸量減去以該港為起訖點之進出口貨量和而得。然因轉口櫃量屬商業機密不易取得，本研究不以校估其值為目標，主要著重於呈現	同意辦理

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	轉運之趨勢。另簡述 OD 量推估方法如下：因港對港的資料則不易取得，故本計畫首先由 International Trade Centre(ITC)取得各國間貨櫃流量資料，再以各港口裝卸量與全國裝卸量之比例做為流量分配之依據；再者，由於其貨櫃流量以其價值(USD)做計算，故需進一步將價值轉換為單位數。透過 ITC 公佈之各國裝卸貨櫃總價值及 UNCTADstat 公布之各國貨櫃裝卸量，計算出各國單位貨櫃之價值(USD/TEU)。而由於資料庫內兩國間流量價值之資料不一致，故針對每個起訖對的兩國往來之貨櫃價值計算平均，並將該兩國間貨櫃平均價值利用單位貨櫃之價值作換算，而能讓原貨櫃價值之資料轉為貨櫃單位數(TEU)以能應用於模式中。	
3. 在後續情境分析上建議增加北極航線和克拉運河開通的議題。在後續建議中，研究團隊應提出本網路模型擴充性，及更細緻化（如：船舶運能、碼頭運作）的可行性。	3. 謝謝委員之建議，將對此兩議題作進一步研究，並評估相關資料的完整性與可衡量性，以了解該議題進行情境分析之可行性。另將於報告中加入後續研究建議，提出本計畫的延伸空間，俾使未來能從事更進一步之研究，令此模型能更臻完善。	同意辦理
4. 在報告書章節安排的部分，建議文獻回顧不要以國際、國內作為分類，而應該以研究的方法論，如：何種數學模式、何種網路模型、何種應用，或何種啟發式解法來分類，會比較容易使讀者瞭解航運實務在過去模化的發展和研究歷程。另外在報告書的編寫格式應依運研所出版品的規定辦理。	4. 謝謝委員指正，將遵照修正。	同意辦理
5. 成本函數分為港口成本和航線成本，在設計上若乘載率高則增加轉運誘因，但轉運又會增加港口處理成本，這兩項成本權重如何分配；另在成本項中的項目不宜太過簡化，可再分項處理。	5. 謝謝委員建議，該權重後續將以敏感度分析以及參數校估方式決定其分配；另成本項將更詳細列出條項。	同意辦理

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
6. 實務上託運人將貨交給運送人後不大在意航線的選擇，本研究係以貨主的立場來進行貨物指派，應再加以說明。	6. 謝謝委員建議，將進一步補充闡明研究之架構。本計畫之指派流程在於各貨主尚未選定航商時，依各航線之綜合績效而選擇最適航線與經營航商的決策過程，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」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，直到各個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。	同意辦理
(五) 本所運工組		
1. 期中報告之中第五章情境分析與前面模型並無連結。	1. 謝謝委員指正。該情境概述用以作為之後進行情境分析之基礎。將加強闡述各情境下模式中何者會發生變動，明確定義出構建模式內重點分析之項目，以提升情境概述與模型之連結性。	同意辦理
2. 東協運量增加可透過 OD 表改變評估，巴拿馬運河拓寬情境可透過航線容量改變評估。但報告中提及的美洲鐵路運輸貨運考量，模式中似乎不能評估？	2. 感謝委員的建議。構建之網路中將加入北美路橋之節線加以衡量。本計畫巴拿馬運河會與美國內陸複合運輸模式相互競爭美國中西部之市占率多寡，主要將受到航線成本、運河費用及美國內陸運輸費用等總成本之影響，後續可藉由蒐集相關數據調整港口、節線之成本與容量進行貨物指派，以評估複合運輸模式競爭腹地之變動情形。	同意辦理
3. 第三情境主航線集貨分散化如何在模式中反應？模式中航線容量係由數條現況航線之加總，似乎無法反應個別航線之狀況。	3. 「集貨分散化」是策略聯營航商航線佈署與派船之行為，而由於本計畫本年僅考慮貨物指派，亦即在給定的航網下指派貨櫃，故模式之主要輸入為航商之航線，如欲反應集貨分散化，可調整模式之輸入航線以及相關成本，以驗證模式對於此情境的反應能力。	同意辦理

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
(六) 邱教授裕鈞		
1. 模式的假設宜述明，例如航商的行為、決策為何沒有考慮於其中？貨主是否在意航線選擇？	1. 謝謝委員之建議，將於期末報告中補充說明。本計畫本年僅考慮在給定的航網下指派貨櫃，旨在分析亞太地區相關主要海運貨櫃流向，亦即著重於預測貨物流向以及各港櫃量，而並未將策略聯營航商航線佈署與派船之行為納入考慮。	同意辦理
2. 模式細節應該再討論，例如在 traffic assignment 時，用路人的確使用一般化成本尋找其使用路徑，將 traffic assignment 的模式應用於海運模型之中，假設貨主由 VOT 進行決策，VOT 宜適度說明。	2. 謝謝委員之建議，將於期末報告中補充說明。VOT 為時間價值，貨物延遲運送將可能造成貨主之損失，將其納入成本項考量，而能呈現轉運所花費之時間對整體運送成本造成之影響性，進而改變貨主之選擇行為。	同意辦理
2. 模式之中成本項目乘上權重的意義為何？與宜於報告中加以討論。是否考慮用其他名詞、說法取代，而非使用權重這個名詞？	3. 模式中之權重用以調整承載率與擁擠程度對總成本之影響效果。當提升承載率帶來的效益較大時，轉口貿易發達，然轉運量過大又易導致港口處理成本增加，故透過權重作為中介，調整出貼近現實之權重值，以反映擁擠效果與承載率之邊際成本與效益對總成本帶來增減的幅度。謝謝委員建議，將挑選適當名詞以能更明確代表其意義。	同意辦理
3. 規模經濟的處理方式？為什麼使用現有的函數方式處理？	4. 本計畫透過納入承載率因子來呈現規模經濟帶來降低成本之效益，當成承載率越高時，將減少航線之成本，而其邊際效益大小及減少之幅度可由函數之係數與次方作調整。而另一方面，港口成本設計之概念類似公路交通之 BPR(Bureau of Public Roads)函數，考慮擁擠因素，增加一單位貨物帶來的邊際成本越大即會降低規模經濟之效果，而邊際成本與擁擠效果對該成本影響大小亦由函數之係數與次方作調整。	同意辦理
4. 群聚效果在模式之中是否無法反應？由於貨種在模式中沒有探討，在每一節點、節線僅有	5. 由於國際海運市場複雜、影響因素眾多，模式難以全面考量所有限制與因子，故本計畫以	同意辦理

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
進、出量，是否要討論到這麼 細節的問題？	巨觀分析為主，透過設定部份 假設條件簡化模型，以能建構 可運用之海運模型，由於涉及 複雜因素，而且須以微觀分析 方能反應群聚效果，故並未考 量於模式之中，相關假設將於 期末報告中補充並詳加說明。	
(七) 黃教授承傳		
1. 研究計畫的內容、範圍為何？ 是否僅進行至情境分析？或者 希望能做到情境分析之後各個 情境相對應的因應對策？	1. 本計畫將於報告中補充說明研 究內容與範圍。本研究主要以 巨觀分析為主，選定全球 31 個 重要國際港口，挑選主要的基 本影響因子（時間、成本等） 建構模型，本計畫預計僅進行 至情境分析，情境分析與其因 應對策將建議於未來研究方 向，謝謝委員的意見。	同意辦理
2. 東協運量增加影響不僅是量的 變化，東協為了因應興建了許 多大港口，這樣的變化對臺灣 港口有何衝擊？	2. 謝謝委員之建議。於後續情境 分析中亦將透過調整東協各港 之航線、容量、費用等，以評 估其港口擴張對臺灣可能所造 成之影響性。	同意辦理
3. 目前期中報告僅以高雄港為研 究標的，臺灣其他港口是否納 入？	3. 本研究以巨觀分析為出發點， 聚焦於高雄港，著重於分析如 何鞏固高雄港樞紐之地位。	同意辦理
4. 因為此模型為 strategic planning，模式構建之時，前提 假設與限制條件應該要詳細說 明。例如假設每個港口的容量 是裝卸量的 1.2 倍，基礎為何？	4. 謝謝委員指正，將於報告書中 加入研究假設作詳細說明。	同意辦理
5. 模式之中僅考慮時間、成本兩 因素，是否考慮比照其他領域 研究，納入一額外項目，將時 間、成本以外或者其他不能考 量的因素納入其中，並對該項 目亦進行校估？	5. 海運市場的影響因素眾多，本 研究初步僅挑選主要的基本影 響因子（時間、成本等）建構 模型，根據委員之意見，將嘗 試納入一額外項目，用以考量 時間、成本以外的因素，以評 估該項目對整體模式精準度之 影響。	同意辦理
6. 圖、表為連續編號，沒有分章 節，後續應修正。	6. 謝謝委員指正，將遵照修正。	同意辦理
(八) 許組長書耕		
1. 模型裡面沒有考慮北美陸橋， 北美陸橋會決定巴拿馬運河拓 寬前後美東、美西靠泊方式之	1. 謝謝委員之建議，構建之網路 中將加入北美路橋之節線加以 衡量。	同意辦理

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
變化，模式之中應該要納入考慮。		
2. 宜分析亞歐航線序列型與亞美航線平行型的航線，評估模式是否能夠呈現不同的靠港模式。	2. 後續將深入分析亞歐、亞美航線，以了解其靠港模式。	同意辦理
模式驗證的方式在後續工作會議再討論相關細節。	3. 後續工作會議將對模式驗證的方式進行說明與討論。	同意辦理
(九) 主席結論		
1. 各位委員及與會各單位之寶貴意見，與會評審委員對我們的模型期望也很高，請研究團隊製表回覆處理意見，並送本所承辦單位審查通過後，據以修訂期中報告書及作為期末報告書之附錄。	1. 謝謝，遵照辦理。	同意辦理
2. 本研究期中報告審查原則通過，請儘速辦理後續行政事宜。	2. 謝謝，遵照辦理。	同意辦理

附錄D ： 期末審查意見及辦理情形

交通部運輸研究所■合作研究計畫第2類□委託研究計畫

□期中■期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：「MOTC- IOT-105- EDB001 由國際航運網路模型探討臺灣港群之營運策略與未來發展」計畫案

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
(一) 盧教授華安		
1. 本研究內航網模型構建主要從貨主的角度出發,建議未來可以考慮到航商的航線佈署、船隊規模等航商行為因素。	1. 謝謝委員的建議,本計畫所提出之模型納入航線裝載率之考量,隱含了部分航商之實務考量因素;以本模型為基礎,於結論與建議之中,建議後續研究計畫能納入更多航商的行為與決策,以使模型更臻完善。	同意辦理
2. 本研究僅著重於對高雄港的影響,而似乎對臺灣其他港群未有太多著墨,若納入討論其他港口的影響,或許可使研究更加完整。	2. 由於本研究主要用以評估國際海運趨勢,故模式之中僅納入貨運運輸之國際主航線,而臺灣港群中又以高雄港影響最鉅,亦最具代表性。故本研究聚焦於高雄港,以其為基礎來探討臺灣港群。	同意辦理
3. 建議能針對高雄港不同策略調整對流量變化的影響,探討預期能達到之效果,以作為進行決策的參考。	3. 謝謝委員的建議,本計畫於模式構建完成後,測試了不同的參數組合與情境分析,排除不可抗量之因素外(如:政治),模式說明決定航線靠泊港口之決定因素主要有二:貨源與地理區位,委員所建議之情境於計畫進行中即測試;未來後續研究建議能與相關港埠單位、航商以及專家學者等討論可能之發展策略,並進一步利用模型進行分析,了解各項策略的影響性,以輔助決策。	同意辦理
4. 本研究的網路模式的建構,能否反應裝卸貨與轉口貨物對港口不同的運作影響,請補充說明之。	4. 本模型為一巨觀之長期策略模型,用以分析海運國際趨勢,故與目前發表之文獻相同,對港口之營運適度簡化,否則考量之因素過多,除了增加模式求解困難度外,更模糊整體趨勢之觀察。	同意辦理

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
5. 情境分析所探討的議題具有一定的參考價值，但海運產業充滿不確定性，如美東貨量是否確實增加、美國新任總統就任、航商與聯盟策略的變動等，未來建議進一步之探討。	5. 感謝委員的肯定與建議，在模式發展妥適、校估完成之後，可進行各種不同的情境分析，亦是本模型發展之初衷，如未來因應政策因素製造業轉至美國生產，造成東、西向或量調整，可於模式中調整貨物起迄量，以分析後續貨櫃流量分佈。由於本計畫並未明確考慮航商行為，故現階段難以分析策略聯盟之衝擊，已於未來研究方向之中建議後續持續精進模式之細膩度，以使模式之應用性更為廣泛。	同意辦理
6. 建議航網模型後續發展或可考慮模組化的這種概念，航商真正操作模式包含規劃階段的航線評估、如何派船，如何收貨與派貨，當用模組化概念進行時候，前一階段的結果可做為後一階段的輸入資料，可使模型更為彈性。	6. 感謝委員精闢的見解，事實上委員所提出之建議為海運相關模型之發展方向，由於海運經營與管理涉及複雜因素眾多，故目前數學模型之發展趨勢傾向於分階段發展，在策略規劃(strategic planning)決策完成之後，規劃結果視為戰略規劃(tactical planning)之輸入，最後再進入營運規劃(operational planning)之考量，研究報告將委員之建議納入後續長期研究之參考。	同意辦理
(二) 蘇處長建榮		
1. 航網模型宜從航商的角度，將航商的地緣因素、市占率與行為決策納入考慮。	1. 謝謝委員的建議，本計畫主要探討國際貨櫃流量之變化以及其對港口的影響，故尚未納入行商的角色。於計畫報告之結論中，建議後續計畫能繼續將模型精緻化，將航商因素於模式中反應，提升模型的解釋能力。	同意辦理
2. 本研究中航線的容量為外在因子，然而實務上，航商一旦該路線之貨量充足時，短時間內就能快速調動更大的船舶裝載，建議將航線之容量視為內在因子。	2. 感謝委員的建議，由於本研究以巨觀的角度進行長期策略性分析，故取目前國際航線佈署之平均運能作為網路節線容量，故暫未考慮短時間的船舶調動與運能調整。未來若將航商納入考慮後，即可將航線容量視為內在因子，由模式決定最適節線容量，以利模型更為貼合實際情況。	同意辦理

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
3. 本研究以最小化成本進行最佳化，若以與現況差距最小為最佳解，是否隱含現況即是最佳解，而且只能去解釋現況而限縮其他面向的應用？	3. 本研究並非以最小化成本為目標，而是以最小化「模式預測的流量分佈」與「實際流量分佈」為參數校估目標，並利用校估後之參數計算貨櫃流量分佈之唯一均衡解。模式結果預測之貨櫃流量能夠反應現況，同時藉由輸入資料的調整能夠預測不同外部情境對貨櫃流量之衝擊。	同意辦理
4. 航線的選擇通常為航商所主導，貨主只在乎成本及運送時間，並不在乎使用哪一條航線，建議航網模型之建構角度宜再多考量。	4. 貨主之航線選擇雖然短期之航線選擇受航商航線規劃之影響，但長期來說為一自利且不合作(Selfish and Non-Cooperative)之行為，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。故本計畫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。	同意辦理
5. 期末報告 P.3-7 中，港口成本項的港灣費用以貨櫃的量做計算，但是實際上多用船舶為單位並依據船型大小計價，如此是否會產生誤差？另為何以推估方式計算港口成本？P.5-26 歷年裝卸量與進出口的 OD 量似乎與實際有落差，請說明。	5. 由於本研究為一策略規劃模型，未考慮船舶大小，而是將各船舶的平均港灣費用分攤至每單位的貨櫃進行計算。此外，由於各港埠成本資料調查不易，且其運作效率受許多不確定的外在因子影響，故短時間難以獲得，因此暫以合理推估之方式做計算。另由於本研究僅考慮 31 個港口，故必須排除非 31 港間的貨櫃量。因此，本研究計算各港總進出口量中，屬於其他 30 港的貨物往來之占比，並進一步用以估算出總裝卸量中屬於研究港的貨物裝卸量。	同意辦理
6. 情境分析中，說明巴拿馬運河拓寬後需求增加，然而運輸是為衍伸性需求，並不會因為運河拓寬便增加市場需求，請補充說明。	6. 情境分析為模式校估完成後，數值化地分析不同外在因素對於全球貨櫃流量分佈之影響，本計畫巴拿馬運河拓寬之分析，首先探討其拓寬後，因使用大型船舶能降低單位成本所促進之供給量。其次，分析若單位成本降低促使運河之經濟腹地增加、吸引原使用其他運具之需求增加。此供給與需求面之分析旨在驗證模式之實用性，所預測之結果與實務業界專家觀察相近。	同意辦理

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
7. 本研究所提出之趨勢分析大致上與實際觀察一致，建議就期末報告最後提出之結論跟建議做更細緻的討論與分析，以作為協助港務公司未來的發展決策之參考。	7. 謝謝委員的肯定。針對期末報告結論的部分將加以補充說明，並建議後續計畫可針對不同營運策略做進一步之分析。	同意辦理
(三) 交通部航港局		
1. 明年4月起開始就會有新聯盟的組成，其中以陽明參與的THE Alliance及長榮海運參與的海洋聯盟與臺灣較相關，是否能就這部分做補充，以了解新聯盟組成之後航線部署的變化情形對高雄港的影響。	1. 謝謝貴單位建議。航商聯盟近來變動劇烈，其不同的船舶佈署策略影響港口甚劇，唯本計畫尚未考慮航商與策略聯盟等因素，故建議後續研究計畫能將航商納入考量，並對聯盟重組後的變化進行模式網路之調整，以觀察流量分佈之變化。	同意辦理
(四) 許組長書耕		
1. 本模式為一個雛型，未來應更加精緻化模型，包括透過參數的設定與模型架構的調整，期能提供高雄港做決策分析工具。	1. 以本模型為基礎，期後續研究能進一步探討重要影響因子，並納入模式中考量，以提升模型之精緻度。並能透過評估不同之策略，用以輔助港埠單位之決策。	同意辦理
2. 未來應將船型大小的問題納入考慮，包括將節線容量的是為內生變數，並將航商聯盟等加以考量，透過多層網路或其他不同的思維來調整此網路模型。	2. 謝謝委員之建議，本計畫為構建全球海運模型之初探，雖有部分成果，但模式之精緻度、考量之因素均尚有改善空間，期未來研究計畫能將航商角色納入考量，建構動態的航運網路，以能彈性調整各航線運能、更為細膩化的呈現航商佈署以及貨主選擇行為間，互相交互作用之結果，令模型能更為貼合實際。	同意辦理
(五) 賴副組長威伸		
1. 目前的網路架構已可粗略地描述航運網路，期末報告裡的第1-4節，提到研究範圍利用G6聯盟作為分析標的，建議應更清楚說明G6聯盟於本研究的作用，以免誤解此模型僅侷限於G6聯盟之運作模式。	1. 謝謝委員指正。本研究以G6聯盟作為31個港的選港依據，以及作為情境分析的測試例子，而本研究之網路包含現存各航商之航線以及所有潛在可能之航線，而非僅侷限於G6聯盟之航線，會於期末報告中加強說明。	同意辦理
2. 第四章中提到有3種演算方法，但無詳述是否有應用於模式中，請補充說明。	2. 感謝委員的指正。將於報告書中補充說明。	同意辦理

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
3. 期末報告書的結論似乎太過單薄，建議應加強說明研究之貢獻與成果。本研究主要希望透過航網模型，瞭解高雄港將來在這區域扮演這個角色，以及外在環境變化對港口貨櫃量之影響，但期末報告中如何計算或呈現 OD 或轉運量等討論較少，建議可在報告書補充說明或列入後續研究。	3. 謝謝委員建議。將於報告中加強補充說明本研究之發現，並能更為詳細說明會櫃量計算之方式。後續研究能針對周遭競爭港埠之營運策略變動等，探討各港口勢力消長的發展，並評估探討這此情勢下對高雄港造成的影響。	同意辦理
(六) 陳副所長天賜		
1. 本研究模型進行流量分配預測時，收斂條件為何?請補充說明。	1. 貨主之航線選擇為一自利且不合作之行為，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，因此收斂的條件為貨主停止航線變化為止。	同意辦理
2. 成本函數中的 β 可以用來反應以 1.2 倍吞吐量估計港口容量造成之擁擠效果，但若其值會一直改變，該如何進行預測，請補充說明。	2. 本研究以 1.2 倍估計港口容量，此倍數之差異效果可透過參數 β 調整而被吸收。而成本函數之參數 β 透過校估後即固定，於後續貨物指派流量預測時均為定值。	同意辦理
3. 若後續研究將航商考慮進來後，模式是否需要重建?建議未來可以訪談等方式，以能了解航商佈署之考量因素。	3. 後續研究應以本模型為基礎，透過調整模型架構反應航商之行為，並可透過蒐集航商之意見來評估影響航線佈署的重要因子。	同意辦理
4. 後續研究可提升模型精確度並思考推廣應用，針對於市場主流的論述，透過模式求解結果來檢視、強化其論述的內涵或是省思，模型分析有重要性。	4. 謝謝主席之建議，於期末報告中建議後續可針對主流論述進行情境分析，以提供相關單位研擬策略與規劃之參考。	同意辦理
(七) 本所運工組		
1. 報告 5.2 節中，在節線部分係以 G6 聯盟 2015 年底佈署之航線為節線運能（即節線容量上限），然在 3.1 節(P.3-2)說明「建構線型與潛在航線網路」時，整體網路係包括線有航線與虛擬航線，即上述 G6 航線為網路線有航線之節線容量上限，網路內其	1. 本研究之航線係以「國際海運資料庫」取得航商於各航線投入之運能作為航線容量，並於期末報告中以 G6 聯盟為例，說明運能之考量方式。而虛擬航線則以本研究考量的所有航線之平均容量作計算，後續研究可作進一步細膩化之設計。	同意辦理

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
餘之虛擬航線節線容量如何設定?請補充說明之。		
2. 本計畫之網路模型設計，在節線容量上限設定部分，數次工作會議內均有討論，也作過數項測試，包括將節線容量設定相同等方式，期末報告書內應將其考量即分析過程充分呈現，建議補充說明。	2. 謝謝委員之建議，經本研究測試節線容量相同網路發現，其結果與海運實務結果有所落差，分析主要原因包含航商因素完全被排除，而且節線容量與貨物流量具相關性，未能適當呈現各航線容量造成之限制而造成偏誤，詳細分析過程將於期末報告中將補充說明。	同意辦理
3. 東協運量增加之情境分析中，模式求得當東協運量小幅增加20%時，將促使高雄港的轉運量提升約6.30%；然而當運量成長幅度更大時(如50%或200%)，將對高雄港轉運量造成衝擊(降低6.33%或58.64%)，此與實際之預期相符，然其航線變動係來自東協西向(美東)航線，或是東協東向(美東或美西)航線增加，對高雄港之意義不同，模式中是否可提供說明。	3. 模式分析對高雄港變動之結果主要來自於東協東向之航線變動，傳統上東協港口以高雄港為其往東北亞與北美港口之越太平洋航線的轉運港，然而當其運量大幅增加而毋須再向北集貨時，其東向之航線將逐漸轉為直達北美而不轉運。而由於高雄之地理位置本不利於發展東協往西之航線，故轉運量受西向航線變動之相對衝擊較小，然此也意味著未來難以發展西向航線之可能性。	同意辦理
4. 巴拿馬運河拓寬之情境分析中，分別對於供給面(放大經巴拿馬運河之節線容量)、需求面(增加美東之OD)進行分析，然而在模式中是否有將拓寬前後之運河通行費等成本，反應在節線成本中，請補充說明。	4. 本模式中可呈現運河拓寬後整體節線之單位成本下降之情形，而能反應透過採用大型的船舶能產生規模經濟之效果，進而提升整體效率與效益。	同意辦理
(八) 主席		
1. 本研究期末報告審查原則通過，請將委員之相關意見於報告中修正或於後續計畫納入考量，並儘速辦理後續行政事宜。	1. 謝謝，遵照辦理	同意辦理

附錄E ： 期末簡報

由國際航運網路模型探討 臺灣港群之營運策略與未來發展

期末報告

財團法人成大研究發展基金會

林東盈、李宇欣、陳春益、戴輝煌、李威勳

2016年12月22日

簡報 大綱

- 一. 計畫背景
- 二. 文獻回顧
- 三. 海運模型
- 四. 貨物指派演算法
- 五. 模型驗證與校估
- 六. 情境分析
- 七. 結論建議與後續研究

一、計畫背景

1.1 緣起

- 目前隱憂：臺灣近年來進出口櫃量成長遲緩
- 產業競爭：大陸與東南亞沿海港口快速建設與發展
- 發展關鍵：欲鞏固高雄港樞紐地位唯有從提升轉口櫃量著手
- 未來挑戰：需積極投入與鄰近港埠的競逐，爭取轉口櫃量

1.2 重要性

- 因應產業環境變化：船舶大型化、航商聯盟、運河擴建等
- 輔助港口營運管理：協助港埠單位評估各項策略的風險及報酬，以提出合理的前景預測

3

一、計畫背景

1.3 目的

- 構建國際航運網路模型：以此模型評估外在情境變化影響性
- 協助相關政策之擬訂：評估海運、港埠政策之風險與效益

1.4 預期成果

- 貨運起迄量資料蒐集與分析：蒐集並分析全球主要定期航線起訖點需求量
- 定期海運網路之建立：建立連結亞太重要貨櫃貿易路線為核心之定期航運網路模式
- 網路最佳化技術之發展與設計：發展求解演算法
- 情境分析：探討不同情境之變動對我國港口之影響

4

一、計畫背景

1.5 預期效益

- 定期海運網路預估模型之建立：利用模型預估未來趨勢，掌握我國港埠發展契機
- 運研所「國際海運資料庫」之應用：應用「國際海運資料庫」之數據基礎，擘劃適切的港埠營運及發展策略
- 評估海運、港埠政策之風險：以科學化方法評估風險及報酬
- 政府政策形成之參考：以符合實務運作之資料為基礎提出結論，作為相關單位研提港埠未來發展策略建議。

5

二、文獻回顧

國際文獻

- Ronen (1983)：1980年之前
- Christiansen *et al.* (2004)：1990-2000年
- Christiansen *et al.* (2013)與Meng *et al.* (2014)：最新回顧

國內文獻

- 陳春益 and 張永昌 (1997)
- 許志成 (1998)
- 盧華安 (2000)
- 盧華安 and 徐育彰 (2001)
- 謝尚行 and 張斐茹 (2001)
- 邱明琦 *et al.* (2002)

6

二、文獻回顧

小結

- 海運相關研究通常分為三個階層
 - 策略規劃(strategic planning)
 - 戰略規劃(tactic planning)
 - 營運規劃(operational planning)
- 近來已有部分學者嘗試以策略規劃方法探討航線規劃設計，但考慮港口相關運作之定期航班網路設計研究仍屬少數

7

二、文獻回顧

小結

Tavasszy et al. (2011)

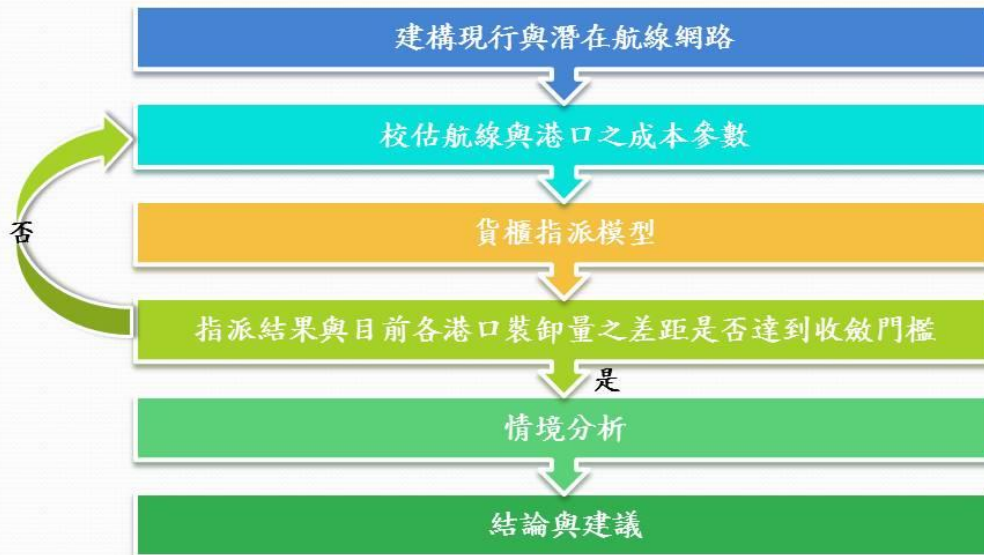
- 提出一策略規劃網路模型預估全球海運貨櫃流向
- 以羅吉特(Logit Model)模型為基礎指派貨物
- 模式弱點：
 - 路徑窮舉
 - 未考慮裝載率與擁擠因素
 - 未考慮海運網路均衡行為
 - 亞洲地區資料準確度較低

本計畫構建國際航運網路策略模型，考慮擁擠效果、裝載率與均衡因素，以有效率地分析亞太航運網路轉變對我國港口之可能影響，進而研擬我國港埠未來的發展方向。

8

三、海運模型

3.1 海運模型研究流程



9

三、海運模型

3.2 海運網路模型基本架構

1. 節點 (31個選定重要港口)

含美西、美東、台灣、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

2. 節線 (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，同時也將所有潛在航線納入考慮，而能將所有可能於模式中完整考量

10

31個重要港口



11

三、海運模型

3.3 貨物指派模型

- 長期而言，貨主之航線選擇為一自利且不合作 (selfish and non-cooperative) 之行為。
 - 若一航商無法提供適切之服務（成本、時間等），貨主可選擇其他航商服務。
 - 隨之轉換航線，此航線轉換重複直到貨主無法藉由變更航商獲得更好的服務，此狀況達成系統均衡。
- 模式考慮「時間」、「成本」、「港口擁擠」以及「裝載率」等因素，以反映貨主於航線選擇時的決策行為。

12

三、海運模型

3.3.1 研究假設

OD 量為 外在因子

- 起訖點間流量已知且不隨時間而變動
- 以國際海運貿易為主，不考慮國內貿易

節線容量為 外在因子

- 以每年航商投入各航線上之運能作為節線容量
- 由運研所的國際海運資料庫獲取資料

港口容量

- 受經營與政策等因素所影響而難以量測
- 假設各港口容量為其平均每年裝卸量之 1.2 倍作為估計以簡化模型

13

三、海運模型

3.3.1 研究假設

港口擁擠效果

- 擁擠導致港口作業時間與成本增加
- 提出能反映擁擠效果之成本函數，以增進模式反映真實情況之能力

考慮節線 裝載率

- 運能供過於求，需足夠之裝載率並達到經濟規模，以降低單位成本
- 運輸成本函數考慮裝載率以反映航商對路徑選擇的影響性

流量非整數性

- 連續性決策變數(continuous decision variable)
- 本計畫屬於長期性的策略計畫模型，故非整數之流量並不會造成研究上之限制

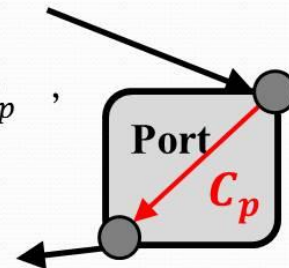
14

三、海運模型

3.3.2 成本函數型態

● 港口成本

將單一港口節點拆解為進口、出口兩節點，進、口間之節線為港口使用成本 C_p ，且該成本隨流量提高而增加，藉此將擁擠現象納入模式考慮



x_p ：港口 p 的貨櫃流量

$$C_p(x_p) = x_p \times \underbrace{c_{PC}}_{\text{港口 } p \text{ 的使用成本}} + x_p \times \underbrace{c_{THC}}_{\text{貨櫃處理費}} + \underbrace{\mu_C}_{\text{擁擠效果參數}} \times \underbrace{VOT}_{\text{時間價值}} \times t_p^f \left[1 + \underbrace{\alpha}_{\text{擁擠效果}} \left(\frac{x_p}{V_p} \right)^{\beta} \right]$$

需校估之函數參數： μ_C, α, β

15

三、海運模型

3.3.2 成本函數型態

● 航線成本

以「平均船速」計算兩港間的行駛時間 t_l^f 。

$\frac{V_l - x_l}{V_l}$ 代表裝載率，當裝載率提升時將使行駛該航段之成本減少。

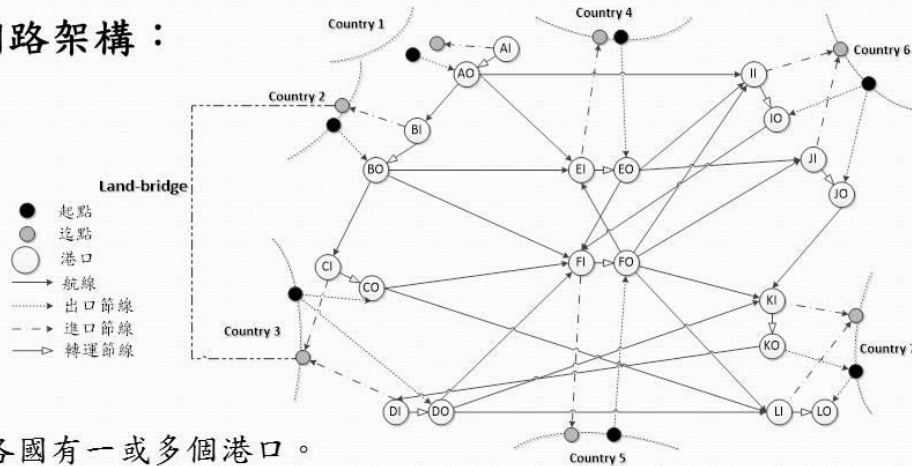
$$C_l(x_l) = \underbrace{VOT}_{\text{時間價值}} \times \underbrace{t_l^f}_{\text{航線 } l \text{ 行駛時間}} + \underbrace{\mu_{LF}}_{\text{裝載率效果參數}} \times \left(\frac{V_l - x_l}{V_l} \right)^{\gamma}$$

需校估之函數參數： μ_{LF}, γ

16

三、海運模型

網路架構：



- 各國有一或多個港口。
- 海運網路由起訖點的中心點(Centroid)、港口、港口與中心之連結線(Centroid Connector)、航線以及轉運節線等。
- 並根據Federal Railroad Administration, Drewry與Alex (2010)等設定陸橋成本與容量。

17

三、海運模型

3.4 均衡模式

x_i ：航段 i 上的流量

C_i ：航段 i 上的成本

f_k^{rs} ：O-D對 $r-s$ 間的航線 k 之流量

q_{rs} ：起點 r 與迄點 s 間的總流量

$\delta_{i,k}^{rs}$ ：二元變數，若航段 i 在航線 k 則為1，反之則為0

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

$$\text{s.t. } \sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall r, s$$

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

$$x_i = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} \cdot \delta_{i,k}^{rs} \quad \forall i$$

18

四、貨櫃指派演算法

Frank-Wolfe Algorithm



19

五、模型校估

5.1 國際海運資料來源

模式項目	資料項目	資料來源
節點 (港口)	主要港口	以交通部運輸研究所的「國際海運資料庫」31個重要港口為主要研究對象
	港口裝卸櫃量	Lloyd's List Intelligence (2016); Dynamar (2016), Port Authorities, Government Agencies & terminal operating companies; 本研究整理
	港口容量	交通部運輸研究所的「國際海運資料庫」; 本研究整理
	港口使用費、平均單位貨物處理費、平均轉運時間	以高雄港相關數據為基準，透過正負向因子推估
節線 (航線)	亞太區域貨櫃航線網路	交通部運輸研究所的「國際海運資料庫」
	各航線運能	交通部運輸研究所的「國際海運資料庫」
	各航線距離與時間	SEA-DISTANCES.ORG
OD流量	國對國的貨櫃流量	UNCTADstat (2016), UN Comtrade Database (2016) and ITC (2016)

20

五、模型驗證與校估

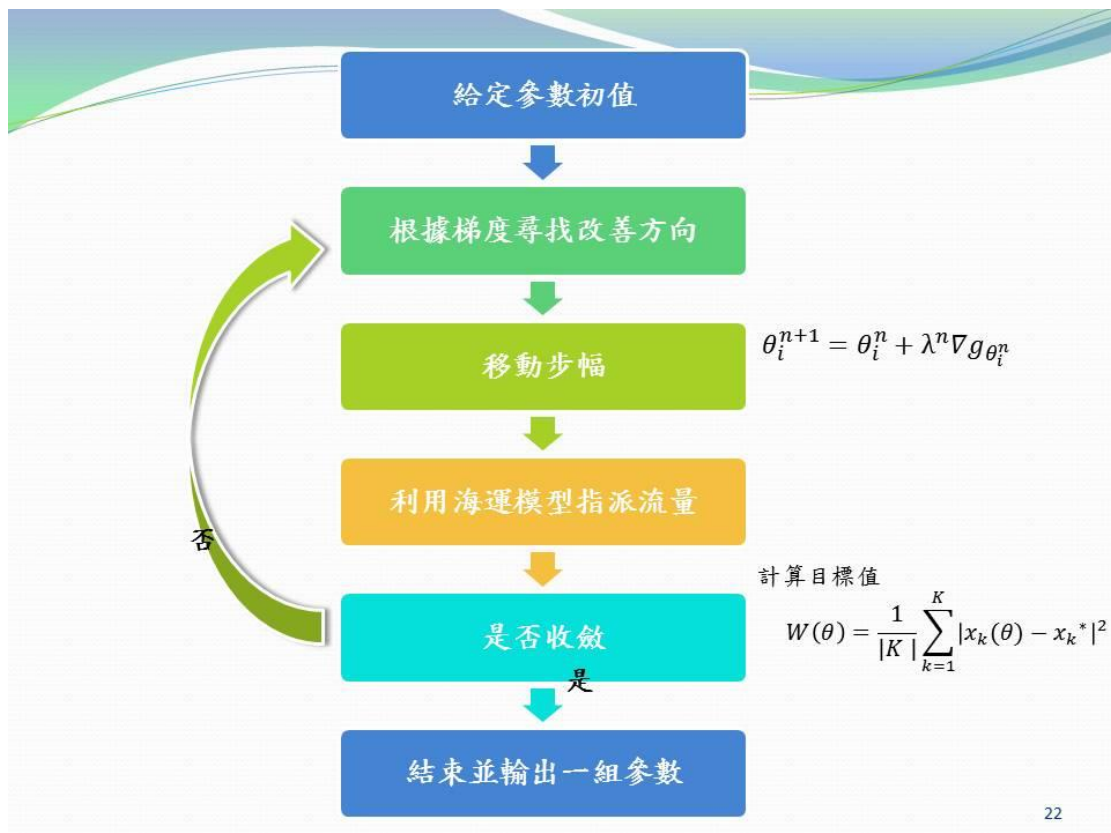
5.2 下沉方向演算法(descent direction heuristic)

- 演算法概念：每次運算朝向能改善最多的方向前進，以能得到最大的下降幅度。
- 校估目標式：最小化模式預測值及觀察值間的差平方。

$$\text{Min } W(\theta) = \frac{1}{|K|} \sum_{k=1}^K |x_k(\theta) - x_k^*|^2$$

x_k 為模式求得第 k 個港口的裝卸量， x_k^* 為第 k 個港口的實際裝卸量

21



22

五、模型驗證與校估

5.2 下沉方向演算法(descent direction heuristic)

透過演算法逐步降低運量預測之平均誤差程度，其結果如下所示。

參數校估結果	平均誤差(%)
$\mu_C = 1.00E - 05$ $\mu_{LF} = 1000$ $\alpha = 1$ $\beta = 2$ $\gamma = 2$	24.42%
...	...
$\mu_C = 1.00E - 05$ $\mu_{LF} = 1.0E - 05$ $\alpha = 1$ $\beta = 3$ $\gamma = 2$	17.00%
$\mu_C = 1.00E - 05$ $\mu_{LF} = 1.0E - 05$ $\alpha = 34$ $\beta = 2$ $\gamma = 4$	16.80%
$\mu_C = 1.00E - 05$ $\mu_{LF} = 1.0E - 05$ $\alpha = 33$ $\beta = 4$ $\gamma = 4$	16.41%
$\mu_C = 1.00E - 05$ $\mu_{LF} = 1.0E - 05$ $\alpha = 33$ $\beta = 2$ $\gamma = 4$	12.51%
...	...
$\mu_C = 1.00E - 05$ $\mu_{LF} = 1.0E - 05$ $\alpha = 32.88$ $\beta = 2.89$ $\gamma = 4$	12.12%

提升模式貼
合實際程度

23

五、模型驗證與校估

5.2 下沉方向演算法(descent direction heuristic)

校估後之參數如下：

$$\mu_C = 1.00E - 05$$

$$\mu_{LF} = 1.00E + 05$$

$$\alpha = 32.88$$

$$\beta = 2.89$$

$$\gamma = 4.00$$

利用此組參數，各港「預測裝卸量」與「實際裝卸量」平均誤差降至**12.12%**，已能呈現貨運流量之趨勢。故以此組參數進行情境分析，了解外在環境對櫃量分佈之影響。

24

六、情境分析

利用本計畫應用所構建海運模型，分析以下為可能對高雄港造成衝擊之情境：

	情境	CPU Time(s)	內容
東協運量增加	OD增加1.2倍	27.27	東協經濟成長促使貨運量提升，測試不同增長幅度對高雄港之影響
	OD增加1.5倍	82.21	
	OD增加2倍	618.33	
巴拿馬運河拓寬	節線容量增加2倍	376.89	巴拿馬運河已竣工，由供需層面分析可通行船舶之運能提升下之影響性
	節線容量增加2倍 OD增加20%	899.45	

硬體規格：Intel i7-6700K CPU@4 GHZ 8.00 GB
31對OD，3,295條節線，以C#撰寫程式

25

六、情境分析

1.東協運量增加

● 背景說明：

東協各國進行政治、經濟改革，並大幅開放外國的直接投資，促使其各國經濟成長逐年提升。

● 模式調整：

東協國家在本計畫網路中包含八個主要大型港口，藉由提升此八港之運量測試對高雄港轉運需求的影響。

東協8港口：

菲律賓：馬尼拉
越南：海防、胡志明
印尼：雅加達
泰國：林查邦
新加坡：新加坡港
馬來西亞：丹戎帕拉帕斯、巴生港

26

六、情境分析

1. 東協運量增加

- 模式求解結果：

由結果顯示當其運量微幅增加時，將有助於提升高雄港的轉運量；然而，當運量大幅增加時，將不利高雄港轉運量。

3.1 高雄港轉運量變動率

情境	高雄港轉運量變動
東協運量增加20%	+6%
東協運量增加50%	-6%
東協運量增為200%	-59%

27



六、情境分析

1. 東協運量增加

● 模式結果分析

東協航線方向及港口發展影響高雄港轉運地位

- 預測東協港口貨量將穩定成長
- 在其港口更新而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
- 東協往華中、華北港口可直接彎靠，不須經高雄港轉運
- 若東協西向往歐洲或美東港口航線增加，可能不利高雄港的轉運地位

29

六、情境分析

2. 巴拿馬運河拓寬

子情境1：供給面--貨櫃航線船舶大型化

● 背景說明：

- 巴拿馬運河於2016年6月底拓寬完成
- 第一階段(2016年Q3之後)，由於受紐約港域船型之限，預期船型會由4,500 TEU提高至8,500 TEU
- 運能提升將造成亞太區域東向與西向美東航線重新佈署

● 模式調整方式：

在巴拿馬運河拓寬後的第一階段，預期船型將由4,500 TEU提高至8,500 TEU，故透過調整航線容量為兩倍，呈現航線運能提升的情況，同時維持需求保持不變之狀況。

30

六、情境分析

2. 巴拿馬運河拓寬

子情境1：供給面--貨櫃航線船舶大型化

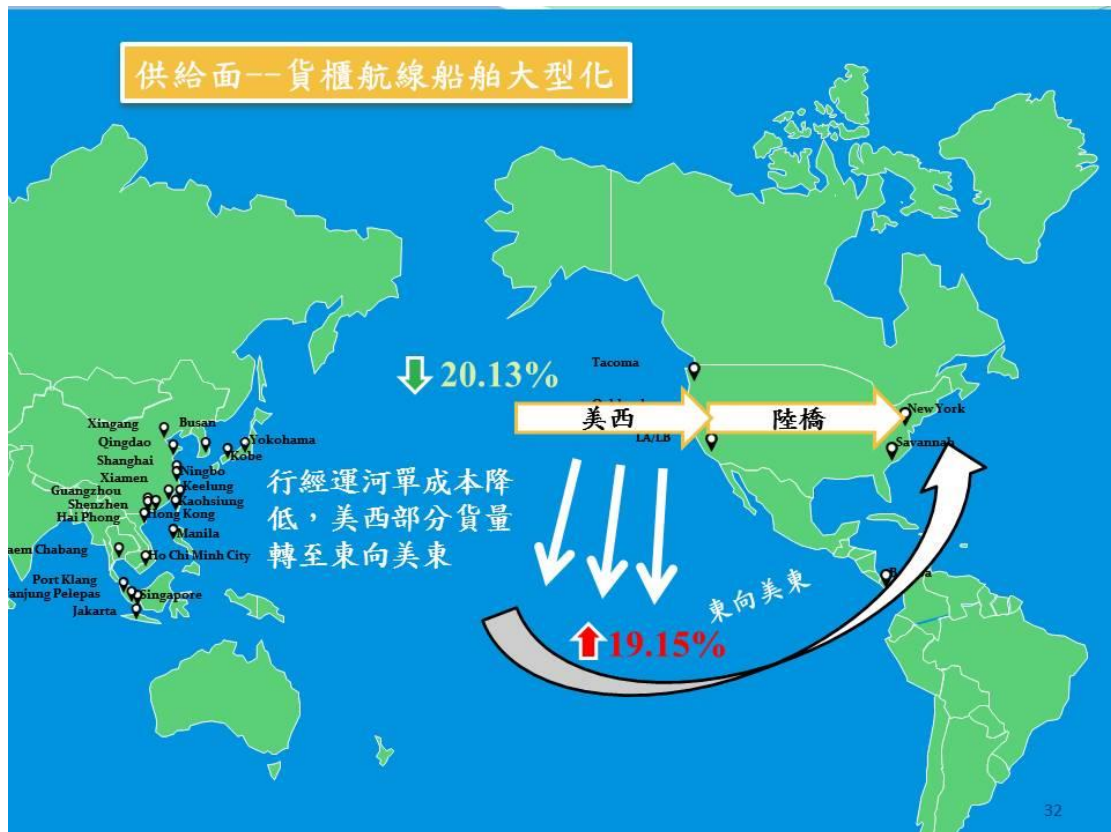
● 模式求解結果：

3.2.1 不同情境下航線流量變動

情境 航線	原始情境 (TEU)	船舶大型化 (TEU)	變動率
東向美東	505,625.63	604,471.25	+19.15%
美西	460,725.30	345,195.13	-20.13%

- 結果顯示經巴拿馬運河東向美東之航線運量將有19%的成長，而美西航線將減少約20%。
- 顯示當運河拓寬後可容納更大型的船隻，降低單位運輸成本，促使運河模式相較複合運輸模式（land bridge）更具競爭優勢。

31



六、情境分析

2. 巴拿馬運河拓寬

子情境1：供給面--貨櫃航線船舶大型化

- 模式結果分析

部分貨櫃轉為使用「全水路運輸方式」

乃因「全水路運輸方式」可隨巴拿馬運河拓寬而採較大船型，因而降低單位運輸成本，而較「複合式運輸方式」具競爭優勢。

33

六、情境分析

2. 巴拿馬運河拓寬

子情境2：需求面--船舶大型化下，美東貨運需求增加

- 背景說明：

由需求面來看，美國東岸為運河最具競爭優勢的經濟腹地，而西岸則是複合運輸模式最具競爭優勢的範圍；中西部地區，即是巴拿馬運河模式和複合運輸模式互相搶奪的經濟腹地。

- 模式調整方式：

當船舶容量提高為兩倍下，考慮美東航線之服務市場擴大，需求量增加，故增加美東港口OD量20%，以了解其對貨物流量配置的影響性。

34

六、情境分析

2. 巴拿馬運河拓寬

子情境2：需求面—船舶大型化下，美東貨運需求增加

• 模式求解結果：

3.2.2 不同情境下航線流量比例變動

情境 航線	原始情境		美東貨運需求增加+ 船舶大型化		變動率
	貨量(TEU)	比率	貨量(TEU)	比率	
東向美東	505,625.63	52.32%	712431.60	62.35%	+10.03%
美西	460,725.30	47.68%	430192.89	37.65%	-10.03%

運河拓寬對供、需層面產生的衝擊，均促進美東航線占北美東岸市場貨量之比例有所提升。

35

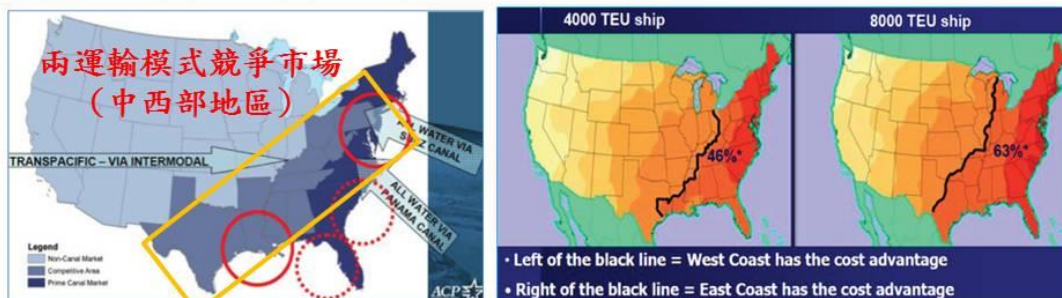


六、情境分析

2. 巴拿馬運河拓寬

● 模式結果分析

- 美國中西部地區傳統為巴拿馬運河和複合運輸主要的市場競爭地。
- 運河擴建完成後，預期將使運河之競爭腹地向西擴張。
- 根據MAFC(2011)研究，以美東航線為例，如船型由4,500TEU提高至8,500TEU，市場範圍由46%增至63%，與本計劃觀察結果相近。



Source: Mid-America Freight Coalition (MAFC) (2011). The Far Reaching Effects of Canal Expansion.
Available at: <http://midamericafreight.org/2011/03/panama-canal-expansion/>

37

六、情境分析

2. 巴拿馬運河拓寬

子情境3：亞洲區域東/西向美東競合分析

● 背景說明：

- 在亞洲地區，東向（經巴拿馬運河）與西向（經蘇伊士運河）美東航線，存在競爭關係。
- 在美東「需求增加」以及「船舶大型化」條件下，檢視巴拿馬運河拓寬對兩航線於亞太區域的經濟腹地之衝擊。

● 模式調整方式：

承接子情境2，當船舶容量提高為兩倍下，且美東航線之服務市場擴大，OD量增加20%，分析東/西向美東航線於亞太區之經濟腹地分界之變動情形。

38

六、情境分析

2. 巴拿馬運河拓寬

子情境3：東/西向美東競合分析

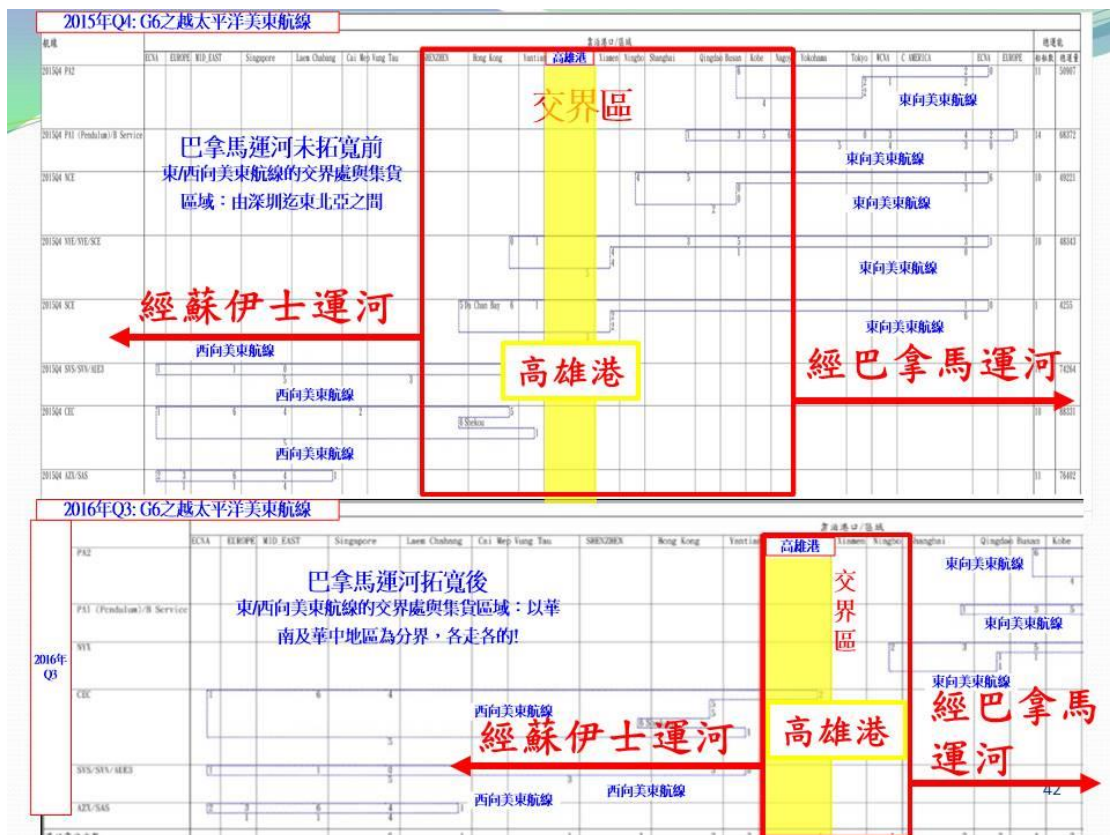
● 模式求解結果：

- 以G6聯盟2015年Q4東向美東之航線NYE/NYE/SCE為例，該航線於亞太區原靠泊華北至華南區域之港口。
- 根據模式求解，巴拿馬運河拓寬後，由華南到華中的量降低29%，華南區域貨物將轉為透過蘇伊士運河運送。
- 實際亦觀察到G6聯盟於2016年Q3將航線調整為僅靠泊華中以北地區之港口，顯示東/西向美東航線於亞太區之經濟腹地分界將更為明確。

39



40



六、情境分析

2. 巴拿馬運河拓寬

子情境3：東/西向美東競合分析

● 模式結果分析

- 航商選擇自由度提升

巴拿馬運河拓寬後航商將不再受限於船型，可選擇靠泊港口之順序，甚且選擇區域轉運港、洲際樞紐港。

- 高雄港將處於劣勢

- 高雄港正好位處於東/西向美東航線的交界點
- 若運河拓寬後的經巴拿馬運河之航線，改從華中經日韓至北美東岸，另外由華南、東協透過蘇伊士運河至北美東岸，皆將令高雄港處於不利的地位。

43

六、情境分析

4. 小結

情境	研究結果發現
東協運量增加	● 當東協運量微幅上漲時，有益於提升高雄港運量。 ● 然而當其運量大幅提升時，將對高雄港不利。
巴拿馬運河拓寬	● 全水路運輸之優勢提升 ● 運河之競爭腹地向西(美國中西區)擴張 ● 運河拓寬後東西向航線之交界區變小且北移，高雄港位於交界處而可能因此被排除在外

綜合各情境之結果，受貨源、船型大小、航線佈署等交錯影響，若未能及時提出對策因應，**在櫃源減低的情況下，高雄港由洲際貨櫃中心變成區域樞紐的隱憂將持續發酵。**

44

七、結論建議與後續研究

7.1 結論建議

結論

- 運能過剩下，航商更為重視裝載率
- 貨源成為選擇靠泊港口的重要關鍵
- 目前發展情勢下，高雄港似很難再回復昔日主航線樞紐港的機會

建議

- 加強港口基礎建設，投入與鄰近港埠的競逐
- 若欲鞏固高雄港於亞太區域之地位，應積極爭取轉口櫃量
- 吸引既定之現有靠泊台灣的主要航商，以及其所參與的策略聯盟，做為主要關注的「顧客群」
- 以確保穩固既有的航商與航線靠泊為主，並做為我們的持續客源吸引與重要的努力目標。

45

七、結論建議與後續研究

7.2 後續研究方向

提升海運網路資料完整度

- 本計畫僅考慮部分大型港口，其餘小型港口並未納入考慮
- 未來能逐步擴大研究範圍，以提升模式預測能力與精準度

考慮航商佈署航線

- 本年度僅考慮貨物指派，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佈的影響性

46

七、結論建議與後續研究

7.2 後續研究方向

考慮其餘重要影響因子

- 海運網路決策影響因素眾多且複雜，易受外在環境（如油價、航商聯盟等）轉變而更動
- 未來可納入更多影響因子作為考量，擴大模式可調整的空間，並提升模型預測的全面性

軟體與使用者介面設計

- 以此模型為基礎，未來能加以發展成軟體
- 設計易於使用之介面，透過輸入資料與相關參數之調整，觀察網路中流量分佈的變化
- 作為分析不同外在因子對市場影響性之工具，提供相關單位使用，以利策略發展。

47

由國際航運網路模型探討臺灣 港群之營運策略與未來發展

期末報告

財團法人成大研究發展基金會

林東盈、李宇欣、陳春益、戴輝煌、李威勳

謝謝