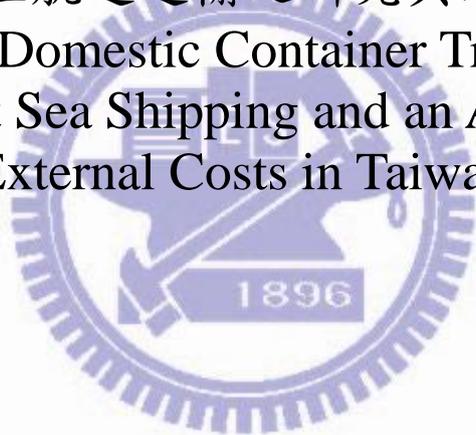


國立交通大學
運輸科技與管理學系碩士班

碩士論文

國內貨櫃短程航運運輸之研究與外部成本分析
A Study for Domestic Container Transportation
with Short Sea Shipping and an Analysis of
External Costs in Taiwan



研究生：賴冠豪

指導教授：黃家耀 助理教授

中華民國 100 年 6 月

國內貨櫃短程航運運輸之研究與外部成本分析
A Study for Domestic Container Transportation with Short Sea
Shipping and an Analysis of External Costs in Taiwan

研究生：賴冠豪

Student : Kuan-Hao Lai

指導教授：黃家耀

Advisor : Ka-Lo Wong

國立交通大學
運輸科技與管理學系
碩士論文



A Thesis
Submitted to Department of Transportation Technology and Management
College of Management
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master
in

Transportation Technology and Management

June 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 100 年 6 月

國內貨櫃短程航運運輸之研究與外部成本分析

研究生：賴冠豪

指導教授：黃家耀

國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

摘要

高雄港由於自然條件優越以及港內腹地遼闊，有很好的競爭優勢，是台灣主要的國際貿易港口。台灣貨源多集中在北部地區，而北部主要的國際貿易港口為基隆港，基隆港雖然是天然港灣，但是港內腹地有限且聯外運輸系統較不方便，港口的服務容量和水準都無法負荷；相較之下，高雄港有更好的服務容量，因此目前造成了大量的「北櫃南運」、「南櫃北運」的內陸交通運輸。若使用包括短程航運運輸的複合運輸系統，則能將貨櫃流量由內陸轉移至水路，如此可以疏緩內陸公路的交通擁擠情況，並且可以降低因為密集的車流所帶來的環境問題和減少外部成本。

因此本研究建立了一個複合運輸模型來了解台灣國內貨櫃在港口與各縣市之間的移動，模擬分析內陸貨櫃車運輸與水路短程航運運輸之間的運具和路線選擇。並探討在不同的提升短程航運措施，包括外部成本內部化及短程航運優惠靠泊制度等，對整體貨櫃運輸的流量分佈和內外部成本的改變。根據不同的情境，計算並分析推動短程航運運輸政策前後使用貨櫃車與短程航運兩種運具分別所造成的外部成本，探討在運輸政策對貨櫃貨運業的影響。

本研究的結果顯示，適當的推動使用短程航運運輸政策來轉運貨櫃，確實是可以降低環境成本以及空氣汙染物與二氧化碳的排放量。當外部成本內部化比率為 20%，同時短程航運在港口的作業時間和成本能降低 20%，可提升短程航運量至 757,658TEU，貨櫃移動所產生的外部成本由每年 639.79 百萬美元減少至每年 536.87 百萬美元。

關鍵字：貨櫃運輸、複合運輸系統、短程航運、外部成本

A Study for Domestic Container Transportation with Short Sea Shipping and an Analysis of External Costs in Taiwan

Student: Guan-Hao Lai

Advisor: Ka-Io Wong

Department of Transportation Technology & Management
National Chiao Tung University

Abstract

The Kaohsiung port located at the south of Taiwan is a major international trading port, as it has a good natural conditions and competitive advantages. However, most of the cargos of supply and demand are concentrated in the northern area of Taiwan, and the northern area international trading port is the Keelung port. The Keelung port is a natural port, but with limited hinterland and relative poor accessibility, the port capacity and service level are low. In contrast to the Keelung port, the Kaohsiung port can provide better capacity and service level. As a result, there is a large amount of North-to-South and South-to-North container movement thought the inland transportation system. Intermodal transportation system with Short Sea Shipping is thought to be able to relieve this issue, by transferring the container flow from inland to waterway. This can reduce the freeway congestion and the environmental problem due to the high density of traffic, and furthermore, the external costs can be reduced.

This study establishes a model with empirical data to investigate Taiwan's domestic containers movement between the ports and cities, and the model can be able to simulate the choices of mode and route of freight transportation. With the model we analyze various policy measures promoting the usage of intermodal transport and Short Sea Shipping, such as internalization of external costs of freights, priority berthing and cost reducing for short sea shipping.

Our finding shows that the short sea shipping promotion policy can effectively reduce the environment cost, such as air pollutions and CO₂ emissions. For instance, when 20% of external cost is internalized and port costs are reduced by 20%, the amount of transship containers using short sea shipping is increased to 757,658TEU, and the external cost due to the container movement can be reduced from US\$ 639.79 million to US\$ 536.87 million.

Keywords: Container Transportation, Intermodal Transportation System, Short Sea Shipping, External Costs

誌謝

雖然研究所只有兩年的時間，晃一下時間就過去了，可以完成這篇論文還是需要感謝一些人的陪伴與指導。首先，就是幫忙與指導我最多的指導教授 黃家耀老師，從老師身上學到了許多東西，給我很多空間與時間去想如何解決問題，學習怎麼從不一樣的角度去思考問題，雖然有些過程總是難熬的，不過老師總是很有耐心的為我解決困惑以及問題，真的很感謝老師您的指導，老師處理事情的態度以及專業都是我日後必須要更加學習的地方。另外，還要感謝口試委員 韓復華老師與 黃明居老師，能夠對本研究仔細的審閱以及提供許多建議，使得對本研究有更深一層的認識，也讓本研究能夠更加的完整。最後要感謝其他系上老師的課程指導，讓我能夠吸收更多相關科目的專業知識。還有感謝澳門大學的溫老師、高老師與其他研究夥伴(Peter、Taco、Nigel..等)，讓我有機會與你們一起做研究，以及陪伴我們到澳門很多地方吃喝玩樂。

謝謝 KI Lab 的每位成員，謝謝修安與亞蓁讓我在剛進來研究室時，幫忙我許多對新環境還不熟悉的地方，以及一起做計畫案時，總是能夠分工合作地讓計畫案得以完成，還有提供許多系上課程的寶貴意見，讓我能夠順利的修完每堂課程；謝謝總務總是很貼心的主動關心課業、論文、與老師相處以及未來工作等等的諸多問題，總是能夠替我解決很多疑問；謝謝當了六年同學的小 p，一起解決研究所所遇到的困難，一起完成老師所交代的工作，讓許多事情得以事半功倍。

另外，還要感謝許多研究所的好友 manpower、威呈、劉婉、+1、阿志太、韋任、nono、hololo 等與 11 樓的所有學弟妹們，因為有你們才能讓 KI Lab 總是充滿歡笑聲，讓苦悶的研究生生活多了許多樂趣；謝謝 高凱老師在我當經濟助教短短半年的時間，總是在考試過後，請我們吃飯與看電影，也謝謝家銘學長，和你鬥嘴總是很有趣，希望你也能夠趕快順利畢業。

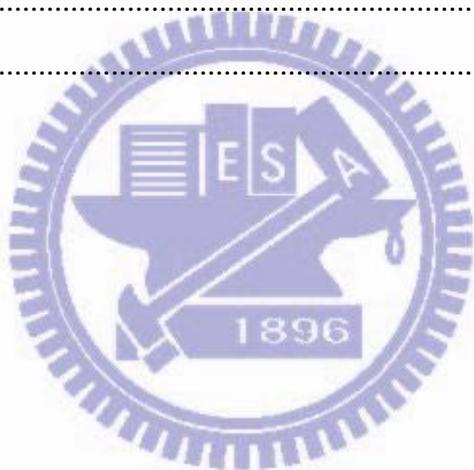
最後，感謝爸媽的支持與栽培，讓我能夠順利的畢業，也謝謝哥哥的鼓勵，陪伴我在人生地不熟的新竹。新竹雖然不是個有良好環境的地方，總是一直下雨，不過我會很珍惜在這裡所擁有的回憶，在這裡遇到或發生過的人、事、物，我由衷地感謝你們。:)

冠豪 謹致
2011 年 6 月
新竹 交大

目錄

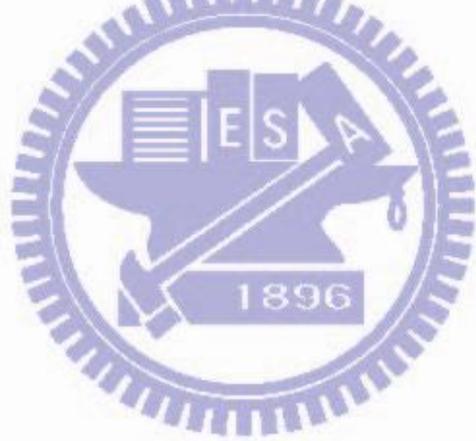
中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vi
表目錄.....	vii
第一章、前言.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	1
1.3 研究內容與方法.....	2
第二章、文獻回顧.....	4
2.1 台灣地區環島航運貨櫃運輸發展.....	4
2.1.1 環島航運貨櫃運輸.....	4
2.1.2 台灣地區南北貨櫃轉運問題現況與導因.....	5
2.1.3 促進環島貨櫃運輸運輸之誘因.....	6
2.2 複合運輸.....	7
2.2.1 複合運輸系統.....	7
2.2.2 短程航運運輸(Short Sea Shipping).....	7
2.2.3 複合運輸問題(Multimodal Transportation Problem, MTP).....	7
2.3 運輸業之外部成本.....	8
2.4 小結.....	10
第三章、模型建構.....	11
3.1 複合運輸模型.....	11
3.1.1 目標函數與成本函數.....	12
3.1.2 限制式.....	14
3.2 措施評估.....	17
第四章、數值範例.....	19
4.1 資料收集.....	19
4.2 分析結果.....	27
4.3 提升短程航運之措施.....	30
4.3.1 外部成本內部化.....	30

4.3.2 航商有優先靠泊制度予以優惠	34
4.3.3 不同措施之組合方案	39
第五章、外部成本分析.....	42
5.1 外部成本之計算.....	42
5.1.1 計算方法	42
5.1.2 變數數值	45
5.2 數值分析.....	46
5.2.1 在不同情境下之外部成本分析	47
5.2.2 分析結果	47
5.3 二氧化碳排放量之探討.....	53
第六章、結論與建議.....	55
6.1 結論.....	55
6.2 建議.....	57
參考文獻.....	58



圖目錄

圖 1.1 研究流程示意圖.....	3
圖 2.1 台灣國內轉運貨櫃方式.....	5
圖 4.1 台灣港口與各縣市的地理位置圖.....	21
圖 4.2 內陸貨櫃車運輸的貨櫃流動(基本範例).....	29
圖 4.3 運送貨櫃的運輸成本與環境成本($w = 0\sim 1$).....	31
圖 4.4 使用貨櫃車與短程航運運輸之間的貨櫃轉移量($w = 0\sim 1$).....	31
圖 4.5 內陸與水路運輸之間的貨櫃轉移($w = 0.55、0.90$).....	33
圖 4.6 運送貨櫃的運輸成本與環境成本($z = 0\sim 1$).....	36
圖 4.7 使用貨櫃車與短程航運運輸之間的貨櫃轉移量($z = 0\sim 1$).....	36
圖 4.8 內陸與水路運輸之間的貨櫃轉移($z = 0.3、0.7$).....	38
圖 4.9 使用短程航運運輸轉運貨櫃量(尚未北部港口容量擴充).....	40
圖 4.10 使用短程航運運輸轉運貨櫃量(北部港口容量擴充).....	41



表目錄

表 3.1 複合運輸模型參數與變數定義.....	11
表 4.1 港口與城市之間的旅行距離和時間.....	22
表 4.2 台灣各縣市的進出口貨櫃量.....	23
表 4.3 國外地區的進、出港貨櫃量.....	24
表 4.4 台灣地區各國際商港進港船舶按國外地區分.....	24
表 4.5 台灣地區貨櫃車營業時間.....	25
表 4.6 各個港口的裝載容量.....	25
表 4.7 貨櫃車和短程航運所排放污染物的排放因子與避免成本.....	26
表 4.8 國外地區與國內港口之間的進、出口貨櫃流動量.....	27
表 4.9 使用貨櫃車直達運輸至台灣各縣市的進、出口貨櫃量.....	28
表 4.10 外部成本內部化權重因子 w 的改變對成本與貨櫃量的影響($w = 0\sim 1$)...32	
表 4.11 航商優先靠泊之優惠因子 z 改變對成本與貨櫃量的影響($z = 0\sim 1$).....37	
表 5.1 計算貨櫃車外部成本之變數數值.....	45
表 5.2 計算短程航運運輸污染排放物之變數數值.....	46
表 5.3 推動短程航運運輸政策前之外部成本.....	50
表 5.4 推動短程航運運輸政策後之外部成本($w=0.2$ 、 $z=0.2$).....	51
表 5.5 推動短程航運運輸政策後之外部成本($w=0.7$ 、 $z=0.7$).....	52
表 5.6 二氧化碳排放率.....	54

第一章、前言

1.1 研究背景與動機

在台灣，高雄港由於自然條件優越以及港內腹地遼闊，有很好的競爭優勢，是台灣主要的國際貿易港口，目前排名為世界第十三大貨櫃港，但是由於貨源集中在北部地區，而北部主要的國際貿易港口為基隆港，基隆港雖然是天然港灣，但是因為港內腹地有限且聯外運輸系統較不方便，港口的服務水準無法負荷，相較之下，高雄港能提供更好的服務水準，所以航商紛紛把貨櫃遷往高雄，造成基隆港之貨櫃運輸量降低，進出口貨櫃運輸量在北部地區與高雄港之間造成密集的車流，也就是造成了大量的「北櫃南運」、「南櫃北運」的問題。

為了在顧客回應時間裡把貨物準時的送達到貨主手上，快速與便捷是貨主考慮的重要條件之一，而公路運輸的優點就是方便性高、運用靈活、普及性高以及經營容易。另外近年來，許多國際港口都發展成貨櫃港口，提升港口競爭力，貨櫃運輸的蓬勃發展已成為趨勢，面對大量的貨櫃運輸，就必須選擇海運來運送，這種結合公路與水運的方式，便是駛近駛出(roll on/roll off)的複合運輸，另外此種水運運輸即為短程航運運輸。

透過複合運輸系統，除了能紓緩高速公路的擁擠情況，也能改善因為密集車流帶來的環境汙染，

1.2 研究目的

大量的「北櫃南運」、「南櫃北運」貨櫃流動不但造成內陸運輸系統的重大負擔，也大大影響到了高速公路的服務水準，造成了高速公路某些路段擁擠的情況發生，除此之外，大量的貨櫃車車流也影響到了環境，造成環境很大的負擔，其中最大的影響為空氣汙染，使得附近民眾的生活品質惡化，所以就必須考慮到利用複合運輸系統來紓緩目前的狀況。

使用短程航運運輸可以轉移高速公路擁擠的交通流量與降低地環境成本，也可以紓緩擁擠的路況以及降低高速公路的投資與維護成本，但是短程航運運輸所需耗費的時間較多，所以就必須找出能夠提升使用短程航運的方法，或是透過政府制定政策來決定如何使用短程航運運輸。

本研究主要探討在不同措施下，內陸貨櫃車運輸與短程航運運輸之間的運具選擇行為，像是外部成本內部化與航商有優先靠泊制度予以優惠。另外，將會計算在不同情境下，使用貨櫃車運輸與短程航運運輸所產生的外部成本，分別是推

動短程航運運輸政策前與推動短程航運運輸政策後。

1.3 研究內容與方法

本研究的主要研究內容為因為大量貨櫃量流動所造成高速公路的擁塞問題，以及密集車流所造成的環境汙染，在這裡透過複合運輸來改善這些問題。

研究方法為建立一個複合運輸模型，從貨運業者的角度來看，模型的主要目標是最小化運輸成本；政策評估是指透過政府制定政策，來提升短程航運運輸的使用，例如政府可以讓外部成本內部化，以及對北部的港口持續建設，擴充港口的服務容量，來減少貨源集中在北部，而港口服務容量不足的問題。在外部成本方面，因為對國道影響較為嚴重的為環境成本與擁擠成本，所以本研究主要針對這兩個部份來加以探討。

本研究的研究流程為首先決定研究的範圍與對象，然後收集複合運輸系統與外部成本的相關文獻，再建立一個複合運輸模型，之後收集模型需要用到的相關數據資料，再針對模型的結果做數值分析，最後是本研究的結果以及後續可以繼續進行工作的建議。本研究之內容如流程圖所示，如下：。



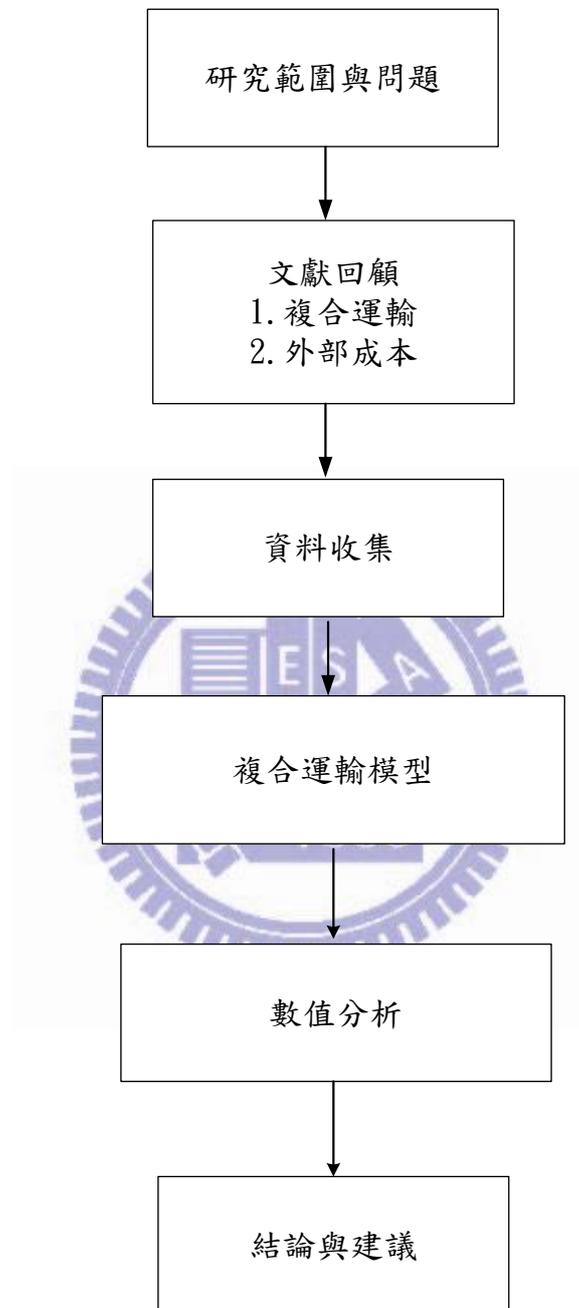


圖 1.1 研究流程示意圖

第二章、文獻回顧

在第一章有說明因為北部港口的貨源與港口服務容量水準不一致，而造成大量「北櫃南運」、「南櫃北運」的問題，而這樣密集的車流也造成國道的擁擠與環境汙染，所以希望透過複合運輸系統來改善這些問題。

在文獻回顧的部份，首先在 2.1 就必須先了解過去台灣短程航運運輸的使用，以及造成台灣地區南北貨櫃轉運問題的現況與原因，最後是有哪些誘因可以促使短程航運運輸的使用。2.2 是說明何謂複合運輸，而在本研究所探討複合運輸的運送方式為公路貨櫃車運輸以及水路近洋航運運輸，所以之後在介紹短程航運運輸，最後是有哪些文獻在做複合運輸問題的相關研究。本研究探討因為密集的車流對高速公路所產生的外部影響，產生了哪些外部成本，所以 2.3 為外部成本的回顧，有哪些外部成本是對高速公路有較大的影響。

2.1 台灣地區環島航運貨櫃運輸發展

2.1.1 環島航運貨櫃運輸

根據交通部運輸研究所(民八十九年)，環島航運貨櫃運輸指以台灣本島港口為起迄港之海上貨櫃運輸，包括進出口櫃或轉口櫃於島內港口間之環島轉運及國內物資以貨櫃方式(國內櫃)於島內港口間之海上運輸，目前國內貨櫃皆以陸運運輸，故環島航運貨櫃運輸係指環島轉運櫃，本研究亦指針對轉運櫃進行探討。

本研究針對轉運櫃進行探討，目前依運作方式可分為以下幾種轉運型式：

(1)進口貨櫃：指進口貨櫃經台灣國際港口(轉運港)轉運至另一國際港口(目的港)在交予貨主，如圖 2.1(a)所示。

(2)出口貨櫃：指出口貨櫃經台灣國際港口(起運港)轉運至另一國際港口(轉運港)後在出口貨櫃，如圖 2.1(b)所示。

(3)轉口貨櫃：指轉口貨櫃經台灣國際港口(轉運港)轉運至另一國際港口(目的港)後在運往國外國際港口，如圖 2.1(c)所示。

上述三種作業模式中，進出口轉運櫃均有通關問題，而轉口貨櫃依『基隆關稅局轉口貨櫃作業規定』第二條之規定，還有依『海空聯運暫行作業要點』及依『國內各國際商港間海上轉運貨櫃及車輛實施方案』之規定轉口外，不得經由該局以陸上運輸轉運至其他關稅局運往國外。因此，轉口貨櫃僅能由原港口或經由環島轉運運至國內其他港口運往國外，故無通關問題。

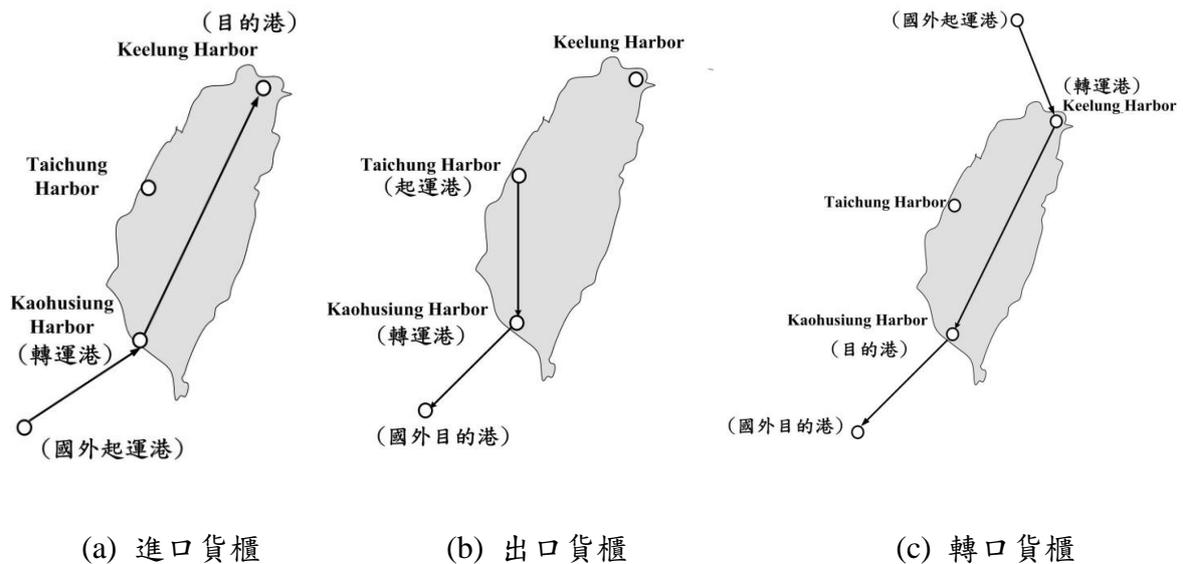


圖 2.1 台灣國內轉運貨櫃方式

2.1.2 台灣地區南北貨櫃轉運問題現況與導因

1. 台灣地區南北貨櫃轉運問題現況

在台灣地區北部的貨櫃貨源約為 279 萬 TEU，但是基隆港的合理裝卸容量為 250 萬 TEU，而周建張(2005)「台灣地區國際港阜貨櫃吞吐量模式-兼談台灣地區進出口貨櫃南北轉運問題」的研究結果顯示出每年「北櫃南運」、「南櫃北運」所造成的內陸運輸成本為 98.75 億元、必須「北櫃南運」、「南櫃北運」的貨櫃量大約為 28 萬 TEU。另外也有研究顯示目前台灣地區「北櫃南運」、「南櫃北運」的貨櫃量有 100 多萬 TEU，表示有許多「北櫃南運」、「南櫃北運」的貨櫃經由公路運輸，只有大約百分之十的貨櫃是經由短程航運運輸(Lee et al.,2010)。

2. 台灣地區南北貨櫃轉運問題導因分析

根據交通部運輸研究所(民八十九年)，造成台灣地區大量貨櫃做南北長距離運送之原因，主要可分為以下幾點因素：

(1) 作業因素

在台北港尚未開始營運之前，主航線船舶利用基隆港裝卸貨櫃之可行性不高，因此高雄港為主要主航線船舶停靠之港口，因為台灣內陸運輸系統便利且幅員有限，所以由高雄港可以以陸運方式在最短時效內將貨櫃運至基隆港，還有在考慮船期之服務頻率及相關費用下，高雄港為台灣北部地區貨櫃運輸至國外地區之最佳選擇，因此造成台灣大量的南北貨櫃轉運問題。

(2) 產業因素

在產業因素的部份就台灣地區目前之產業及貨源分布兩方面探討，如下：

產業分佈

由於北部地區之工業區主要集中在桃園縣濱海地區，和基隆港有一段距離，台中港及高雄港則位於工業區幾合中心附近之海岸上，如果各港服務水準相同，則台灣內陸陸運運輸為短距離，而考慮港口至貨主間之及戶運輸以及整櫃或併櫃之比例，實際作業上將是以卡車運輸為主，而非大型貨櫃車之運送，並且實際上高雄港之服務水準遠超過基隆港與台中港，在時效性及作業成本的考量下，航商會將大量北部地區之進出口貨櫃利用高雄港進出，造成大量的南北貨櫃運輸問題。

貨源分佈

北部地區之貨源主要集中於桃園縣、台北縣及基隆市；中部地區之貨源主要集中於台中縣及彰化縣；南部地區之貨源則較為分佈均勻，由此可知北部為台灣地區主要貨源地，而由於貨源分布與港口服務水準不一致，因此造成內陸貨櫃轉運之問題。

(3) 政策因素

依照運輸計畫白皮書，高雄港將發展成為海運中心，對南北貨櫃運輸之影響較大，高雄港目前在國際港口裝卸量目前排名十二，吸引大量之轉口貨櫃，而高雄港大部份之貨櫃碼頭以固定租金方式交由航商經營，相對於基隆港及台中港，高雄港在裝卸成本較有競爭力及優越的地理位置和自然條件下，轉口貨櫃量將會增加，而此同時主航線之航次將更為密集，港口服務水準亦相對提高。

2.1.3 促進環島貨櫃運輸運輸之誘因

由於環島航運之成本控制及作業系統是由航商主導，所以未來推動環導航貨櫃運輸之誘因有限，具體之措施如下(交通部運輸研究所，民八十九年)：

- 減收或免收環島轉運櫃在公用碼頭之貨櫃滯留費。
- 提升北部地區貨櫃碼頭之服務水準，如台北港的建設及基隆港貨櫃中心民營化等措施。
- 推動貨櫃場自主管理及引進自動化管理系統。
- 放寬不同碼頭觀區間之管制作業及引進自動追蹤系統，加速貨櫃之流通性及作業時效。

2.2 複合運輸

2.2.1 複合運輸系統

根據張有恆(2005)，『複合運輸系統』是指兩種或兩種以上之運輸工具，在兩地之間，對於託運人所託運的貨物，採用單一費率或聯合計費，並且共同負擔運送責任之任務，亦可稱之聯合運輸系統。而公路與水運之複合運輸(Truck-Water)稱為船背運輸(fishyback)，及船上無裝卸貨物之設備，而將貨櫃裝載於特定之卡車拖車(trailer)上，經岸上所架之跳板(ramp)，駛進船艙，貨櫃與拖車同留艙內，到達目的港卸貨時，貨櫃連同拖車一起駛出，此種駛進駛出之複合運輸便是公路與水運聯合運輸的例子。

2.2.2 短程航運運輸(Short Sea Shipping)

在歐洲，短程航運運輸是一個很複雜的海運運輸服務，在不同航道中連接，使用五種不同類型的船運輸單位一體與非單位一體的貨物在某個地區界線內，反應在三個不同地區上使其分別進入，分為歐洲國家、歐洲以北的國家、歐洲以南的國家，來提升貿易機會以擴大新的市場，這樣就能使用不同種類與大小的船隻提供多種服務給他們的貨主(Paixao et al, 2002)。

過去，當前與預期中的貨物成長率導致歐洲聯盟(European Union)發起短程航運運輸政策在公路與水路間的貨物移動，希望充分利用水路運輸來減少運輸貨物過程中浪費的成本。公路常常被使用者用來運輸的主要原因是轉運時間、可及性、貨物安全、運輸次數等，如果使用公路與短程航運的複合運輸就能有效率且具有持續性的維持貨物從公路到水路間的移動，而且在未來的供應鏈發展，這樣聯合使用公路與水路的複合運輸是未來運輸系統的趨勢。

在複雜的物流運籌路網中，短程航運運輸是一種替代的運輸方式在複合運輸系統中，有很多優勢，例如地理、財政、能源、環境、還未充分利用地區的擴張，以及其他正面的附屬效果，像是創造就業、提升經濟。

2.2.3 複合運輸問題(Multimodal Transportation Problem, MTP)

複合運輸問題(Multimodal Transportation Problem, MTP)，這個問題是給定一個運輸路網，在一段運輸規劃期間，決定運輸量，以及在不同貨物運輸路線下，決定各種不同運具的數量，需要滿足國內城市與國外港口之間的貨物供需均衡，而複合運輸問題是考慮了一個知名的路網設計問題，更多路網設計問題的細節可以參考 Magnanti and Wong (1984)。

過去有很多研究在討論複合運輸問題，像是 Min (1991)考慮了一個複合運輸問題在決定運輸路線與運具，運具包括了卡車、飛機以及海洋運輸，當寄送貨物的目的地是在海(國)外的國家，目標是最小化成本、時間與風險因子，為了解決這個問題，他採用了目標規劃模式(goal programming model)，其意外限制式是需要計算風險。Barnhart and Ratliff (1993)考慮了一個複合運輸問題在決定最小化以每艘船結合卡車以及鐵路運輸路線的成本，成本包括了運輸成本與存貨成本，為了解決這個問題，他們採用了最短路徑以及權重演算法(weighted b-matching algorithms)。近年來的研究，為 Kim et al. (2008)考慮了一個複合運輸問題，其問題的主要目標為最小化運輸成本，而運輸成本是指所有城際內陸運輸間所發生的費用，包括了航運運輸成本包括存貨成本、運輸成本和場站處理費用，這篇研究是建立一個混和整數規劃模式來解決這個複合運輸問題的問題。

在本篇研究是採用了一個線性規劃問題來解決這個複合運輸問題，模式是參考 Kim et al. (2008)的研究做修改，而在數值分析的部分是以台灣貨櫃的數據資料做分析，在後面的章節會加以說明。

2.3 運輸業之外部成本

Ozbay et al (2007) 指出邊際總成本(Full Marginal Cost)是發生在交通上每多一單位的額外所有成本，邊際總成本(Full Marginal Cost)包含了車輛營運成本、基礎建設成本、事故成本、擁擠成本和環境成本。所有發生在高速公路運輸上的成本可以分類為直接成本以與間接成本，直接成本又稱為私人成本或內部成本，指汽車使用者在一次旅次中會直接影響的成本，例如車輛營運成本、汽車折舊、時間成本、通行費、停車費等；間接成本又稱為社會成本或外部成本，指汽車使用者在一次旅次中不會直接影響的成本，例如擁擠成本、事故成本和環境成本。事故成本主要是根據事故發生的機率來計算，而在事故發生意外的機率是以小客車與機車來的大，而本研究主要是針對貨櫃車的部份來研究，另外交通事故主要是發生在省道，國道發生事故意外的機率比較小。一開始本研究有將擁擠成本納入探討，不過經過計算後，擁擠成本相較環境成本小的許多，所以本研究主要針對環境成本來探討。

環境成本

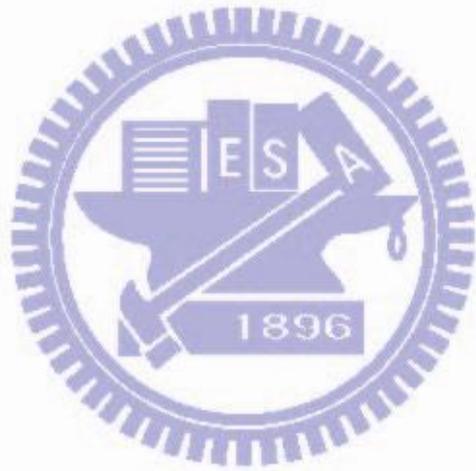
在台灣於 2004 年底，運輸所造成的石油能源消耗為 15.7 百萬公噸，而其中二氧化碳排放量為 42.5 百萬公噸，分別佔了總能源消耗的 22.7% 與總二氧化碳排放量的 17.5%。根據國際能源總署(International Energy Agency's, IEA)的統計，全球運輸系統的總合能源需求從 1990 年到 2000 年增加了 25%。在近 30 年來，因為較高的運輸需求，造成公路運輸的能源消耗與二氧化碳排放量的成長率分別為 90% 與 87%，由此情況可以發現運輸系統的發展有可能會加速能源的耗盡，並且導致許多嚴重的環境汙染。(Lu et al., 2007)

近年來有一些文獻在研究台灣內陸貨櫃運輸所造成的外部成本，Lee et al. (2010) 研究了台灣使用短程航運運輸與貨櫃車來運送貨物所造成的外部成本，外部成本包括了空氣汙染與氣候變化的成本，研究結果為貨櫃車相較於短程航運運輸產生了大量的外部成本，原因是因為在台灣內陸貨櫃運輸是透過貨櫃車，將貨櫃從各個港口經由高速公路運至各縣市，但是因為港口服務容量與貨源分布不一致的情況下，導致有大量的「北櫃南運」、「南櫃北運」問題。

Liao et al. (2009) 研究在台灣內陸貨櫃運輸造成了多少的碳排放量，研究方法為使用一個普通最小平方估計量的多元迴歸模型，變數包括了每年的 GDP、人口以及 1992 年到 2008 年的石油價格，研究結果為在台灣內陸貨櫃運輸所造成的燃料消耗量從 1992 年的 0.32 百萬公噸，一直到了 2007 年增加為 0.63 百萬公噸，之後 2008 年稍微下降到了 0.61 百萬公噸；同樣地，在二氧化碳排放量的部份，從 1992 年的 1.03 百萬，到了 2007 年增加為 1.99 百萬公噸，2008 年也稍微下降為 1.95 百萬公噸。這個研究結果與 Lu et al. (2009) 是相同的，這篇研究為使用灰色預測模型來預測台灣 2007 年到 2025 年，隨著汽車的發展數量所造成能源消耗與二氧化碳排放量的趨勢，本篇研究結果為在公路運輸系統中，車輛數、能源需求以及二氧化碳排放量皆分別會提高，成長率分別為 3.64%、3.25%、3.23%。Liao et al. (2009) 最後的研究建議也是使用近洋航運與貨櫃車的複合運輸來改善二氧化碳的排放量，減少對環境的外部影響。

2.4 小結

在台灣由於貨源分布與港口服務水準不一至，造成大量的「北櫃南運」、「南櫃北運」問題，並且大部份的貨櫃是經由貨櫃車內陸運輸，只有百分之十的貨櫃是經由短程航運運輸，所以本研究首先探討台灣地區南北貨櫃轉運問題，包括了南北貨櫃轉運的現況以及貨櫃轉運發生原因，主要分成作業因素、產業因素、政策因素，因為大量的「北櫃南運」、「南櫃北運」問題造成了高速公路壅塞，也帶來了較為嚴重的環境汙染，所以本研究也探討了環境成本。最後本研究建立了一個複合運輸模型，探討政府需要多鼓勵或管制使用短程航運運輸。



第三章、模型建構

本研究建立一個複合運輸模型來評估政府在制定政策上是需要鼓勵或是管制使用短程航運運輸，運輸方式包括了內陸貨櫃車運輸與短程航運運輸，主要是在探討貨運業者如何選擇運具來運送貨櫃在國外港口、國內港口與國內城市之間。

3.1 複合運輸模型

本研究建立了一個複合運輸模型，來了解貨櫃間的流動，貨櫃在國外港口與國內港口之間是利用遠洋航運運輸，之後透過貨櫃車在高速公路運送至國內港口與國內各個縣市，因為透過高速公路運輸，距離可能會太長且會造成高速公路擁擠的情況發生，因此可以經由使用近洋航運運輸至國內港口來轉移一些貨櫃量。複合運輸模型的集合、參數與決策變數如下：

表 3.1 複合運輸模型參數與變數定義

<u>集合</u>	
I	國外港口
J	國內港口
K	國內各縣市
M	運輸運具, $m=\{1,2,3\}$, 1 為貨櫃車, 2 為短程航運, 3 為遠洋航運
<u>參數</u>	
sf_i	從國外港口 i 來的進口貨櫃量
sd_k	從國內縣市 k 去的出口貨櫃量
df_i	到國外港口 i 的出口貨櫃量
dd_k	到國內縣市 k 的進口貨櫃量
a_j	國內港口 j 的港口容量
n^m	運輸模組 m 的載貨容量
u_j	貨櫃卡車到國內港口 j 的總使用時間
v_{jt}^m	運輸運具 m 從 j 到 t 的運具數量
t_{ij}^m	運輸運具 m 從國外港口 i 到國內港口 j 的轉運時間
c_{ij}^m	使用運輸運具 m 從國外港口 i 到國內港口 j 的運輸成本(每 TEU)
p_{ij}^m	每 TEU 的轉運成本
thc_j	每個港口每 TEU 的場站處理費用

e_{ij}^m 使用運輸模組 m 從國外港口 i 到國內港口 j 的環境成本(每 TEU)
 l_{ij} 從 i 到 j 的距離
 a_p 不同汙染物 p 的避免成本
 k_p^m 船隻所排放不同排放物 p 的排放因子(每 TEU-km)
 w 外部成本內部化的權重因子

決策變數

SI_{ij} 從國外港口 i 到國內港口 j 的進口貨櫃量
 SE_{ji} 從國內港口 j 到國務港口 i 的出口貨櫃量
 DI_{jk} 從國內港口 j 到國內縣市 k 的進口貨櫃量
 DE_{kj} 從國內縣市 k 到國內港口 j 的出口貨櫃量
 AI_{jk} 從國內港口 j 直接運送到國內縣市 k 的進口貨櫃量
 AE_{kj} 從國內港口 j 直接運送到國內縣市 k 的出口貨櫃量
 TI_{jkt} 從國內港口 j 經由轉運港 t 運送到國內縣市 k 的進口貨櫃量
 TE_{ktj} 從國內港口 k 經由轉運港 t 運送到國內縣市 j 的出口貨櫃量
 VI_{jk}^m 運輸運具 m 從國內港口 j 運送進口貨櫃量到國內縣市 k 的運具數量
 VE_{kj}^m 運輸運具 m 從國內縣市 k 運送出口貨櫃量到國內港口 j 的運具數量

3.1.1 目標函數與成本函數

複合運輸模型的目標，從貨運業者的角度來看，是最小化其運輸成本；而從政府的角度來看，是透過政策的制定使得外部成本內部化，而政府制訂政策透過外部成本內部化權重因子 w 來評估運送人需要負責多少的成本，所以模型的目標就是最小化運輸成本與環境成本，目標式(1)如下：

$$\text{Minimize } Z = TC + w \cdot EC \quad (1)$$

運輸成本(Transportation Cost, TC)包含了使用貨櫃車從國內港口直達運輸或轉運運輸至國內各縣市，其次是經由使用近洋航運運輸來轉運國內港口與國內各縣市之間的貨櫃，最後是使用遠洋航運運輸來運送國外港口的貨物至國內國際港口，而本研究假設國外港口不收取場站費用，假設航運運輸前這筆費用在國外港口已經被支付，也就是所考慮的是已經從國外港口運出來的貨物。環境成本(Environmental Cost, EC)為根據貨櫃車、近洋航運運輸所排放的空氣汙染排放物

與二氧化碳來計算，而遠洋航運運輸則不考慮其環境成本，因為無論哪個國內港口被選擇在這都是次要的。計算式(2)、(3)如下：

$$TC = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \left(c_{jk}^1 \left(DI_{jk} + \sum_{t \in J \setminus \{j\}} TI_{tjk} \right) + c_{kj}^1 \left(DE_{kj} + \sum_{t \in J \setminus \{j\}} TE_{kjt} \right) \right) + \sum_{j \in J} \sum_{t \in J \setminus \{j\}} \left(c_{jt}^2 \left(\sum_{k \in K} TI_{jtk} \right) + c_{ij}^2 \left(\sum_{k \in K} TE_{ktj} \right) \right) + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (c_{ij}^3 SI_{ij} + c_{ji}^3 SE_{ji}) \quad (2)$$

$$EC = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \left(e_{jk}^1 \left(DI_{jk} + \sum_{t \in J \setminus \{j\}} TI_{tjk} \right) + e_{kj}^1 \left(DE_{kj} + \sum_{t \in J \setminus \{j\}} TE_{kjt} \right) \right) + \sum_{j \in J} \sum_{t \in J \setminus \{j\}} \left(e_{jt}^2 \left(\sum_{k \in K} TI_{jtk} \right) + e_{ij}^2 \left(\sum_{k \in K} TE_{ktj} \right) \right) \quad (3)$$

單位成本的組成可以被允許經由不同路線在國內港口與國內各縣市之間的進口與出口流量，港口的費用也被考慮。總運輸成本 c_{ij}^m 為運具 m 運送每單位 TEU 的貨櫃在每個不同港口與城市的起迄對間，運具 $m \in \{1,2,3\}$ ，計算式(4)、(5)如下：

$$c_{ij}^m = (h \cdot t_{ij}^m + p_{ij}^m), \text{ for } m = \{1\} \quad (4)$$

$$c_{ij}^m = (h \cdot t_{ij}^m + p_{ij}^m + thc_j), \text{ for } m = \{2,3\} \quad (5)$$

其中 h 為每單位時間內的存貨成本

t_{ij}^m 為運具 m 從起點 i 運送至迄點 j 的轉運時間

p_{ij}^m 為每 TEU 的轉運成本。在運具的部分，內陸運輸成本為貨櫃車，

$m = \{1\}$ ；以及航運費用， $m = \{2,3\}$ 。

thc_j 為每個港口每 TEU 的場站處理費用

單位環境成本是由避免成本方法計算得來，針對不同運具所產生的所有環境汙染物排放量，計算過程是依據 Lee et al (2010)，計算公式(6)如下：

$$e_{ij}^m = l_{ij} \sum_p a_p \cdot k_p^m \quad (6)$$

其中 l_{ij} 為從 i 到 j 的距離。

a_p 為不同污染物 p 的避免成本。

k_p^m 為船隻排放不同排放物的排放因子(每 TEU-km)， $m = \{2,3\}$ 。排放因子是根據不同的燃料種類、引擎種類以及燃料的消耗量來決定。

而 $k_p^m = \sum_l f_l k_{l,p}^m$ ， f_l 是燃料 l 的消耗量， $k_{l,p}^m$ 是使用船隻產生不同污染物 p 的排放因子。

3.1.2 限制式

以下的限制式集合決定了進出口貨櫃流量， Ω_1 、 Ω_2 以及 Ω_3 說明了流量守恆定理， Ω_4 、 Ω_5 以及 Ω_6 與港口的營運有相關連， Ω_7 為非負和整數限制。計算式如下：

進口和出口貨櫃量限制式， Ω_1 ：

$$\sum_{j \in J'} SI_{ij} = sf_i \quad \text{for all } i \in I \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J'} DE_{kj} = sd_k \quad \text{for all } k \in K \quad (8)$$

$$\sum_{j \in J'} DI_{jk} = dd_k \quad \text{for all } k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{j \in J'} SE_{ji} = df_i \quad \text{for all } i \in I \quad (10)$$

流量守恆限制式， Ω_2 ：

$$\sum_{i \in I} SI_{ij} = \sum_{k \in K} DI_{jk} \quad \text{for all } j \in J' \quad (11)$$

$$\sum_{k \in K} DE_{kj} = \sum_{i \in I} SE_{ji} \quad \text{for all } j \in J' \quad (12)$$

使用貨櫃車直達運輸或是使用近洋航運運輸轉運， Ω_3 ：

$$DI_{jk} = AI_{jk} + \sum_{t \in J \setminus \{j\}} TI_{jtk} \quad \text{for all } j \in J' \text{ and } k \in K \quad (13)$$

$$DE_{kj} = AE_{kj} + \sum_{t \in J \setminus \{j\}} TE_{ktj} \quad \text{for all } k \in K \text{ and } j \in J' \quad (14)$$

港口容量限制式， Ω_4 ：

$$\sum_{i \in I} (SI_{ij} + SE_{ji}) + \sum_{t \in J \setminus \{j\}} \left(\sum_{k \in K} TI_{jtk} + \sum_{k \in K} TE_{ktj} \right) \leq a_j \quad \text{for all } j \in J \quad (15)$$

隨著貨櫃量來決定貨車與船的運具數量， Ω_5 ：

$$AI_{jk} + \sum_{t \in J \setminus \{j\}} TI_{ijk} \leq n_1 \cdot VI_{jk}^1 \quad \text{for all } j \in J \text{ and } k \in K \quad (16)$$

$$AE_{kj} + \sum_{t \in J \setminus \{j\}} TE_{kjt} \leq n_1 \cdot VE_{kj}^1 \quad \text{for all } k \in K \text{ and } j \in J \quad (17)$$

$$\sum_{k \in K} TI_{jtk} \leq n_2 \cdot VI_{jt}^2 \quad \text{for all } j \in J \text{ and } t \in J \setminus \{j\} \quad (18)$$

$$\sum_{k \in K} TE_{ktj} \leq n_2 \cdot VE_{tj}^2 \quad \text{for all } t \in T \text{ and } j \in J \setminus \{t\} \quad (19)$$

$$SI_{ij} \leq n_3 \cdot VI_{ij}^3 \quad \text{for all } i \in I \text{ and } j \in J \quad (20)$$

$$SE_{ji} \leq n_3 \cdot VE_{ji}^3 \quad \text{for all } j \in J \text{ and } i \in I \quad (21)$$

運具容量限制式， Ω_6 ：

$$\sum_{k \in K} t_{jk}^1 \cdot VI_{jk}^1 \leq u_j \quad \text{for all } j \in J \quad (22)$$

$$\sum_{j \in J} t_{jk}^1 \cdot VE_{kj}^1 \leq u_k \quad \text{for all } k \in K \quad (23)$$

$$VI_{jt}^2 \leq v_{jt}^2 \quad \text{for all } j, t \in J; j \neq t \quad (24)$$

$$VE_{tj}^2 \leq v_{tj}^2 \quad \text{for all } t, j \in J; t \neq j \quad (25)$$

$$VI_{ij}^3 \leq v_{ij}^3 \quad \text{for all } i \in I \text{ and } j \in J \quad (26)$$

$$VE_{ji}^3 \leq v_{ji}^3 \quad \text{for all } j \in J \text{ and } i \in I \quad (27)$$

非負和整數限制， Ω_7 ：

$$SI_{ij}, SE_{ji} \geq 0 \text{ for all } i \in I \text{ and } j \in J \quad (28)$$

$$DI_{jk}, DE_{kj} \geq 0 \text{ for all } j \in J' \text{ and } k \in K \quad (29)$$

$$AI_{jk}, AE_{kj} \geq 0 \text{ for all } j \in J \text{ and } k \in K \quad (30)$$

$$TI_{jk}, TE_{kj} \geq 0 \text{ for all } j, t \in J \text{ and } k \in K \quad (31)$$

$$TI_{jk}, TE_{kj} \geq 0 \text{ for all } j, t \in J \text{ and } k \in K \quad (32)$$

$$VI_{jk}^1, VE_{kj}^1 \geq 0 \text{ and integers for all } j \in J \text{ and } k \in K \quad (33)$$

$$VI_{jt}^2, VE_{tj}^2 \geq 0 \text{ and integers for all } j, t \in J, j \neq t \quad (34)$$

$$VI_{ij}^3, VE_{ji}^3 \geq 0 \text{ and integers for all } i \in I \text{ and } j \in J \quad (35)$$

限制式(7) - (10)為進出口貨櫃量的限制，表示國外港口與國內各縣市的需求以及供給的貨櫃總量，限制式(7)指出從國外港口到國內所有港口進口的貨櫃量等於國外國際港口的總供給量，限制式(8)則是從國內各縣市到國內所有港口出口的貨櫃量要與國內各縣市的總供給量相等，限制式(9)為從國內港口至國內各縣市進口的貨櫃量等於國內各縣市的總需求量，限制(10)則是從國內各港口到過外出口港口出口的貨櫃量要與國外港口的總需求量相等。限制式(11) - (12)為流量守恆限制式，限制式(11)為確保從國外港口至國內港口的進口貨櫃量等於由國內港口至國內各縣市的進口貨櫃量，而限制式(12)則是確保從國內各縣市到國內港口的出口貨櫃量要與從國內港口到國外港口的出口貨櫃量相等。以上的限制式皆是在國內港口使用遠洋航運運輸將貨櫃進出口至國外港口，而以下 Ω_3 是使用近洋航運運輸將貨櫃經由水路轉運貨櫃。限制式(13) - (14)為使用貨櫃車直達運輸或是使用近洋航運運輸轉運貨櫃。在 Ω_4 ，限制式(15)為港口容量限制，是由國外港口進出口的貨櫃量加上使用短程航運運輸的貨櫃量必須小於等於各個港口的服務容量水準。限制式(16) - (21)是由進出口的貨櫃量來決定需要使用到的貨櫃車或是船隻數量的限制，限制式(16)、(17)為使用貨櫃車運輸進出口的總貨櫃量必須小於等於使用貨櫃車作直達運輸或是轉運的貨櫃車裝載容量，限制式(18)、(19)為使用近洋航運運輸轉運的貨櫃量要小於等於使用近洋航運運輸船隻的裝載容量，限制式(20)、(21)則是從國外進出口的貨櫃

量要小於等於使用遠洋航運運輸船隻的裝載容量。在 Ω_6 ，與 Ω_5 的運具限制相同，限制式(22)–(27)為最大化所有貨櫃車總共可以使用的時間以及最大化每個港口可以使用的船隻數。最後，限制式(28)–(35)為對決策變式的非負以及整數的限制。

以上的模式是根據 Kim et al. (2008)在韓國所考慮的一個複合運輸問題結合 Lee et al. (2010)所探討的環境外部成本研究做分析，本研究的模型適用討論在台灣不平衡的南北港口發展所產生的「北櫃南運」、「南櫃北運」問題，接下來章節將會討論政府如何制定政策來推動或管制使用近洋航運運輸。

3.2 措施評估

前面複合運輸模型從業者的角度上來看，目標就是要最小化營運成本，但是為了推動綠色運輸以及降低環境汙染，還有紓緩因為「北櫃南運」、「南櫃北運」問題造成高速公路擁擠的車流量，所以政府就必須制定政策來推動或管制使用短程航運運輸。本研究主要在探討在不同的措施之下，貨運業者對運具的選擇行為會有什麼影響，如下：

外部成本內部化

在計算外部成本方面，首先要計算出單位的环境成本，之後再透過調整外部成本內部化的權重因子 w 來看運送人需要負責多少的环境成本，政府可以針對貨物運輸業者收取稅收，舉例來說，在 Piecky and McKinnon (2007)的研究中，英國被估計為 88%(歐洲國家當中最高)，而在波蘭、希臘與盧森堡被估計為 30%。

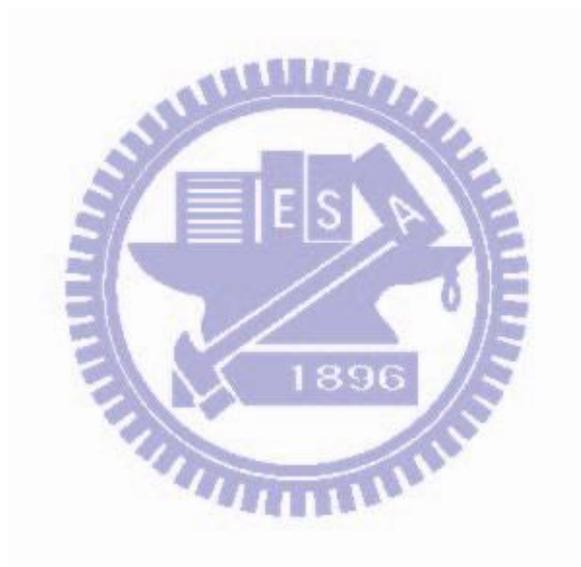
至於如何將外部成本內部化，以英國舉例來說，每公升硫化物的柴油必須收取 50.35 便士(per pence)以及零售價 17.5%的增值稅。此外，每部車還有關稅，是發生在一些高速公路、橋梁與隧道上的通行費，所以在英國並沒有收取直接的基礎設施費用。因此根據歐洲環境署 2002 年的估計，向大型貨車(heavy goods vehicles, HGVs)收取 88%的外部成本，包括了基礎設施、環境以及擁擠成本。

航商有優先靠泊制度

根據交通部運輸研究所(民八十九年)，國內之貨櫃碼頭之經營方式可分為公共碼頭、按年租金計價之專用碼頭以及按裝卸數量收取權利金之專用碼頭，其中基隆港之貨櫃碼頭皆以公用型式由港務局自營，只有對部份航商有優先靠泊制度予以優惠，台中港及高雄港則有公用碼頭及專用碼頭。

台灣目前的現況是只有三家國內船公司有支付費用可以優先靠泊，分別是長榮、萬海與陽明，但是如果沒有優先靠泊制度，貨櫃船在公用碼頭就必須花費

13 小時的海上航行時間(基隆港-高雄港)與 12 小時的船舶碼頭等待時間。在高雄港有 24 座貨櫃船席，其中只有 22 座船席是以按年租金計價的長期合約給 10 間船公司，所以只有這些擁有專用碼頭的船公司可以提供有效率且低成本的服務。



第四章、數值範例

本研究是探討台灣國內貨櫃的流動情形，研究對象分為國外港口、國內港口與國內縣市。透過複合運輸模型可以看出貨櫃在港口與港口間以及港口與城市之間流動，並且分別計算使用貨櫃車與近洋航運所造成的外部成本。另外，本篇研究主要在探討在不同措施下，內陸貨櫃車運輸與短程航運運輸之間的運具選擇行為，所以不只是求得一個最佳解(成本最小化)，而是在不同措施改變下，來調整決策參數來使得目標值有所改變。例如外部成本內部化的權重因子 w 、降低航商運輸成本與時間成本(使航商有優先靠泊制度予以優惠)以及北部港口的容量擴充。在以上措施的改變下，會使得兩種運具的使用發生什麼樣的轉移情形。

4.1 資料收集

在收集資料的部分，首先是台灣的進出口貨櫃運量，國外港口的進出口貨櫃運量，資料來源是交通部統計處的統計年鑑以及基隆港、台中港、高雄港的各港務局年鑑。各個港口與城市之間的旅行距離和時間如表 4.1 所示；台灣各縣市的進出口貨櫃量如表 4.2。國外地區的進出港貨櫃量是根據交通統計要覽的資料經過整理而得到，原本的數據資料是台灣地區各國際商港進出港貨物按船種及地區分，貨物的單位為公噸，不過因為如果按地區分將會區分成三十三個國家，會造成資料整理不方便，所以本研究只區分從十個地區進出港，所以就將數據資料整理成國外地區的進、出港貨櫃量。另外，原本資料的單位是公噸，而台灣各縣市的進口貨櫃總量必須要等於國外地區的進港貨櫃量，台灣各縣市的出口貨櫃總量必須要等於國外地區的出港貨櫃量，所以是按各個地區占有進、出港貨櫃量的多少比例來計算，如表 4.3 所示。運具包含了內陸的貨櫃車運輸以及水路的航運運輸，貨櫃車運輸是透過國道 1 號與國道 3 號將貨櫃運至各個港口與縣市，其中航運又包括了負責台灣港口貨櫃轉運的近洋航運運輸以及從國外港口運送貨櫃至國內港口的遠洋航運運輸。

國外港口的進出口貨櫃運量，因為本研究假設航運運輸費用在國外港口已經被支付，也不收取場站費用，所考慮的是已經從國外運送出來的貨櫃，所以只將貨櫃量區分為從十個主要地區進出口，分別為日本、韓國、香港、中國、其他亞洲地區、非洲、美國、其他美洲、大洋洲以及歐洲。國內港口為高雄港、基隆港與台中港。國內縣市包括了台灣的基隆市、台北縣、台北市、桃園縣、新竹縣、新竹市、苗栗縣、台中縣、台中市、南投縣、彰化縣、雲林縣、嘉義市、嘉義縣、

台南縣、台南市、高雄市、高雄縣、屏東縣、宜蘭縣、花蓮縣、台東縣共 22 個縣市，如圖 4.1 所示。

台灣地區各國際商港進港船舶是根據交通統計要覽整理得到的結果，原本的資料是台灣地區各國際商港進出港船舶按國籍分，不過因為本研究只將國外港口區分從十個地區進出港，所以就將數據資料整理成台灣地區各國際商港進出港船舶按國外地區分，如表 4.4 所示。另外，本研究假設每艘船可以進出口到台灣的貨櫃量限制，近洋航運運輸為 2,000TEU，遠洋航運運輸則為 4,000TEU。

台灣各縣市貨櫃車可營運時間如表 4.5 所示，在這台灣地區營業的貨櫃車資料是根據交通統計要覽中的機動車輛登記數，取營業中的大貨櫃車數，之後本研究假設每輛汽車一天營業 10 小時，扣除假日一年營業天數為 320 天，所以就可以計算得到貨櫃車營業時間，如表 4.5 所示。另外，因為在個模型中貨櫃車的營業時間是為了與其他內路運輸的運具來做比較，例如火車，而本研究複合運輸模型中的另一個運具是水路近洋航運運輸，所以在這裡則不考慮這個問題。另外，每一輛貨櫃車所能裝載的最大容量為 2TEU。

根據周建張(2005)，基隆港的港口裝載容量為 250 萬 TEU；而台中港與高雄港的裝載容量則是依據台灣地區各國際商港的貨櫃裝卸量，在歷年的數據當中取數值最大的一年，之後再假設台中港的裝載容量為 150 萬 TEU，高雄港為 1,300 萬 TEU，如表 4.6 所示。

在成本函數方面，因為存貨成本較小，所以本研究暫且略過這一部份的計算， p_{ij}^m 轉運成本為貨櫃車運送每一個貨櫃的轉運成本，為單位成本新台幣 25 元/TEU-公里與各縣市的距離相乘，代表基隆港到高雄港的運輸成本約為新台幣 8,500 元~10,000 元。基隆港、高雄港、台中港各個港口的存貨成本分別為每 TEU 新台幣 1,800 元、1,300 元、1,500 元，資料來源為三個港務局的網站資料。近洋航運的運輸成本為 p_{ij}^m 轉運成本加上各個港口的存貨成本， p_{ij}^m 轉運成本為基隆港到高雄港為新台幣 4900 元、基隆港至台中港為新台幣 3,000 元、台中港至高雄港為新台幣 3,000 元(Lee et al., 2010)。環境成本的估算是依據 Lee et al. (2010) 的研究，如表 4.7 所示。

另外，因為在計算外部成本的變數數值資料是參考國外的文獻，都是使用美金來做計算，所以之後第四章與第五章的分析結果皆是以美金來計算，那當時在 2010 年十月份左右的匯率大概是 1 元美金相當於新台幣 30.77 元。

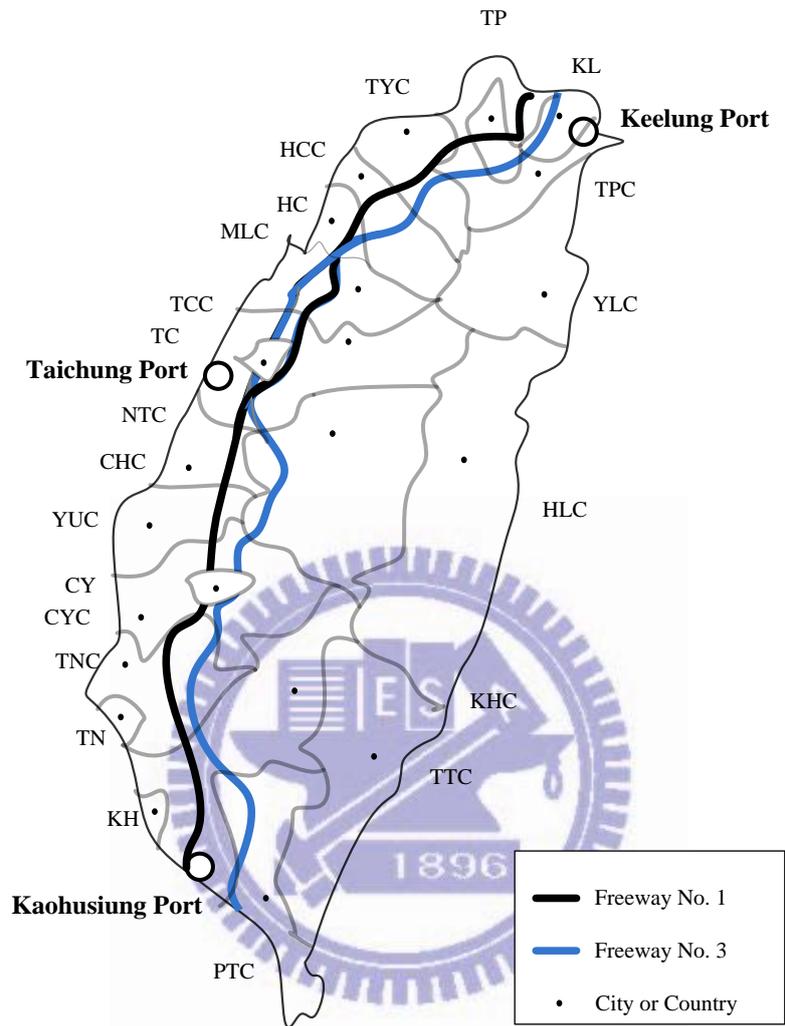


圖 4.1 台灣港口與各縣市的地理位置圖

[註]

KL：基隆市；TPC：台北縣；TP：台北市；TYC：桃園縣；HCC：新竹縣；
 HC：新竹市；MLC：苗栗縣；TCC：台中縣；TC：台中市；NTC：南投縣；
 CHC：彰化縣；YUC：雲林縣；CY：嘉義市；CYC：嘉義縣；
 TNC：台南縣；TN：台南市；KH：高雄市；KHC：高雄縣；PTC：屏東縣；
 YLC：宜蘭縣；HLC：花蓮縣；TTC：台東縣

表 4.1 港口與城市之間的旅行距離和時間

縣市	距離(公里)			時間(小時)		
	基隆港	台中港	高雄港	基隆港	台中港	高雄港
1 基隆市	7.5	190	389	0.32	3.00	5.97
2 台北市	24.7	171	371	0.50	2.77	5.72
3 台北縣	44.3	196	396	1.17	3.33	6.33
4 桃園縣	68.8	126	326	1.18	2.12	5.07
5 新竹市	103	90.8	294	1.77	2.35	4.67
6 新竹縣	107	110	310	1.93	2.00	4.98
7 苗栗縣	163	78.6	277	2.87	2.00	4.73
8 台中市	186	22.7	208	2.92	0.90	3.40
9 台中縣	208	61.1	260	3.75	1.87	4.65
10 彰化縣	212	40.9	182	3.27	1.05	3.03
11 南投縣	277	103	270	4.88	2.62	5.13
12 雲林縣	246	75.6	158	3.90	1.67	2.85
13 嘉義市	274	104	128	4.12	1.90	2.40
14 嘉義縣	294	131	139	4.57	2.32	2.65
15 台南市	332	162	67.3	4.93	2.72	1.72
16 台南縣	316	146	90.8	5.07	2.50	1.97
17 高雄市	374	204	18.1	5.42	3.18	0.85
18 高雄縣	412	242	88.9	6.35	4.13	2.28
19 屏東縣	408	238	47	6.05	3.82	1.65
20 宜蘭縣	75.3	227	427	1.65	3.83	6.82
21 花蓮縣	238	239	320	6.92	7.43	9.05
22 台東縣	382	432	241	11.40	9.87	7.63

資料來源：本研究整理

表 4.2 台灣各縣市的進出口貨櫃量

單位：TEU

	縣市	進口	出口
1	基隆市	223,576	124,606
2	台北市	5,990	3,885
3	台北縣	442,493	244,308
4	桃園縣	736,282	537,486
5	新竹市	5,877	393
6	新竹縣	129,661	226,980
7	苗栗縣	45,077	799,556
8	台中市	132,187	276,057
9	台中縣	1,309,885	1,762,414
10	彰化縣	290,498	436,212
11	南投縣	90,093	122,098
12	雲林縣	50,227	35,787
13	嘉義市	2,739	-
14	嘉義縣	138,121	76,450
15	台南市	18,874	24,310
16	台南縣	268,031	388,782
17	高雄市	171,318	337,012
18	高雄縣	153,368	142,361
19	屏東縣	22,339	26,051
20	宜蘭縣	97,650	89,853
21	花蓮縣	26,325	36,468
22	台東縣	411	-
	合計	4,361,022	5,691,069

資料來源：交通部統計處統計年鑑(民國 96 年)

表 4.3 國外地區的進、出港貨櫃量

單位：TEU

地區	進港	出港
日本	351,168	272,951
韓國	152,634	210,879
香港	245,238	414,023
中國	571,349	1,491,305
其他亞洲	1,214,038	2,013,958
非洲	56,657	258,571
美國	1,056,217	405,954
其他美洲	225,906	191,976
大洋洲	203,756	144,802
歐洲	284,059	286,650
合計	4,361,022	5,691,069

資料來源：本研究整理

表 4.4 台灣地區各國際商港進港船舶按國外地區分

單位：艘

地區	基隆港	高雄港	台中港
日本	987	999	678
韓國	581	685	188
香港	743	1287	1061
中國	108	1392	421
其他亞洲	645	1749	214
非洲	0	80	0
美國	69	372	0
其他美洲	32	106	1
大洋洲	0	77	9
歐洲	0	375	0
國內	1466	1139	4
合計	4,631	8,261	2,576

資料來源：本研究整理

表 4.5 台灣地區貨櫃車營業時間

單位：小時

縣市	貨櫃車	營業時間
1 基隆市	1,803	5,769,600
2 台北市	2,510	8,032,000
3 台北縣	7,647	24,470,400
4 桃園縣	9,064	29,004,800
5 新竹市	1,007	3,222,400
6 新竹縣	2,215	7,088,000
7 苗栗縣	1,973	6,313,600
8 台中市	4,406	14,099,200
9 台中縣	6,659	21,308,800
10 彰化縣	448	1,433,600
11 南投縣	1,634	5,228,800
12 雲林縣	2,504	8,012,800
13 嘉義市	1,132	3,622,400
14 嘉義縣	448	1,433,600
15 台南市	1,890	6,048,000
16 台南縣	2,507	8,022,400
17 高雄市	7,702	24,646,400
18 高雄縣	5,170	16,544,000
19 屏東縣	1,585	5,072,000
20 宜蘭縣	2,241	7,171,200
21 花蓮縣	1,042	3,334,400
22 台東縣	429	1,372,800
合計	66,016	211,251,200

資料來源：本研究整理

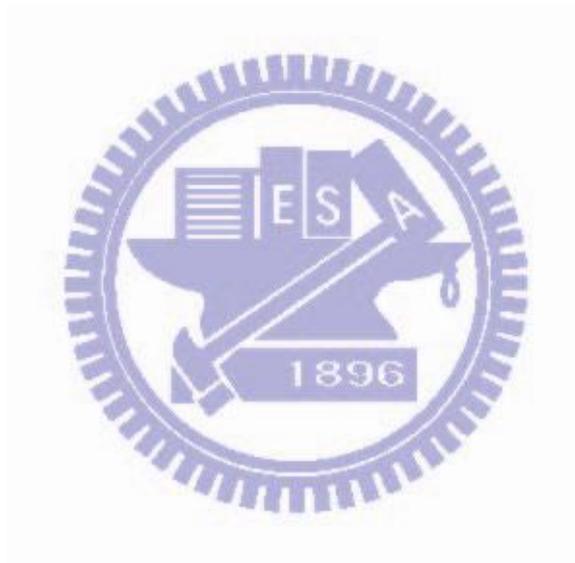
表 4.6 各個港口的裝載容量

港口	港口容量(TEU)
基隆港	2,500,000
高雄港	13,000,000
台中港	1,500,000

表 4.7 貨櫃車和短程航運所排放污染物的排放因子與避免成本

汗染物種類	污染因子			避免成本 (美元/公噸)
	貨車(公克/ 輛-公里)	短程航運(公斤/公噸)		
		重油	柴油	
PM ₁₀	2	1	8	375,888
NO _x	20	57	87	4,992
VOC	1	2	2	1,390
SO ₂	1	10	54	13,960
CO ₂	554	3,170	3,170	26

資料來源：Lee et al. (2010)



4.2 分析結果

複合運輸模型是一個線性規劃的問題，所以使用商業套裝軟體 CPLEX 11.2.1 來求解。CPLEX 11.2.1 是一個可以求解線性規劃、整數規劃與線性整數規劃等的演算法，本研究是將複合運輸模型的參數、變數與限制式定義後，共有 1122 個變數與 925 條限制式，之後在執行 CPLEX 11.2.1 來進行求解。

根據求解得到的結果，目前在台灣國內港口與縣市之間貨櫃的流動，皆是使用貨櫃車運輸，進口貨櫃量為 4,361,022TEU、出口貨櫃量為 5,691,069TEU。運輸成本約為 1307.78 百萬美元，而所造成的環境成本約為 556.56 百萬美元。

在國外地區與三個港口間貨櫃流動的部份，日本、韓國、香港等靠近台灣較近地區的貨櫃是由基隆港進、出口；中國、其他亞洲地區的貨櫃，則是在三個港口都有進、出口，但高雄港的貨櫃量較多；非洲、美國、其他美洲地區與歐洲的貨櫃則是大部分都經由高雄港來進、出口，三個港口與國外地區間的進出口貨櫃量如表 4.8 所示。在國內縣市貨櫃流動的部份，如圖 4.2 所示，不同的顏色代表分別經由不同港口進出口貨櫃的貨源地。使用貨櫃車直達運輸至各縣市的進、出口貨櫃量如表 4.9 所示。

表 4.8 國外地區與國內港口之間的進、出口貨櫃流動量

單位：TEU

地區	進口			出口		
	基隆港	高雄港	台中港	基隆港	高雄港	台中港
日本	351,168	-	-	272,951	-	-
韓國	152,634	-	-	210,879	-	-
香港	245,238	-	-	316,288	-	97,735
中國	54,000	306,849	210,500	54,000	1,226,800	210,500
其他亞洲	322,500	784,538	107,000	322,500	1,584,460	107,000
非洲	-	56,657	-	-	258,571	-
美國	34,500	1,021,720	-	34,500	371,454	-
其他美洲	16,000	209,406	500	16,000	175,476	500
大洋洲	-	199,256	4,500	-	140,302	4,500
歐洲	-	284,059	-	-	286,650	-
合計	1,176,040	2,862,485	322,500	1,227,118	4,043,713	420,235

表 4.9 使用貨櫃車直達運輸至台灣各縣市的進、出口貨櫃量

單位：TEU

縣市	進口			出口		
	基隆港	高雄港	台中港	基隆港	高雄港	台中港
基隆市	223,576	-	-	124,606	-	-
台北市	5,990	-	-	3,885	-	-
台北縣	442,493	-	-	244,308	-	-
桃園縣	406,331	142,989	186,962	537,486	-	-
新竹市	-	-	5,877	-	-	393
新竹縣	-	-	129,661	226,980	-	-
苗栗縣	-	45,077	-	-	799,556	-
台中市	-	132,187	-	-	276,057	-
台中縣	-	1,309,880	-	-	1,342,570	419,842
彰化縣	-	290,498	-	-	436,212	-
南投縣	-	90,093	-	-	122,098	-
雲林縣	-	50,227	-	-	35,787	-
嘉義市	-	2,739	-	-	-	-
嘉義縣	-	138,121	-	-	76,450	-
台南市	-	18,874	-	-	24,310	-
台南縣	-	268,031	-	-	388,782	-
高雄市	-	171,318	-	-	337,012	-
高雄縣	-	153,368	-	-	142,361	-
屏東縣	-	22,339	-	-	26,051	-
宜蘭縣	97,650	-	-	89,853	-	-
花蓮縣	-	26,325	-	-	36,468	-
台東縣	-	411	-	-	-	-
合計	1,176,040	2,862,477	322,500	1,227,118	4,043,714	420,235

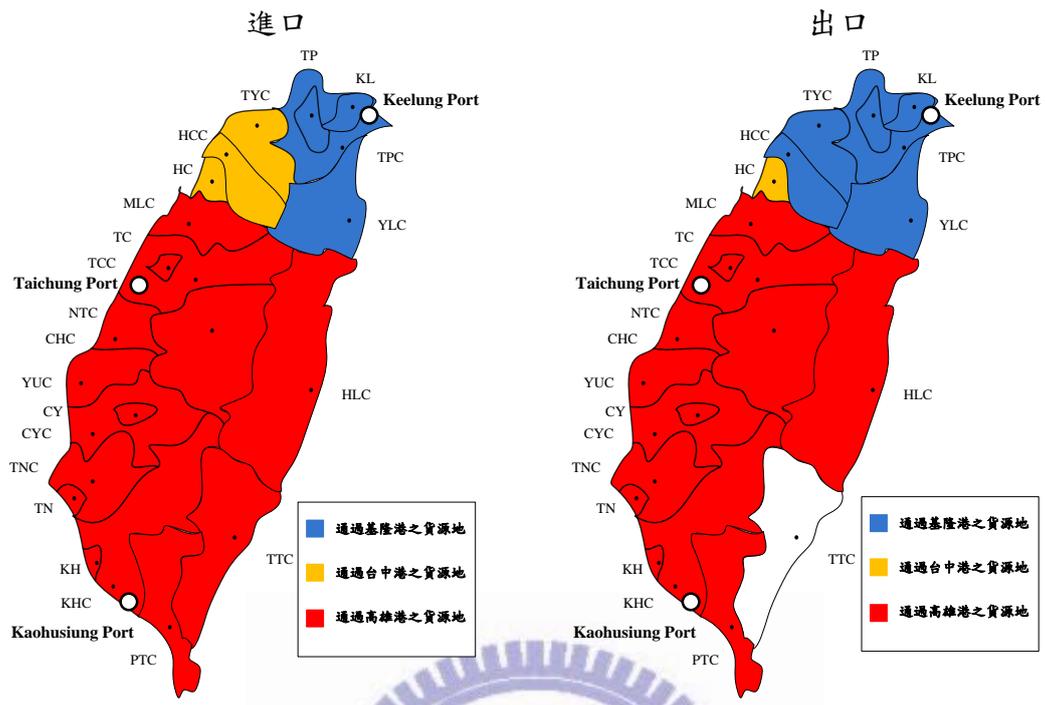


圖 4.2 內陸貨櫃車運輸的貨櫃流動(基本範例)



4.3 提升短程航運之措施

本研究主要在探討貨運業者在不同措施下對運具的選擇會有什麼影響，所以本研究不只是求出一個運輸成本最小的最佳解，而是根據不同措施的調整下，對貨運業者的決策會有什麼改變，措施的評估不是直接求解得來，而是調整不同的決策變數，那對目標值會有什麼改變。在這一節就會針對改變外部成本內部化的權重因子 w 、降低航商運輸成本與時間成本(使航商有優先靠泊制度予以優惠)以及北部港口的容量擴充來看對環境成本與運輸成本會有什麼影響，以及貨櫃車與短程航運運輸之間的運具使用會發生什麼轉移情況。

4.3.1 外部成本內部化

外部成本內部化的權重因子 w 一開始的起始值為 0。在外部成本內部化的權重因子 w 為 0 時的基本範例，貨櫃的移動皆是以內陸貨櫃車運輸，進口為 4,361,022TEU，出口為 5,691,069TEU。另外，使用貨櫃車運輸的運輸成本約為 1307.78 百萬美元，而使用貨櫃車運輸所產生的環境成本約為 556.56 百萬美元。

隨著外部成本內部化權重因子 w 的提高，從圖 4.3 可以看出環境成本呈現下降的趨勢，表 4.10 更可以看出當 w 提高到 0.55 時，可以發現部分使用貨櫃車運輸進、出口的貨櫃開始轉移至使用短程航運運輸，使用短程航運運輸的進口貨櫃量為 142,989TEU，出口貨櫃量為 614,276TEU，如圖 4.4 所示。另外，環境成本減少了約 32.45 百萬美元。當 w 提高到 0.9 時，使用短程航運運輸的進口貨櫃量為 142,989TEU，而出口貨櫃量增加至 711,118TEU。另外，環境成本減少了約 3.93 百萬美元。

從圖 4.5 來看，在 w 提高到 0.55 時，原本是在高雄港透過貨櫃車運輸進口貨櫃到桃園縣，就會先使用短程航運轉運進口的貨櫃至台中港，之後再使用貨櫃車運送至桃園縣。而原本在台中縣要出口的貨櫃是透過貨櫃車運輸至高雄港，就會先使用貨櫃車運送至台中港，之後在使用短程航運運送至高雄港；在 w 提高到 0.90 時，除了原本是在高雄港透過貨櫃車運輸進口貨櫃到桃園縣，會先使用短程航運轉運進口的貨櫃至台中港外，還有在高雄港要進口到基隆市的貨櫃，則改用使用短程航運運輸轉運貨櫃至基隆港，之後再使用貨櫃車運輸至基隆市。

根據以上的結果顯示，當外部成本內部化後，是可以提高短程航運運輸的使用量，以及會有運具使用轉移的情況發生，原本使用貨櫃車運輸的貨櫃，會隨著外部成本內部化的權重因子 w 的提高，而轉移至使用短程航運運輸。

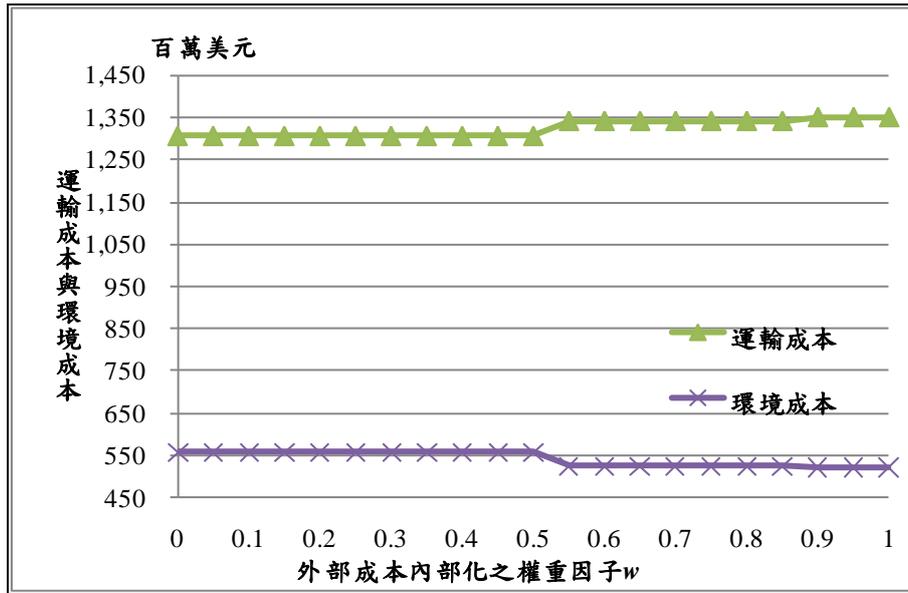


圖 4.3 運送貨櫃的運輸成本與環境成本($w = 0\sim 1$)

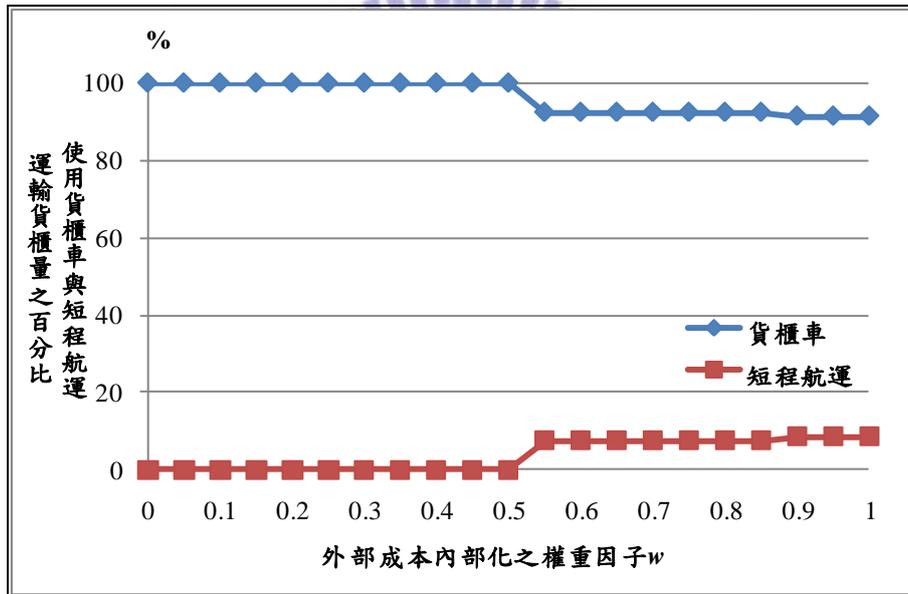
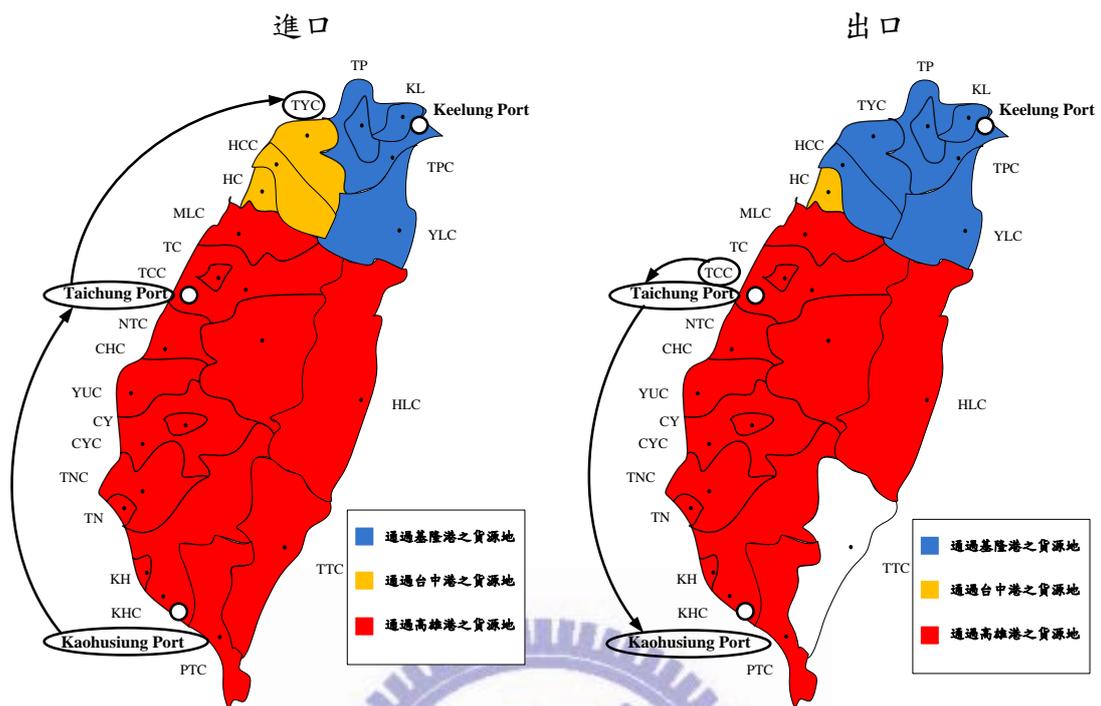


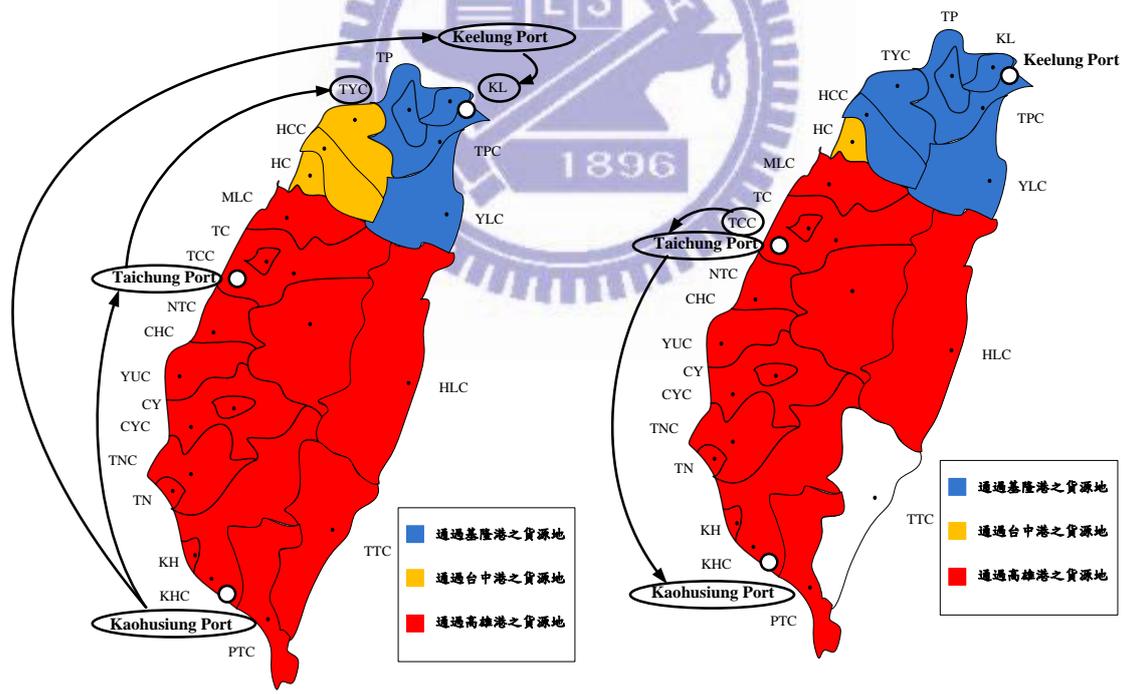
圖 4.4 使用貨櫃車與短程航運運輸之間的貨櫃轉移量($w = 0\sim 1$)

表 4.10 外部成本內部化權重因子 w 的改變對成本與貨櫃量的影響($w = 0\sim 1$)

w	貨櫃車		短程航運		總環境成本(百萬美元)			總運輸成本(百萬美元)		
	進口	出口	進口	出口	貨櫃車	短程航運	合計	貨櫃車	短程航運	合計
0.00	4,361,022	5,691,069	-	-	556.56	-	556.56	1307.78	-	1307.78
0.05	4,361,022	5,691,069	-	-	556.56	-	556.56	1307.78	-	1307.78
0.10	4,361,022	5,691,069	-	-	556.56	-	556.56	1307.78	-	1307.78
0.15	4,361,022	5,691,069	-	-	556.56	-	556.56	1307.78	-	1307.78
0.20	4,361,022	5,691,069	-	-	556.56	-	556.56	1307.78	-	1307.78
0.25	4,361,022	5,691,069	-	-	556.56	-	556.56	1307.78	-	1307.78
0.30	4,361,022	5,691,069	-	-	556.56	-	556.56	1307.78	-	1307.78
0.35	4,361,022	5,691,069	-	-	556.56	-	556.56	1307.78	-	1307.78
0.40	4,361,022	5,691,069	-	-	556.56	-	556.56	1307.78	-	1307.78
0.45	4,361,022	5,691,069	-	-	556.56	-	556.56	1307.78	-	1307.78
0.50	4,361,022	5,691,069	-	-	556.56	-	556.56	1307.78	-	1307.78
0.55	4,218,033	5,076,793	142,989	614,276	504.42	19.69	524.11	1185.28	157.51	1342.79
0.60	4,218,033	5,076,793	142,989	614,276	504.42	19.69	524.11	1185.28	157.51	1342.79
0.65	4,218,033	5,076,793	142,989	614,276	504.42	19.69	524.11	1185.28	157.51	1342.79
0.70	4,218,033	5,076,793	142,989	614,276	504.42	19.69	524.11	1185.28	157.51	1342.79
0.75	4,218,033	5,076,400	142,989	614,669	504.40	19.70	524.10	1185.22	157.59	1342.81
0.80	4,218,033	5,076,400	142,989	614,669	504.40	19.70	524.10	1185.22	157.59	1342.81
0.85	4,218,033	5,076,400	142,989	614,669	504.40	19.70	524.10	1185.22	157.59	1342.81
0.90	4,218,033	4,979,951	142,989	711,118	495.86	24.71	520.57	1165.15	186.48	1351.63
0.95	4,218,033	4,979,951	142,989	711,118	495.86	24.71	520.57	1165.15	186.48	1351.63
1.00	4,218,033	4,979,951	142,989	711,118	495.86	24.71	520.57	1165.15	186.48	1351.63



$w = 0.55$



$w = 0.90$

圖 4.5 內陸與水路運輸之間的貨櫃轉移($w = 0.55$ 、 0.90)

4.3.2 航商有優先靠泊制度予以優惠

在這個措施之下，我們要探討的是如果政府提供航商優先靠泊制度給以優惠下，是否也會有運具轉移的情況發生。在尚未提供航商優先靠泊制度時，短程航運的每 TEU 的單位轉運成本如下：基隆港至高雄港為新台幣 6700 元、基隆港至台中港為新台幣 4300 元、台中港至高雄港為新台幣 4500 元；而基隆港到高雄港的海上航行時間為 13 小時，台中港至高雄港(或是基隆港至台中港)的海上航行時間為 7 小時，另外在加上船舶碼頭的等待時間為 12 小時。而當政府提供航商優先靠泊制度後，就可以最多減少 3500 元的運輸成本，而船舶碼頭的等待時間最多也可以減少 12 小時(Lee et al., 2010)。

本研究將會探討優惠後之運輸成本從新台幣 3500 元減少至 0 元以及船舶等待時間從 12 小時減少至 0 小時的各種情況下，國內的貨櫃流動會發生什麼樣的改變。另外，因為是同時調整優惠後之轉運成本與船舶等待時間，所以皆是以同基準比例下之 z 來計算， z 為航商優先靠泊之優惠因子($z = 0 \sim 1$)，如計算式(36)、(37)所示。

$$\text{優惠後之運輸成本} = \text{運輸成本} - z \cdot 3500 \quad (36)$$

$$\text{優惠後之等待時間} = \text{等待時間} - z \cdot 12 \quad (37)$$

在政府尚未提供航商有優先靠泊制度時的基本範例，貨櫃的移動皆是以內陸貨櫃車運輸，進口貨櫃量為 4,361,022 TEU，出口貨櫃量約為 5,691,069 萬 TEU。另外，使用貨櫃車運輸的運輸成本約為 1307.78 萬美元，而使用貨櫃車運輸所產生的環境成本約為 556.56 百萬美元。

當政府提供航商有優先靠泊制度後，從圖 4.6 可以看出運輸成本與環境成本皆呈現下降的趨勢，表 4.11 更可以看出當 z 提高到 0.3 時，也就是優惠費用減少至 2450 元、船舶等待時間縮短至 8.4 小時，可以發現部分使用貨櫃車運輸進、出口的貨櫃開始轉移至使用短程航運運輸，進口貨櫃量為 142,989 TEU，出口貨櫃量為 614,669 TEU，如圖 4.7 所示。另外，環境成本減少了約 32.46 百萬美元；當 z 提高到 0.7 時，也就是優惠費用減少至 1050 元、船舶等待時間縮短至 3.6 小時，使用短程航運運輸的進口貨櫃量為 142,989 TEU，而出口貨櫃量增加至 711,118 TEU。另外，環境成本減少了約 3.53 百萬美元。

從圖 4.8 來看，在 z 提高到 0.3 時，原本是在高雄港透過貨櫃車運輸進口貨櫃到桃園縣，就會先使用短程航運轉運進口的貨櫃至台中港，之後再使用貨櫃車

運送至桃園縣。而原本在台中縣要出口的貨櫃是透過貨櫃車運輸至高雄港，就會先使用貨櫃車運送至台中港，之後在使用短程航運運送至高雄港。在 z 提高到 0.7 時，除了原本是在高雄港透過貨櫃車運輸進口貨櫃到桃園縣，會先使用短程航運轉運進口的貨櫃至台中港外，還有在高雄港要進口到基隆市的貨櫃，則改使用短程航運運輸轉運貨櫃至基隆港，之後再使用貨櫃車運輸至基隆市。

另外，針對在 z 提高到 0.3 時，為何會先在高雄港使用短程航運運輸轉運至台中港，之後再利用貨櫃車運輸至桃園縣，原因為在高雄港透過貨櫃車運輸進口到桃園縣的貨櫃，可以有三種運送方式，分別如下：

第一，從高雄港直接利用貨櫃車運輸至桃園縣。運輸費用為 8,150 元。

第二，先從高雄港利用短程航運運輸轉運至台中港，再利用貨櫃車運輸至桃園縣。原本短程航運的運輸費用為 4,500 元，因為 z 提高到 0.3，可以優惠費用減少從 3,500 元減少至 2,450 元，所以短程航運的運輸費用減少為 3,450 元；從台中港利用貨櫃車運輸至桃園縣的運輸費用為 3,150 元。總共的運輸費用為 6,600 元。

第三，先從高雄港利用短程航運運輸轉運至基隆港，再利用貨櫃車運輸至桃園縣。原本短程航運的運輸費用為 6,217 元，因為 z 提高到 0.3，可以優惠費用減少從 3,500 元減少至 2,450 元，所以短程航運的運輸費用減少為 5,167 元；從台中港利用貨櫃車運輸至桃園縣的運輸費用為 1,720 元。總共的運輸費用為 6,887 元。

由此可知，在 z 提高到 0.3 時，就會先在高雄港使用短程航運運輸轉運至台中港，之後再利用貨櫃車運輸至桃園縣。

根據以上的結果顯示，當政府提供航商有優先靠泊制度後，是可以提高短程航運運輸的使用，以及會有運具使用轉移的情況發生，原本使用貨櫃車運輸的貨櫃，會隨著轉運成本與船舶等待時間的減少，而轉移至使用短程航運運輸。

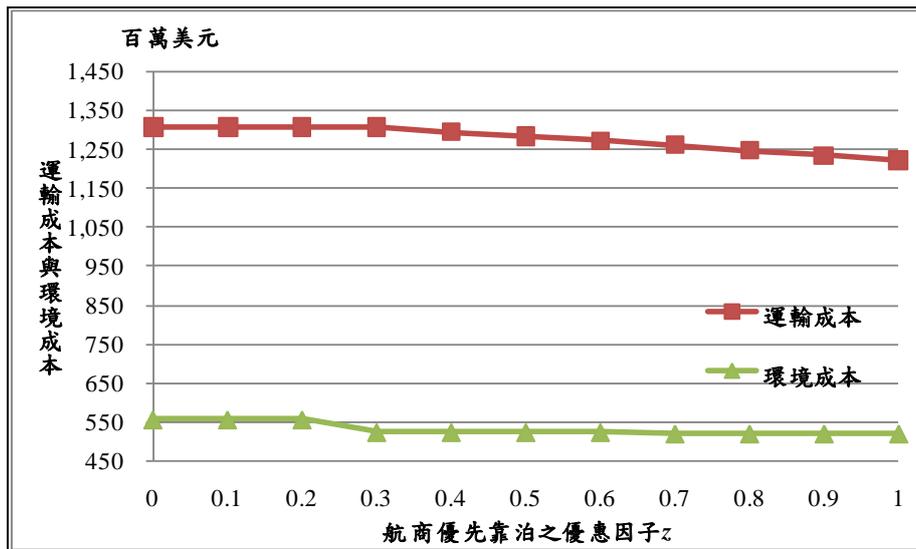


圖 4.6 運送貨櫃的運輸成本與環境成本(z = 0~1)

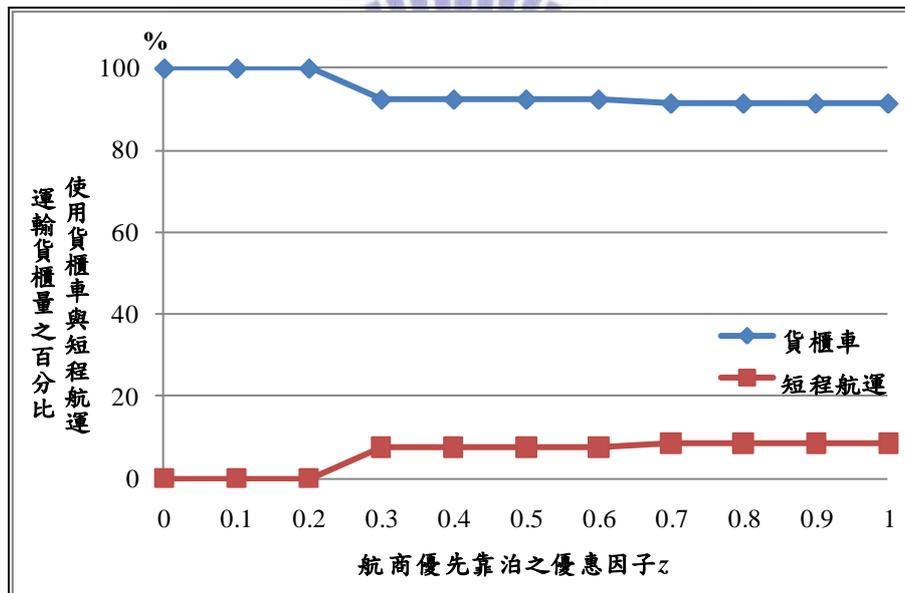


圖 4.7 使用貨櫃車與短程航運運輸之間的貨櫃轉移量(z = 0~1)

表 4.11 航商優先靠泊之優惠因子 z 改變對成本與貨櫃量的影響($z = 0\sim 1$)

z	等待時間	優惠費用	貨櫃車		短程航運		總環境成本(百萬美元)			總運輸成本(百萬美元)		
			進口	出口	進口	出口	貨櫃車	短程航運	合計	貨櫃車	短程航運	合計
0	12.0	3500	4,361,022	5,691,069	-	-	556.56	-	556.56	1307.78	-	1307.78
0.1	10.8	3150	4,361,022	5,691,069	-	-	556.56	-	556.56	1307.78	-	1307.78
0.2	9.6	2800	4,361,022	5,691,069	-	-	556.56	-	556.56	1307.78	-	1307.78
0.3	8.4	2450	4,218,033	5,076,400	142,989	614,669	504.40	19.70	524.10	1185.22	122.87	1308.09
0.4	7.2	2100	4,218,033	5,076,400	142,989	614,669	504.40	19.70	524.10	1185.22	111.30	1296.52
0.5	6.0	1750	4,218,033	5,076,400	142,989	614,669	504.40	19.70	524.10	1185.22	99.72	1284.94
0.6	4.8	1400	4,218,033	5,076,400	142,989	614,669	504.40	19.70	524.10	1185.22	88.15	1273.37
0.7	3.6	1050	4,218,033	4,979,951	142,989	711,118	495.86	24.71	520.57	1165.15	96.72	1261.87
0.8	2.4	700	4,218,033	4,979,951	142,989	711,118	495.86	24.71	520.57	1165.15	83.68	1248.83
0.9	1.2	350	4,218,033	4,979,951	142,989	711,118	495.86	24.71	520.57	1165.15	70.63	1235.78
1	0.0	0	4,218,033	4,979,951	142,989	711,118	495.86	24.71	520.57	1165.15	57.59	1222.74

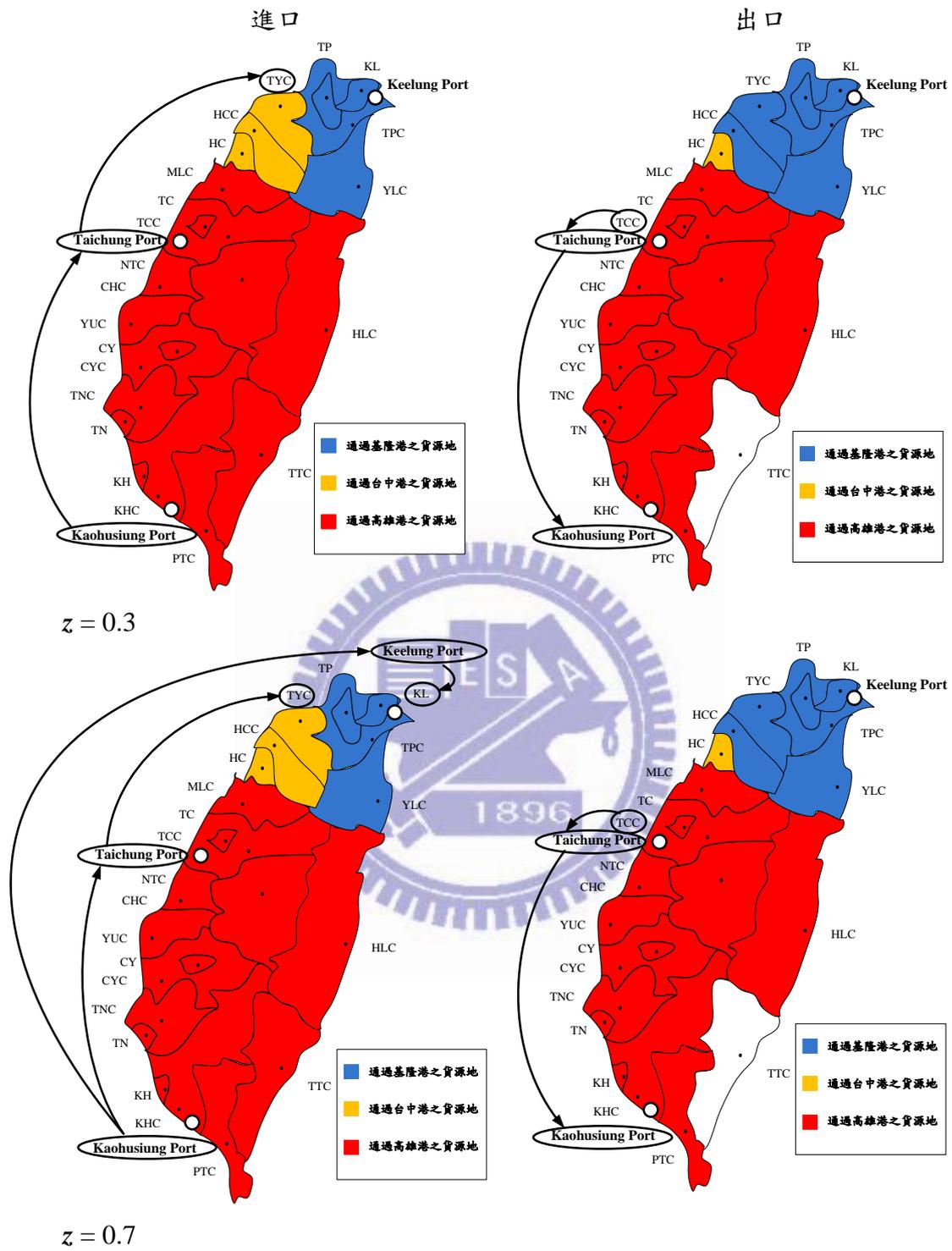


圖 4.8 內陸與水路運輸之間的貨櫃轉移($z = 0.3$ 、 0.7)

4.3.3 不同措施之組合方案

前面兩小節是在外部成本內部化與航商有優先靠泊制度予以優惠的措施之下，探討分別調整外部成本內部化的權重因子 w 以及轉運成本與船舶等待時間，會對國內貨櫃的流動發生什麼變化，而在這一小節則是將這兩個措施一起討論，同時調整外部成本內部化的權重因子 w 以及航商優先靠泊之優惠因子 z ，之後在這個措施下還會探討如果當北部港口的容量擴充後，是否可以提高短程航運運輸的使用量。

當同時調整外部成本內部化的權重因子 w 以及航商優先靠泊之優惠因子 z 時，從圖 4.9 可以看出外部成本內部化的權重因子 w 為 0 與 z 為 0 (優惠費用為 3,500 元與船舶等待時間為 12 小時) 時，也就是尚未外部成本內部化與給以航商優惠，國內貨櫃的流動皆是以內陸貨櫃車運輸，還未使用短程航運運輸來轉運貨櫃。

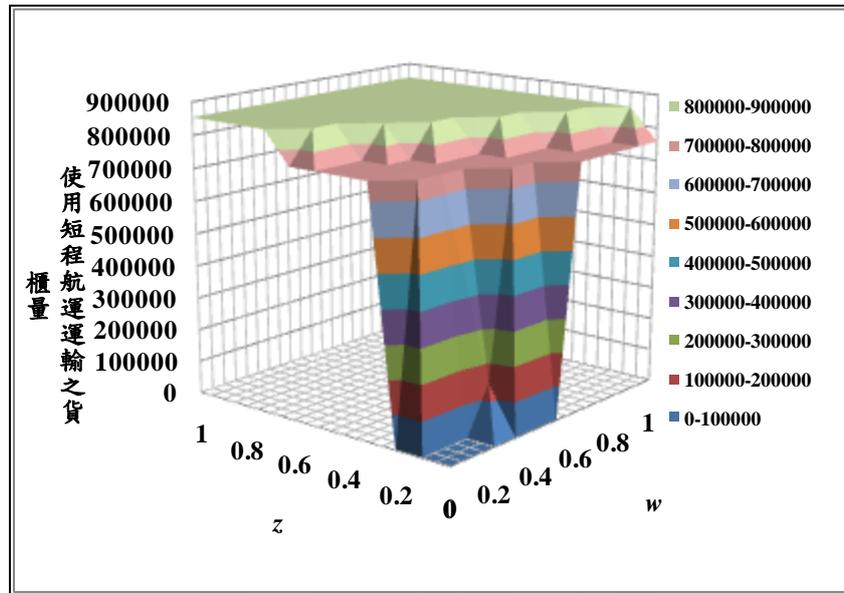
隨著外部成本內部化權重因子 w 與航商優先靠泊之優惠因子 z 的提高(減少轉運成本與船舶等待時間)，如果外部成本內部化的權重因子 w 為 0，航商優先靠泊之優惠因子 z 需要提高至 0.3 (優惠費用減少至 2,450 元與船舶等待時間為 8.4 小時)，才會讓使用短程航運運輸的貨櫃量提高至 757,658 TEU；如果航商優先靠泊之優惠因子 z 為 0，而外部成本內部化的權重因子 w 提高至 0.6，才會讓使用短程航運運輸的貨櫃量提高至 757,658 TEU。另外，如果同時讓外部成本內部化的權重因子 w 提高至 0.7，航商優先靠泊之優惠因子 z 提高至 0.4 (優惠費用減少至 2,100 元與船舶等待時間為 7.2 小時)，則使得更多的貨櫃量利用短程航運運輸轉運，貨櫃量為 854,107 TEU

本研究一開始有提到因為北部港口的服務水準無法負荷，所以航商紛紛把貨櫃遷往高雄，造成基隆港之貨櫃運輸量降低，進出口貨櫃運輸量在北部地區與高雄港之間造成密集的車流，也就是造成了大量的「北櫃南運」、「南櫃北運」的問題。所以，原本基隆港的服務容量為 250 萬 TEU，現在如果將基隆港的服務容量擴充到 300 萬 TEU。另外，同時調整外部成本內部化的權重因子 w 以及航商優先靠泊之優惠因子 z ，是否能更加提高短程航運運輸的使用。

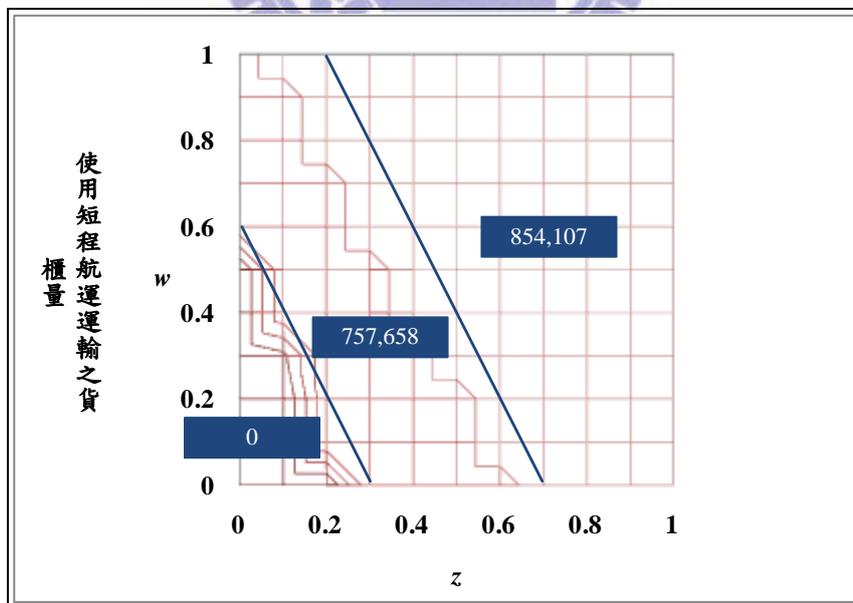
從圖 4.10 來看，當北部港口的容量擴充後，如果同樣地同時讓外部成本內部化的權重因子 w 提高至 0.6，航商優先靠泊之優惠因子 z 提高至 0.3 (優惠費用減少至 2,450 元與船舶等待時間為 8.4 小時)，使用短程航運運輸的貨櫃量為 1,087,609 TEU，相較於北部港口擴充前，提高了更多短程航運運輸的使用。如果更進一步地，讓外部成本內部化的權重因子 w 提高至 0.7，航商優先靠泊之優惠因子 z 提高至 0.7 (優惠費用減少至 700 元與船舶等待時間為 2.4 小時)，則使用短

程航運運輸轉運的貨櫃量提高至 1,277,966TEU。

從以上的結果來看，當同時調整外部成本內部化的權重因子 w 以及航商優先靠泊之優惠因子 z ，會讓更多的貨櫃量經由短程航運運輸轉運。而當北部港口容量不足，如果擴充北部港口容量，就能提高短程航運運輸的使用量，反之，如果當北部港口還有剩餘的容量空間，則就不會使用短程航運運輸來轉運貨櫃。

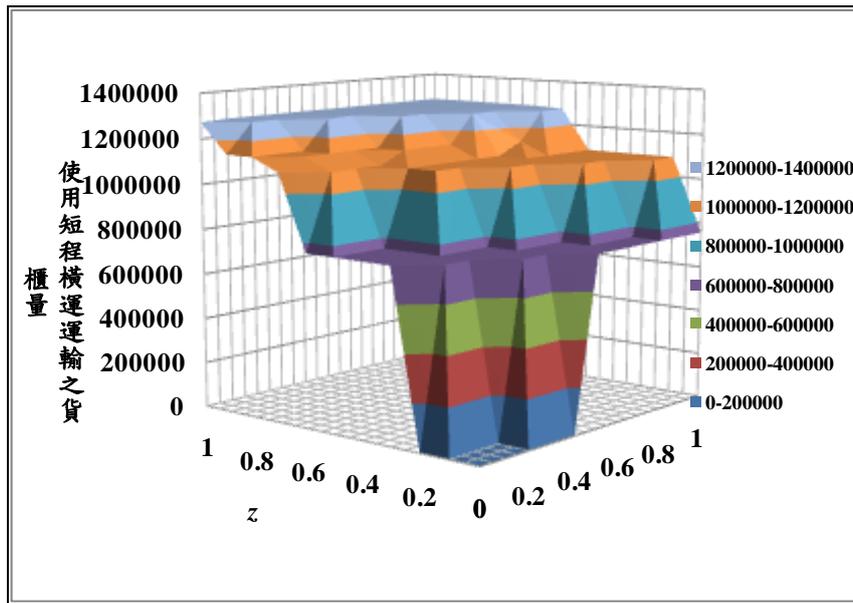


(a) 曲面圖

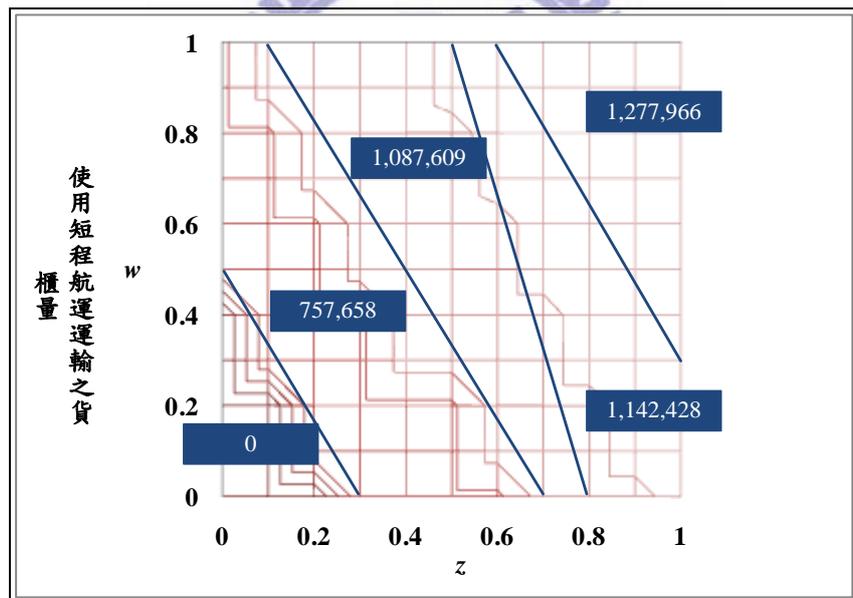


(b) 等高線圖

圖 4.9 使用短程航運運輸轉運貨櫃量(尚未北部港口容量擴充)



(a) 曲面圖



(b) 等高線圖

圖 4.10 使用短程航運運輸轉運貨櫃量(北部港口容量擴充)

第五章、外部成本分析

本章是分析計算使用貨櫃車運輸與短程航運運輸所產生的外部成本，首先根據文獻說明計算外部成本的方法，再依據計算外部成本的變數數值做分析，探討污染物的排放量與使用引擎的種類、油耗因子等變數數值有關。

5.1 外部成本之計算

本章節所指的外部成本是在台灣貨櫃運輸所造成的環境成本，而環境成本主要是空氣污染，其中空氣污染包括了空氣污染排放物(SO₂, CO, NO_x, VOC 和 PM₁₀)與溫室氣體(CO₂)，而在計算的部份又分為兩個運具為(1)貨櫃車運輸 (2)短程航運運輸，計算過程是依據 Lee et al. (2010)與 Liao et al. (2009)，而在計算過程方面，因為短程航運為水陸運輸，所以根據不同船的種類、裝載容量大小、引擎種類與航行速度等，就會產生不同的空氣污染物排放量與外部成本。而在內陸貨櫃車運輸的部份，因為在高速公路上使用貨櫃車來運送貨櫃，使用的貨櫃車差異比較小，在國道上行駛的速度也較為固定。所以在計算短程航運運輸所產生的外部成本，就會有幾種不一樣的計算方式，那本研究是探討 Lee et al. (2010)與 Liao et al. (2009)的計算方法，再選取一種作為本研究計算外部成本的方法。

其中 Lee et al. (2010)是研究台灣國內貨櫃運輸使用貨櫃車與短程航運運輸的外部成本分析，研究對象包括了空氣污染排放物(SO₂, CO, NO_x, VOC 和 PM₁₀)與溫室氣體(CO₂)；Liao et al. (2009)是比較在台灣使用貨櫃車與複合運輸系統(貨櫃車與短程航運)所產生的碳排放量分析，研究對象只針對碳排放。計算方式如下：

5.1.1 計算方法

貨櫃車運輸

在貨櫃車的引擎為柴油內燃機下，主要的排放物為 CO₂, NO_x, SO₂ 和 VOC (TRB,1995)，計算分為空氣污染排放物(SO₂, NO_x, VOC 和 PM₁₀)與溫室氣體(CO₂)，而計算外部成本的步驟如下：

步驟一，先計算每種空氣污染排放物的排放量，是將實際強度與排放因子相乘，也就是將有多少的貨櫃量(TEU)與運送的距離(公里)相乘，而每台貨櫃車的裝載係數為 2 (TEU)，最後在乘上每種空氣污染排放物 j 的排放因子，如計算式 (38)所示。

步驟二，將空氣汙染排放物 j 的排放量乘於每公噸空氣汙染排放物 j 的避免成本，就可以得到貨櫃車所產生的空氣汙染排放物的外部成本，如計算式(39)所示。

$$E_j^t = \frac{(T \times L)}{F} \times k_j \quad (38)$$

$$C_{air,CO_2}^t = \sum (E_{air,CO_2}^t \times AC_{air,CO_2}^t) \quad (39)$$

C_{air,CO_2}^t ：貨櫃車運輸所產生空氣汙染排放物的外部成本

E_j^t ：空氣汙染排放物 j 的排放量

AC_{air,CO_2}^t ：每噸空氣汙染排放物 j 的避免成本

T^t ：貨櫃運輸量

L^t ：旅次長度

F^t ：貨櫃車裝載係數

k_j^t ：空氣汙染排放物 j 的排放因子

短程航運運輸

根據研究指出短程航運所包含的空氣汙染排放物有 PM₁₀, NO_x, SO₂, VOC 以及 CO₂(Isakon et al., 2001; Deniz and Durmusoglu, 2007)，而在計算過程方面，是探討 Lee et al. (2010)與 Liao et al. (2009)的差異性，再選取一種作為本研究計算外部成本的方法，計算過程分別如下。

Lee et al. (2010)計算外部成本的步驟如下：

步驟一，先求出每種油耗 i 的總消耗量，是依據貨櫃運輸量、旅次長度、每種油耗 i 每 TEU-公里的消耗量，如計算式(40)所示。

步驟二，將每種油耗 i 的總消耗量乘上每種使用油耗 i 產生空氣物染排放物 j 的排放因子，就可以得到空氣汙染排放物 j 的總排放量，如計算式(41)所示。

步驟三，最後將空氣汙染排放物 j 的總排放量與空氣汙染排放物 j 的環境成本相乘，就是短程航運的總環境成本，如計算式(42)所示。

$$B_i = T^s \times L^s \times fc_i^s \quad (40)$$

$$E_j^s = \sum_j B_i k_{ij}^s \quad (41)$$

$$C^s = \sum_j E_j^s \times C_j^s \quad (42)$$

T^s : 貨櫃運輸量

L^s : 旅次長度

fc_i^s : 油耗 i 每 TEU-公里的消耗量

E_j^s : 空氣汙染排放物 j 的總排放量

B_i : 油耗 i 的總消耗量

k_{ij}^s : 使用油耗 i 產生空氣物染排放物 j 的排放因子

C^s : 短程航運的總環境成本

C_j^s : 空氣汙染排放物 j 的環境成本

Liao et al. (2009)計算二氧化碳排放量的步驟如下：

步驟一，先計算每種油耗的消耗量，油耗 i 的消耗量是與旅次長度、貨櫃船速度、每單位時間油耗 i 的消耗量、貨櫃數量、貨櫃船容量有關，如計算式(43)所示。

步驟二，再將每種油耗的消耗量與二氧化碳的排放因子相乘，就可以得到二氧化碳排放量，如計算式(44)所示。

$$C_i^s = \frac{L^s}{S^s} \times F_i^s \times \frac{V^s}{SL^s} \quad (43)$$

$$E^s = C_i^s \times K^s \quad (44)$$

E^s : 二氧化碳排放量

C_i^s : 油耗 i 的總消耗量

K^s : 二氧化碳的排放因子

L^s : 旅次長度

S^s : 貨櫃船速度

F_i^s : 每單位時間油耗 i 的消耗量

V^s : 貨櫃數量

SL^s : 貨櫃船容量

根據以上兩種不同的計算方法，計算概念大致上都相似，就是先計算每種油耗的消耗量，之後根據每種油耗的消耗量與空氣物染物的排放因子，最後就可以計算出每種空氣汙染物的排放量，主要的差異是在計算每種油耗的消耗量與貨櫃船的引擎勤種類、裝載容量、航行速度等有關，在這裡是假設油耗主要分為重油與柴油兩種，另外根據不同貨櫃船裝載容量與航行速度，就會得到不同的油耗消耗量。

在這裡 Lee et al. (2010)的數據資料收集的較為完善，所以本研究在計算外部

成本先採用本篇研究的計算方式，下面的章節會再詳細說明兩篇研究的差異性。

5.1.2 變數數值

本小節是 Lee et al. (2010)與 Liao et al. (2009)在計算外部成本的計算公式中，不同的變數根據文獻資料所取的數值，變數數值如表 5.1 與表 5.2 所示，如下：

表 5.1 為計算貨櫃車外部成本的變數數值，空氣汙染排放物 j 的排放因子 k_j^t ，Lee et al. (2010)所取的數值是根據 Forkenbrock (1999)；而 Liao et al. (2009)只探討碳排放量，溫室氣體 CO_2 的排放因子 k_j 為 155(公克/公噸-公里)，資料是根據 Ierlan et al. (2000)。每噸空氣汙染排放物 j 的避免成本 AC_{air,CO_2}^t 是從 INFRAS/IWW (2004)獲得。

表 5.1 計算貨櫃車外部成本之變數數值

空氣汙染物 /溫室氣體	k_j^t (公克/TEU-公里)	AC_j^t (美元\$/公噸)
PM ₁₀	1.5	375,888
NO _x	20.3	4,992
VOC	1.3	1,390
SO ₂	0.6	13,960
CO ₂	277	26

資料來源：Lee et al. (2010)

表 5.2(a)為 Lee et al. (2010)計算短程航運運輸外部成本的變數數值，油耗 i 每 TEU-公里的消耗量 fc_i^s 是根據 Trozzi and Vaccaro (1998)、Deniz and Durmusoglu (2007)。使用油耗 i 產生空氣物染排放物 j 的排放因子 k_{ij}^s 是採用於 Deniz and Durmusoglu (2007)。另外，根據訪問台灣的船公司，貨櫃船的裝載容量是 1660TEU，而裝載系數為百分之八十，還有假設船在海上航行的速度為每小時 19.5 海哩。

表 5.2 計算短程航運運輸污染排放物之變數數值

(a)

空氣污染物 /溫室氣體	fc_i^s (公噸/TEU-公里)		k_j^s (公噸)	
	重油	柴油	重油	柴油
PM ₁₀	0.00010369034	0.00000532656	0.0012	0.0076
NO _x	0.00010369034	0.00000532656	0.057	0.087
VOC	0.00010369034	0.00000532656	0.0024	0.0024
SO ₂	0.00010369034	0.00000532656	0.01	0.054
CO ₂	0.00010369034	0.00000532656	3.17	3.17

資料來源：Lee et al. (2010)

(b)

溫室氣體	K^s (公噸)		F_i^s (公噸/小時)	
	重油	柴油	重油	柴油
CO ₂	3.11	3.1	0.81	0.04

資料來源：Liao et al. (2009)

表 5.2(b)為 Liao et al. (2009)計算短程航運運輸外部成本的變數數值，每單位時間油耗 i 的消耗量 F_i^s 是採用於 Intergovernmental Panel Climate Change (1997)。二氧化碳的排放因子 K^s 則是取自 Corbett et al. (1999)、Corbett and Koehler (2003)。

另外根據台灣財團法人聯合船舶設計發展中心，貨櫃船的速度約為每小時 15 海哩，貨櫃船的裝載容量為 555TEU(交通部運輸研究所，民國九十年)，假設船的裝載係數為百分之八十。港口與港口之間的距離如下，基隆港與台中港之間為 204 公里；台中港與高雄港之間為 222 公里；基隆港與高雄港為 426 公里。

5.2 數值分析

本節是探討在台灣使用貨櫃車與短程航運運輸所產生的外部成本分析。另外，因為 Lee et al. (2010)是探討在港口與港口間使用貨櫃車與短程航運運送貨櫃，但是如果考慮國內貨櫃運輸所產生的環境成本，就必須還要計算貨櫃移動於港口與城市之間的情況，所以本研究加入計算貨櫃移動於港口與城市之間的情況，最後是分析當外部成本內部化與航商有優先靠泊制度與以優惠，提升了短程航運運輸的使用，對外部成本會有什麼影響，所以在這裡會分三個情境來探討，分別是推動短程航運運輸政策前與推動短程航運運輸政策後，另外還有在推動短程航運運輸政策後，過度使用短程航運運輸的情況。

5.2.1 在不同情境下之外部成本分析

推動短程航運運輸政策前

在推動短程航運運輸政策前，國內貨櫃移動於港口與城市之間，皆是以貨櫃車運輸來運送貨櫃，而國內貨櫃移動於港口與港口之間，則是參考 Lee et al. (2010) 的研究結果，百分之九十的貨櫃是使用貨櫃車來運送，而另外百分之十的貨櫃則是使用短程行運運輸來轉運。

推動短程航運運輸政策後($w=0.2$ 、 $z=0.2$)

在推動短程航運運輸政策後，是根據上一章的研究結果，國內貨櫃移動於港口與城市之間，在同時調整外部成本內部化的權重因子 w 以及航商優先靠泊之優惠因子 z 後，部份的貨櫃會開始經由使用短程航運運輸來轉運，是當外部成本內部化的權重因子 w 提高為 0.2、航商優先靠泊之優惠因子 z 提高為 0.2 的時候來計算。而國內貨櫃移動於港口與港口之間，則是根據文獻的研究建議，全部經由使用短程航運運輸來轉運。

推動短程航運運輸政策後($w=0.7$ 、 $z=0.7$)

這個情境主要在探討如果當推動短程航運運輸政策後，過度使用的短程航運運輸來轉運所產生的外部成本，也是根據上一章的研究結果，當北部港口容量擴充後，同時調整外部成本內部化的權重因子 w 以及航商優先靠泊之優惠因子 z ，在外部成本內部化的權重因子 w 提高為 0.7、航商優先靠泊之優惠因子 z 提高為 0.7 的時候來計算。而國內貨櫃移動於港口與港口之間，也是文獻的研究建議，全部經由使用短程航運運輸來轉運。

5.2.2 分析結果

推動短程航運運輸政策前

表 5.3 是台灣目前使用貨櫃車運輸與短程航運運輸所產生的環境成本現況，表 5.3(a) 為目前台灣貨櫃移動於港口與城市之間的情況，皆是使用貨櫃車運輸來運送貨櫃，貨櫃量為 10,052,091 TEU，還未使用短程航運運輸來轉運貨櫃。表 5.3(b)、5.3(c) 為使用貨櫃車運輸與短程航運運輸在港口與港口之間運輸，使用貨櫃車運輸的貨櫃量為 862,164 TEU，而使用短程航運運輸轉運的貨櫃量為 90,701 TEU。

從表 5.3(d) 來看，目前使用貨櫃車運輸所產生二氧化碳排放量約為 51.05 萬

公噸；使用短程航運運輸所產生的二氧化碳排放量約為 0.87 萬公噸。外部成本方面，目前使用貨櫃車運輸所產生的空氣汙染外部成本約為 623.44 百萬美元，二氧化碳的外部成本約 13.27 百萬美元；使用短程航運運輸所產生的空氣汙染外部成本約為 2.85 百萬美元，二氧化碳的外部成本約 0.23 百萬美元。由此可知，目前在台灣港口與港口間、港口與城市間使用貨櫃車運送貨櫃會產生大量的外部成本。

推動短程航運運輸政策後($w=0.2$ 、 $z=0.2$)

如果推動短程航運運輸政策後，使得使用短程航運運輸的運送人提高，那對外部成本會有什麼影響？表 5.4(a)為使用貨櫃車運輸運送貨櫃於港口與城市之間。表 5.4(b)是在港口與港口間先使用短程航運運輸來轉運貨櫃，之後在使用貨櫃車運輸於各縣市。使用貨櫃車運輸的貨櫃量為 9,294,826TEU，使用短程航運運輸轉運的貨櫃量為 757,265TEU。另外，在港口與港口之間使用貨櫃車運輸與短程航運運輸，在推動短程航運運輸政策後，會全部使用短程航運運輸，貨櫃量為 952,865TEU，結果如表 5.4(c)所示。

從表 5.4(d)來看，推動短程航運運輸政策之後，使用貨櫃車運輸所產生的二氧化碳排放量約為 40.41 萬公噸；使用短程航運運輸所產生的二氧化碳排放量約為 9.33 萬公噸。外部成本方面，使用貨櫃車運輸所產生的空氣汙染外部成本約為 492.62 百萬美元，二氧化碳的外部成本約為 10.51 百萬美元；使用短程航運運輸所產生的空氣汙染外部成本約為 31.33 百萬美元，二氧化碳的外部成本約 2.42 百萬美元。

綜合表 5.3(d)、表 5.4(d)的結果顯示，推動短程航運運輸政策之後，會使得貨櫃車與短程航運所造成大部分的空氣汙染物排放量(只有 SO₂ 少量增加)與二氧化碳排放量皆下降，二氧化碳排放量從 51.92 萬公噸減少為 49.74 萬公噸；總外部成本從 639.79 百萬美元減少至 536.87 百萬美元。

推動短程航運運輸政策後($w=0.7$ 、 $z=0.7$)

如果使用更多的短程航運運輸來轉運貨櫃，使用貨櫃車運輸的貨櫃量為 8,774,125TEU，使用短程航運運輸轉運的貨櫃量提高至 1,277,966TEU，如表 5.5 所示。從表 5.5(d)來看，使用貨櫃車運輸所產生的二氧化碳排放量約為 37.14 萬公噸；使用短程航運運輸所產生的二氧化碳排放量約為 16.55 萬公噸。外部成本方面，使用貨櫃車運輸所產生的空氣汙染外部成本約為 452.74 百萬美元，二氧化碳的外部成本約為 9.67 百萬美元；使用短程航運運輸所產生的空氣汙染外部成本約為 54.88 百萬美元，二氧化碳的外部成本約 4.30 百萬美元。

綜合表 5.4(d)、表 5.5(d)的結果顯示，如果使用更多的短程航運運輸來轉運貨櫃，會使得貨櫃車與短程航運所造成的大部分的空氣汙染物排放量(只有 SO₂ 少量增加)降低，只有二氧化碳排放量從 49.74 萬公噸增加至 53.69 萬公噸；總外部成本從 536.87 百萬美元微量減少至 521.58 百萬美元。從結果來看，大部份空氣汙染物的排放量皆降低，只有二氧化碳排放量反而增加，但是總外部成本是減少的，原因從表 5.1 來看，是因為空氣汙染物的單位避免成本都比二氧化碳來的高許多，所以就造成了二氧化碳排放量增加，但總外部成本卻是降低的情況發生。



表 5.3 推動短程航運運輸政策前之外部成本

(a) 貨櫃車運輸於港口與城市之間

	TEU	車-公里	汙染物排放量 (公噸)					汙染物成本 (美元)	
			PM ₁₀	NO _x	VOC	SO ₂	CO ₂	空氣汙染	二氧化碳
進口	4,361,022	678,851,836	509	6,890	441	204	188,042	229,232,176	4,889,091
出口	5,691,069	930,764,170	698	9,447	605	279	257,822	314,297,001	6,703,364
合計	10,052,091	1,609,616,006	1,207	16,338	1,046	483	445,864	543,529,177	11,592,454

(b) 貨櫃車運輸於港口與港口之間

	TEU	車-公里	汙染物排放量 (公噸)					汙染物成本 (美元)	
			PM ₁₀	NO _x	VOC	SO ₂	CO ₂	空氣汙染	二氧化碳
基隆港 - 台中港	76,135	13,628,165	10	138	9	4	3,775	4,516,126	98,150
台中港 - 高雄港	353,417	61,141,141	47	621	39	18	16,936	21,072,258	440,338
基隆港 - 高雄港	432,612	158,768,604	121	1,613	102	46	43,979	54,318,484	1,143,451
合計	862,164	233,537,910	178	2,372	150	68	64,690	79,906,868	1,681,939

(c) 短程航運運輸於港口與港口之間

	TEU	TEU-公里	汙染物排放量 (公噸)					汙染物成本 (美元)	
			PM ₁₀	NO _x	VOC	SO ₂	CO ₂	空氣汙染	二氧化碳
基隆港 - 台中港	22,759	4,824,908	1	31	1	6	1,667	545,615	43,352
台中港 - 高雄港	39,927	8,464,524	1	54	2	11	2,925	955,221	76,055
基隆港 - 高雄港	28,015	11,878,360	2	76	3	16	4,106	1,353,151	106,756
合計	90,701	25,167,792	4	161	7	33	8,699	2,853,988	226,164

(d) 總排放量與總外部成本

		汙染物排放量 (公噸)					汙染物成本 (美元)		
		PM ₁₀	NO _x	VOC	SO ₂	CO ₂	空氣汙染	二氧化碳	合計
貨櫃車	(a) + (b)	1,385	18,710	1,196	551	510,554	623,436,045	13,274,393	636,710,439
短程航運	(c)	4	161	7	33	8,699	2,853,988	226,164	3,080,151
合計	(a) + (b) + (c)	1,389	18,870	1,203	584	519,252	626,290,033	13,500,557	639,790,590

表 5.4 推動短程航運運輸政策後之外部成本(w=0.2、z=0.2)

(a) 貨櫃車運輸於港口與城市之間

	TEU	車-公里	汙染物排放量 (公噸)					汙染物成本 (美元)	
			PM ₁₀	NO _x	VOC	SO ₂	CO ₂	空氣汙染	二氧化碳
進口	4,218,033	650,254,036	488	6,600	423	195	180,120	219,575,377	4,683,130
出口	5,076,793	808,584,674	606	8,207	526	243	223,978	273,039,881	5,823,427
合計	9,294,826	1,458,838,710	1,094	14,807	948	438	404,098	492,615,258	10,506,556

(b) 經由短程航運運輸轉運於港口與港口之間，在使用貨櫃車運輸於港口與城市之間

	TEU	TEU-公里	汙染物排放量 (公噸)					汙染物成本 (美元)	
			PM ₁₀	NO _x	VOC	SO ₂	CO ₂	空氣汙染	二氧化碳
進口	142,989	30,313,668	5	193	8	40	10,476	3,415,133	272,374
出口	614,276	130,226,512	21	830	34	172	45,004	14,671,296	1,170,108
合計	757,265	160,540,180	26	1,023	42	213	55,480	18,086,429	1,442,481

(c) 短程航運運輸於港口與港口之間

	TEU	TEU-公里	汙染物排放量 (公噸)					汙染物成本 (美元)	
			PM ₁₀	NO _x	VOC	SO ₂	CO ₂	空氣汙染	二氧化碳
基隆港 - 台中港	98,894	20,965,528	1	49	2	11	2,643	926,360	68,715
台中港 - 高雄港	393,344	83,388,928	6	196	8	44	10,512	3,684,532	273,309
基隆港 - 高雄港	460,627	195,305,848	13	460	19	103	24,620	8,629,571	640,118
合計	952,865	299,660,304	20	705	29	158	37,775	13,240,463	982,142

(d) 總排放量與總外部成本

		汙染物排放量 (公噸)					汙染物成本 (美元)		
		PM ₁₀	NO _x	VOC	SO ₂	CO ₂	空氣汙染	二氧化碳	合計
貨櫃車	(a)	1,094	14,807	948	438	404,098	492,615,258	10,506,556	503,121,814
短程航運	(b) + (c)	46	1,729	71	370	93,255	31,326,892	2,424,623	33,751,515
合計	(a) + (b) + (c)	1,140	16,536	1,019	808	497,353	523,942,149	12,931,179	536,873,329

表 5.5 推動短程航運運輸政策後之外部成本(w=0.7、z=0.7)

(a) 貨櫃車運輸於港口與城市之間

	TEU	車-公里	汙染物排放量 (公噸)					汙染物成本 (美元)	
			PM ₁₀	NO _x	VOC	SO ₂	CO ₂	空氣汙染	二氧化碳
進口	3,895,533	566,918,304	425	5,754	368	170	157,036	191,434,875	4,082,946
出口	4,878,592	773,821,422	580	7,854	503	232	214,349	261,301,155	5,573,062
合計	8,774,125	1,340,739,726	1,006	13,609	871	402	371,385	452,736,030	9,656,008

(b) 經由短程航運運輸轉運於港口與港口之間，在使用貨櫃車運輸於港口與城市之間

	TEU	TEU-公里	汙染物排放量 (公噸)					汙染物成本 (美元)	
			PM ₁₀	NO _x	VOC	SO ₂	CO ₂	空氣汙染	二氧化碳
進口	465,489	197,367,336	33	1,258	52	261	68,207	22,235,370	1,773,380
出口	812,477	172,245,124	28	1,098	45	228	59,525	19,405,106	1,547,652
合計	1,277,966	369,612,460	61	2,356	97	490	127,732	41,640,475	3,321,032

(c) 短程航運運輸於港口與港口之間

	TEU	TEU-公里	汙染物排放量 (公噸)					汙染物成本 (美元)	
			PM ₁₀	NO _x	VOC	SO ₂	CO ₂	空氣汙染	二氧化碳
基隆港 - 台中港	98,894	20,965,528	1	49	2	11	2,643	926,360	68,715
台中港 - 高雄港	393,344	83,388,928	6	196	8	44	10,512	3,684,532	273,309
基隆港 - 高雄港	460,627	195,305,848	13	460	19	103	24,620	8,629,571	640,118
合計	952,865	299,660,304	20	705	29	158	37,775	13,240,463	982,142

(d) 總排放量與總外部成本

		汙染物排放量 (公噸)					汙染物成本 (美元)		
		PM ₁₀	NO _x	VOC	SO ₂	CO ₂	空氣汙染	二氧化碳	合計
貨櫃車	(a)	1,006	13,609	871	402	371,385	452,736,030	9,656,008	462,392,037
短程航運	(b) + (c)	81	3,061	125	647	165,507	54,880,938	4,303,174	59,184,112
合計	(a) + (b) + (c)	1,086	16,670	997	1,049	536,892	507,616,968	13,959,181	521,576,149

5.3 二氧化碳排放量之探討

這一小節主要探討本研究在上一小節的分析結果與 Liao et al. (2009)的研究結果有所出入之原因。Liao et al. (2009)的研究為探討台灣國內貨櫃的移動，在使用短程航運運輸前後所產生的二氧化碳排放量，結果顯示推動短程航運運輸政策之後，二氧化碳的排放量減少百分之六十。而本研究結果為在推動短程航運運輸後，如果過度使用短程航運運輸，會使得大部份的空氣汙染物排放量減少(只有 SO₂ 少量增加)，二氧化碳排放量卻是增加的，所以探討如下：

貨櫃車運輸

在計算貨櫃車排放的二氧化碳排放量是與排放因子有關，根據表 5.1 可以知道二氧化碳排放因子 k_j 為 554 公克/車-公里，而 Liao et al. (2009)取的數值為 155 公克/公噸-公里，所以就可以計算出貨櫃車的二氧化碳排放率如表 5.5 所示。

短程航運運輸

當使用不同的引擎，會有不同的油耗，而不同的油耗就會產生不同的空氣汙染排放物與二氧化碳，所以汙染物排放量的多寡與 fc_i^s (油耗 i 每 TEU-公里)、 k_j (使用油耗 i 產生空氣汙染物 j 的排放因子)兩個變數數值有關，下面就針對這兩個變數數值做分析，分析過程如下：

首先，根據表 5.2(a)，二氧化碳 fc_i^s 的數值為重油每 TEU-km 消耗 0.00010369034 公噸、柴油每 TEU-km 消耗 0.00000532656 公噸； k_j 為重油與柴油的排放因子皆是 3.17 公噸，而船的裝載容量為 1660TEU，航行速度為每小時 19 海浬(36.1335 公里)，所以就可以計算出船的油耗為每小時多少公噸，計算方式如下：

$$fc_i^s = \frac{F_i^s}{C^s \times S^s} \quad (45)$$

fc_i^s ：油耗 i 每 TEU-km 的消耗量

F_i^s ：船每小時消耗多少公噸的油耗

C^s ：船的裝載容量

S^s ：船的航行速度

k_j^s ：汙染物 j 的排放因子

根據上式(45)，就可以得到重油每小時消耗 6.22 公噸，柴油每小時消耗 0.32

公噸，之後就可以計算出二氧化碳的排放率，計算方式如下：

$$CO_2 \text{ Rate} = \frac{\sum fc_i^s \times k_j^s}{C^s \times S^s} \quad (46)$$

根據上式，就可以得到短程航運每 TEU-公里排放二氧化碳 0.3456 公斤。

另外，Liao et al.(2009)取得變數數值根據表 5.2(b)可以知道重油每小時消耗 0.81 公噸，柴油每小時消耗 0.14 公噸； K^s 是重油與柴油的排放因子，為重油 3.11 公噸、柴油 3.1 公噸，而船的裝載容量為 444TEU，航行速度為每小時 15 海浬 (27.778 公里)，之後根據計算式(46)，可以得到短程航運每 TEU-公里排放二氧化碳 0.2143 公斤。

表 5.6 二氧化碳排放率

單位：(公斤/TEU-公里)

文獻	貨櫃車	短程航運	附註
本研究	0.277	0.3456	--
Liao et al. (2009)	0.5425	0.2143	假設貨櫃車 1TEU = 3.5 公噸

最後根據表 5.6 就可以知道 Liao et al. (2009)貨櫃車的二氧化碳排放率比本研究多了大約 2 倍；在短程航運的部份，本研究比 Liao et al.(2009)多了大約百分之 60，所以當推動短程航運運輸之後，運送方式從貨櫃車轉移至短程航運之後，就會造成了較多的二氧化碳排放量。

第六章、結論與建議

高雄港由於自然條件優越與港內腹地遼闊，有很好的競爭優勢，為台灣主要的國際貿易港口，但是由於貨源集中在北部地區，而北部地區的主要國際貿易港口為基隆港，但是基隆港因為港內腹地有限且聯外運輸系統較不方便，所以港口的服務水準無法負荷，航商就紛紛把貨櫃遷往高雄，就造成了大量的「北櫃南運」、「南櫃北運」的問題。

因此本研究建立了一個複合運輸模型來了解台灣國內貨櫃在港口與各縣市之間的移動，以及在不同情境下，比較使用貨櫃車與短程航運兩種運具分別所造成的外部成本，看是否會有使用運具轉移的情況發生，政府可以根據本研究的結果做為訂定推動短程航運輸政策的參考依據；另一方面，因為複合運輸模型的目標是最小化運輸成本及外部成本，所以業者可以根據本研究的結果，來決定要使用貨櫃車或是短程航運運輸來運送貨櫃。

6.1 結論

提升短程航運措施之結果

目前在台灣國內港口與縣市之間貨櫃的流動，皆是使用貨櫃車運輸，貨櫃量為 10,052,091TEU。如果當外部成本內部化後，則使用貨櫃車運輸的貨櫃量下降至 9,294,826TEU，並且開始使用短程航運運輸轉運貨櫃，貨櫃量為 757,265TEU。如果政府讓航商有優先靠泊制度予以優惠，則使用貨櫃車運輸的貨櫃量下降至 9,294,433TEU，並且開始使用短程航運運輸轉運貨櫃，貨櫃量為 757,658TEU。

如果同時將外部成本內部化並且讓航商有優先靠泊制度予以優惠，則使用貨櫃車運輸的貨櫃量下降至 9,197,984TEU，使用短程航運運輸轉運的貨櫃量增加至 854,107TEU。另外在上述情境下，如果讓北部港口的容量從 250 萬 TEU 擴充至 300 萬 TEU，則使用貨櫃車運輸的貨櫃量下降至 8,964,482TEU，使用短程航運運輸轉運的貨櫃量增加至 1,087,609TEU。

根據以上的結果，可以發現如果分別讓外部成本內部化或政府讓航商有優先靠泊制度予以優惠，在國內港口與縣市之間會開始使用短程航運運輸轉運貨櫃，並且會有運具使用轉移的情況發生。那如果同時將外部成本內部化以及讓航商有優先靠泊制度予以優惠，就能夠提高短程航運運輸的使用。最後，如果當北部港口容量不足時，擴充北部港口容量，就能更進一步地提高短程航運運輸的使用，反之，如果當北部港口還有剩餘的容量空間，則就不會使用短程航運運輸來轉運貨櫃。

外部成本分析之結果

在外部成本方面，在尚未推動短程航運運輸政策，貨櫃之間的移動所造成的總外部成本約為每年 639.79 百萬美元，當推動短程航運運輸政策後，在外部成本內部化的權重因子 w 提高為 0.2、航商優先靠泊之優惠因子 z 提高為 0.2 的時候，貨櫃之間的移動所造成的總外部成本減少為每年 536.87 百萬美元。從污染物排放量來看的話，推動短程航運運輸政策後，在外部成本內部化的權重因子 w 提高為 0.2、航商優先靠泊之優惠因子 z 提高為 0.2 的時候，大部份的空氣污染物(只有 SO_2 少量增加)與二氧化碳的排放量皆為減少，但是在外部成本內部化的權重因子 w 提高為 0.7、航商優先靠泊之優惠因子 z 提高為 0.7 的時候，確會造成二氧化碳排放量的增加。

造成二氧化碳排放量上升的原因，因為如果使用過多的短程航運運輸，造成原本使用貨櫃車運送的貨櫃轉移至使用短程航運，而船隻的裝載容量比貨櫃車還大許多，所以造成的油耗是比貨櫃車來高的許多，另外根據使用的引擎種類，會有不同的油耗，也就會產生不同的空氣汙染排放物與二氧化碳。

總結

發展短程航運運輸之主要目的為不需要增加政府之投資就能紓解大量的南北貨櫃密集之車流所產生的交通與能源之問題，所以在社會總體成面來看，短程航運運輸政策的推動是具有相當大的社會效益，不過在航商的角度，時效性較陸運為差，沒有足夠的獲利空間，那使用短程航運運輸的意願就有限。所以政府應該對於公用碼頭持續保留使用短程航運運輸的優惠費率，而對專用碼頭之使用限制應給予放寬，降低航商之成本，才能提高航商使用短程航運運輸的意願，鼓勵航商使用短程航運運輸這項對社會具有效益之作業。

最後，根據本研究的結果為適當的使用短程航運運輸來轉運貨櫃，確實是可以降低運輸成本與環境成本以及空氣汙染物與二氧化碳的排放量，但是如果過度使用短程航運運輸，則會造成二氧化碳排放量的增加，可能就會造成溫室效應，帶給環境很大的負擔，所以如果當有大量的「北櫃南運」、「南櫃北運」問題時，在利用短程航運運輸來紓緩高速公路的密集車流，與密集車流所帶來的環境問題。

6.2 建議

目前台北國際商港已經在民國八十八年開放營運，而台北港的港埠我定位為基隆港之輔助港、北部地區遠洋貨櫃航線主要港口、北部地區大宗散貨主要進口港以及為自由貿易港，以發展遠洋貨櫃中心，短程航運之主要港阜及發展為國際物流中心，紓解北櫃南運之內陸交通壓力等作為主要建港目標。目前台北港仍持續在進行擴建，投資興建 7 座貨櫃碼頭及後線倉儲設施，所以在台北國際商港營運後，會吸引主航線之船舶而降低南北貨櫃運輸量，對使用短程航運運輸將有正面之影響，北部地區提供現代化之港阜對整體社會有相當大之效益，後續的研究可以探討在台北國際商港開始營運之後，會對使用短程航運運輸造成什麼樣的影響。

另外，大量的「北櫃南運」、「南櫃北運」貨櫃流動造成內陸運輸系統的重大負擔，也影響到了高速公路的服務水準，造成了高速公路某些路段擁擠的情況發生，所以在之後的研究也可以計算擁擠成本，將擁擠成本的計算結果加入探討。



參考文獻

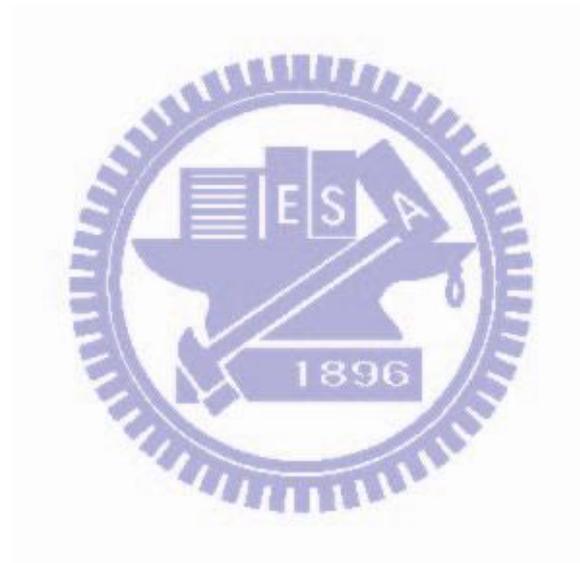
- 張有恆，*現代運輸學*，華泰文化，民國九十四年，頁 24-28。
- 交通部運輸研究所，「藍色公路之探討與評估(二)—台灣地區環島航運貨櫃運輸發展可行性之研究」，民國八十九年。
- 周建張，「臺灣地區國際港埠貨櫃吞吐量分配模式—兼談臺灣地區進出口貨櫃南北轉運問題」，*運輸計畫計刊*，第三十四卷，第四期，頁 501-524。
- 交通部統計處，「交通統計要覽」，民國九十六年。
- 交通部統計處，「汽車貨運調查報告」，民國九十六年。
- Abdulaal, M. a. L., L.J. (1979) Continuous equilibrium network design models. *Transportation Research Part B: Methodological*, 13(1), 19-32.
- APEC (2007) *Short sea shipping Study: a report on successful SSS models that can improve ports' efficiency and security while reducing congestion, fuel costs, and pollution*, Research report, October 2007.
- Barnhart, C. and Ratliff, H. D. (1993) Modeling intermodal routing. *Journal of Business Logistics*, 14, 205–223.
- Corbett, J.J., Koehler, H.W. (2003) Updated emissions from ocean shipping. *Journal of Geophysical Research*, 108, 4650–4665.
- Corbett, J.J., Fischbeck, P.S., Pandis, S.N. (1999) Global nitrogen and sulfur emissions inventories for oceangoing ships. *Journal of Geophysical Research*, 104, 3457–3470.
- Deniz, C. and Durmusoglu, Y. (2007) Estimating shipping emissions in the region of the Sea of Marmara, Turkey, *Science of the Total Environment*, 390(1), 255–261.
- Forkenbrock, D. (1999) External costs of intercity truck freight transportation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33(7-8), 505-526.
- INFRAS/IWW (2004) *External Costs of Transport: Update Study*. Commissioned by UIC, Paris.
- Intergovernmental Panel Climate Change (1997) Greenhouse Gas Inventory Reference Manual (Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol. 3), Intergovernmental Panel Climate Change, Paris.
- Kim, H.-J., Chang, Y.-T., Lee, Paul T.-W., Shin, S.-H. and Kim, M.-J. (2008)

- Optimizing the transportation of international container cargoes in Korea. *Maritime Policy & Management*, 35(1), 103-122.
- Laih, C.H., Yang, P.C., Tzeng, C.L. and Pai, C.Y. (2002) Modeling the auto-commuters' time values. *Transportation Planning Journal*, 32(3), 479-492.
- Lee, P. T.-W., Hu, K.C and Chen, T. (2010) External Costs of Domestic Container Transportation: Short-Sea Shipping versus Trucking in Taiwan. *Transport Reviews*, 30(3), 315-335.
- Liao, C.H., Tseng, P.H., Lu, C.S. (2009) Comparing carbon dioxide emissions of trucking and intermodal container transport in Taiwan. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14, 493–496.
- Lu, I.J., Lin, S.J., Lewis, C. (2007) Decomposition and decoupling effects of carbon dioxide emission from highway transportation in Taiwan, Germany, Japan and South Korea. *Energy Policy*, 35, 3226–3235.
- Lu, I.J., Lewis, C., Lin, S.J. (2009) The forecast of motor vehicle, energy demand and CO2 emission from Taiwan's road transportation sector. *Energy Policy*, 37, 2952–2961.
- Mayeres, I., Ochelen, S., and Proost, S. (1996) The marginal external costs of urban transport. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 1(2), 111-130.
- OECD (1999) *Environmentally Sustainable Transport in the CEI Countries in Transition*. Final Report (Paris: OECD).
- OECD (2002) *Electronic Mileage And Transport Data Provided*. Final Report (Paris: OECD).
- Ozbay, K., Bartin, B., Yanmaz-Tuzel, O., and Berechman, J. (2007) Alternative methods for estimation full marginal costs of highway transportation. *Transportation Research part A*, 41(8), 768-786.
- Paixao, A., & Marlow, P. (2002) Strengths and weaknesses of short sea shipping. *Marine Policy*, 26(3), 167-178.
- Paixao, A.C. (2008) Motorway of the sea port requirements: the viewpoint of port authorities. *International Journal of Logistics: Research and Application* 11 (4), 279–294.
- Piecyk, M. and McKinnon, C.M. (2007) Internalising the external costs of road freight transport in the UK. Technical Report, Heriot-Watt University.
- TRB (Transportation Research Board). (1995) *Expanding Metropolitan Highways: Implications for Air Quality and Energy Use*. Special Report 245 (Washington,

DC: National Academy Press).

Trozzi, C. and Vaccaro, R. (1998) Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships, in: *Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Transport*. TECHNE Report, RF98.

van Essen, H. P., Boon, B. H., Maibach, M. and Schreyer, C. (2007) *Methodologies for External Cost Estimates and Internalization Scenarios*. Discussion paper for the Workshop on Internalisation, CE Delft and INFRAS, Oude Delft, Delft, The Netherlands.



簡歷



姓名：賴冠豪

生日：民國 76 年 9 月 14 日

住址：台中市北屯區修齊街 22 巷 10 號

電話：(04)22447519

E-mail：bart7519@gmail.com

學歷：

民國 100 年 6 月 國立交通大學 運輸科技與管理學系碩士班 畢業

民國 98 年 6 月 逢甲大學 運輸科技與管理學系 畢業

民國 94 年 6 月 國立大里高級中學 畢業