國　立　交　通　大　學

運輸與物流管理學系

碩　士　論　文

考量上游運輸整合之物流中心區位設置問題

A Distribution Center Location Problem with the Integration of Upstream Transportation

研究生：陳彥蓉

指導教授：黃寬丞 副教授

中華民國一〇三年一月

考量上游運輸整合之物流中心區位設置問題

A Distribution Center Location Problem with the Integration of Upstream Transportation

研 究 生：陳彥蓉　　Student：Yen-Jung Chen
指導教授：黃寬丞　　Advisor：Kuancheng Huang

國 立 交 通 大 學
運 輸 與 物 流 管 理 學 系
碩 士 論 文

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

January 2014

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇三年一月

考量上游運輸整合之物流中心區位設置問題

學生：陳彥蓉　　指導老師：黃寬丞 副教授

國立交通大學運輸科技與管理學系

摘　要

跨國企業在進入新興市場(如中國大陸、印度、巴西等地)，初期偏重於生產設施以及上游原物料、零件供應系統的建置，而將內需市場委由熟悉當地市場的在地公司做代理，利用其物流體系，進行配銷的工作，當跨國企業進入新興市場一段期間後，對於當地市場需求、經營環境有所瞭解，為提升客戶的服務品質以及增加企業的營收，極有可能著手開始建構及規劃其物流系統。以此為前提下，本研究考量物流中心設置區位問題，以四層物流系統架構為基礎，給定已知的供應商、工廠以及零售商區位，並將供應商至工廠、工廠至物流中心運量整合決策納入其中。本研究建構一混合整數規劃模型，並利用拉氏鬆弛法發展了一套演算法的求解機制，由數值測試結果可得知，利用拉氏鬆弛演算法可於有效的時間內求得近似最佳解。

關鍵字：供應鏈管理、物流中心、區位分析、拉式鬆弛法、啟發式演算法

A Distribution Center Location Problem with the Integration of Upstream Transportation

Student: Yen-Jung Chen Advisor：Kuancheng Huang

Department of Transportation and Logistics Management
National Chiao Tung University

Abstract

When entering an emerging market (such as China, India, and Brazil), an international company may initially focus on establishing the production plants as well as the upstream parts/raw material supply system and relay on local companies to be the sales agents taking care of the outbound physical distribution. However, once getting familiar with the business environment, the international company may consider to build up its own distribution system to improve profit margin and customer service. Under this context, based on a distribution system with four layers, this study deals with the location problem of the distribution centers (DCs), given the fixed locations of the suppliers, the plants, and the retailers. In particular, the integration of the supplier-plant and plant-DC transportation is a crucial factor in this strategic location decision problem. This study developed an mixed-integer programming (MIP) model and designed a heuristic solution algorithm based on Lagrangian Relaxation. In the numerical experiment, the solution quality of the developed algorithm was found to be close to optimality, and the computation time is acceptable in terms of strategic decision.

Key Words: Supply Chain Management, Distribution Center, Location Analysis, Lagrangian Relaxation, Heuristics

誌謝

想起當初從海大推甄上交大碩士班，開啟在交大運管系的研究生涯，回首這二年的點點滴滴，心中頓時覺得莫名感動，因為一路走來，身邊的朋友、同學和師長的協助與鼓勵，讓我得以順利完成學業，有好多感謝的話語想對你們說。

首先感謝我的論文指導老師—黃寬丞老師。有幸在大學畢專老師的強烈推薦下，得以認識黃老師，讓我不僅在老師的課堂中學習不少專業知識，也增加英語報告的能力，而從事論文研究時，老師總是細心、仔細的講解，並且引導我如何切入問題，尋找有價值的研究內容，每當有問題不知該如何解決時，老師總是會不厭其煩的與我討論並給予建議，與老師相處之下，學得不只有如何做好論文而已，更深遠地，還有做事的正面態度，以及如何樂在其中，這樣才能一步一步的把事情做好，從老師身上學習的這些寶貴經驗，是相當受用且珍貴的。最後還要感謝在老師的鼓勵下，讓我邁開步伐到歐洲當交換生，完成留學的美夢！

接下來，當然要感謝研究室三帥：一哥(儀安學長)、二哥(逸銘學長)、嘴哥(季佑學長)，你們不僅在課業上給予協助，在日常生活中也帶給我不少歡樂，謝謝你們陪伴我短暫的一年時光，我真的超愛你們的啦！感謝婉葶學姊、家誼學姊、筱薇學姊對我的鼓勵，能夠認識你們真好，還有感謝我可愛的學妹怡卉、圓圓的學弟陸衡、人帥真好的學弟紹青、淘寶魂的學妹怡婷，謝謝你們在我碩二時，給予我這個孤單老人溫暖，也讓我走進開心的 Buy-together 世界，還有感謝一直說我是海陸出身的小季，謝謝你賜予我「蓉哥」的美名，讓我得以在運管系流傳。此外，謝謝清大一哥黃正宇，感謝你百忙之中抽空教我如何撰寫程式並且與我討論，幫助我解決程式的疑難雜症，還有要謝謝林律，每當我覺得憂鬱、煩躁時，總會陪在我身邊，給我加油打氣，帶給我力量面對困難！

最後，感謝我的家人，感謝我的母親，不辭辛勞的努力工作，為的是讓我安心的學習，還有感謝因罹癌而過逝父親，謝謝您從小的栽培，希望您在天上有看到我的努力以及我對您的思念。

Thanks for the guys who had been care of me. Thank you！

陳彥蓉(蓉哥) 謹誌於

國立交通大學運輸科技暨管理學系 KC lab

中華民國 103 年 01 月 03 日

目　錄

中文摘要 i

英文摘要 ii

誌謝 iii

目　錄 iv

表目錄 v

圖目錄 vi

第一章 緒論 1

1.1 研究背景與動機 1

1.2 研究範圍與目的 2

1.3 研究方法與流程 4

第二章 研究背景與文獻回顧 6

2.1 區位問題回顧 6

2.2 基本區位模式回顧 8

2.3 結合運輸之區位分析研究—整合下游零售商問題回顧 12

2.4 結合運輸之區位分析研究—整合上游供應鏈問題回顧 14

2.5 拉式鬆弛法之概述 17

第三章 模式建構與求解方法 20

3.1 本研究數學模式介紹 20

3.2 拉式鬆弛模型及求解 22

3.3 產生可行解及拉式乘數更新 23

第四章 數值測試 26
4.1 例示性測試問題 26
4.2 小型測試例題 30
4.3 大型測試例題 34
參考文獻 39
附錄一 工廠、物流中心、零售商三個階層之區位模式 42
附錄二 設施容量與成本的模式 43
附錄三 數值測試結果資料 44

表目錄

表 2-1　區位問題種類整理 6
表 2-2　區位問題分類項目 7
表 2-3　區位路線問題分類原則表 13
表 2-4　本研究與 Zhu 之問題彙整比較表 16
表 4-1　例題設計選定地點 27
表 4-2　小型例題測試結果 31
表 4-3　大型例題測試結果 34
表 4-4　R2 成本結構表(例題 15) 35
表 4-5　R4 成本結構表(例題 3) 36

圖目錄

圖 1-1　供應鏈主題分類 2
圖 1-2　區位路網階層示意圖 3
圖 1-3　回頭車情形示意圖 3
圖 1-4　研究流程圖 5
圖 2-1　顧客接受服務方式 12
圖 2-2　區位、指派與路線三者之關係 12
圖 2-3　整車路線示意圖(左)及越庫中心之使用(右) 14
圖 2-4　三角狀運送方式 16
圖 3-1　本研究拉式鬆弛法求解流程示意圖 25
圖 4-1　數學模式階層關係圖 26
圖 4-2　區位模型 Model I 之結果示意圖 28
圖 4-3　區位模型 Model II 之結果示意圖 28
圖 4-4　本研究區位模型 Model III 之結果示意圖 29
圖 4-5　物流中心潛在區位產生方式 30
圖 4-6　R1 類和 G1 類例題之 Gap^S 折線圖 31
圖 4-7　R1 類例題之運量整合前後總成本變化折線圖 31
圖 4-8　R1 類例題之求解時間比較折線圖 32
圖 4-9　G1 例題 7 整合前後區位選擇結果比較 33
圖 4-10 成本結構組成示意圖 35
圖 4-11 R2 成本結構圖(例題 15) 35
圖 4-12 R4 成本結構圖(例題 3) 36
圖 A-1 設施建構成本之示意圖 43

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

物流包含著「物」盡其用，貨暢其「流」之理想，依據中華民國物流協會的詮釋：「物流是一種物的實體流通活動的行為，在流通過程中，透過管理程序有效結合運輸、倉儲、裝卸、包裝、流通加工、資訊等相關物流機能性活動，以創造價值、滿足顧客及社會需求。」，因此，也可簡單的說明，物流是物品從生產地至消費者或使用地點的整個流通過程(台灣物流年鑑，經濟部商業司民國 93 年)，其最終目的為創造顧客之價值。

面對動態環境下，企業物流經理欲進行供應鏈路網規劃時，首要需對於已知之供應商、工廠及其需求進行了解，以往工廠的設置區位，若未考量與其上游供應商和下游需求點之間流量的關係，極容易造成運輸資源的浪費。為有效處理此情況，物流中心(Distribution Center, DC)的區位設置便成為供應鏈設計之重要的一環；然而，除了設施的區位決策外，如何整合流設施間的運輸作業，以提升運具之使用效率為企業之努力的目標。

一般貨運業業務分為二種，其一為整車形式(Truck-load, TL)，如何有效減少空車運送的時間與距離為其重要之議題，其二為零擔形式(Less than Truck-load, LTL)，其重要之議題為貨車裝載指派、取貨及送貨日程與途程安排等內容。另外，企業之運輸作業未必全數外包，若有自有車隊，很多也利用整車運輸的方式運送。整車運輸一般而言很容易會產生空車運輸之情況，其主要發生於貨物運送至顧客後回程之時，此現象稱為車空回(deadheading)。回程之空車降低車輛的使用率，也增加了運送成本，倘若能了解並控制此現象之發生，將有助於企業提升物流系統的競爭力，Yildiz et al. (2010) 就曾提出結合入向物流(Inbound Logistics)和出向物流(Outbound Logistics)的觀點，目的為解決上述之空車回程所導致運量不均之情形。

根據美國供應鏈管理專業協會(Council of Supply Chain Management Professionals, CSCMP)，將整體物流費用主要分為運輸費、存貨持有費、以及行政管理費用等三部份。歷年來，台灣在物流費用的成本中，以存貨成本所佔比例較高，然而運輸成本又有逐年升高之趨勢(李淑秋，民國 98 年)，可見企業若想降低其成本，勢必重視如何有效整合運輸配送及其物流中心的區位議題。

本研究針對上游供應商與工廠及工廠與物流中心問題之運量整合，將其納入物流中心區位選址之議題進行物流路網的規劃，以減少空車回程所造成的資源浪費，並求解出合適之物流中心設置區位，乃為本研究所欲探討的核心課題。

1.2 研究範圍與目的

物流與供應鏈的核心主題，如 Ballou (2003)書中所述，可分為四個部份：第一部分、顧客服務目標(Customer Service Goals)：探討物流服務與其訂購系統、資訊系統等內容；第二部分、運輸策略(Transport Strategy)：探討運具的選擇、定價方式、運輸決策等內容；第三部分、存貨策略(Inventory Strategy)：探討如何進行預測、存貨決策、採購與供應規劃等內容；第四部分、區位策略(Location Strategy)：探討區位選擇、路網規劃過程等內容，如下圖 1-1 所示：

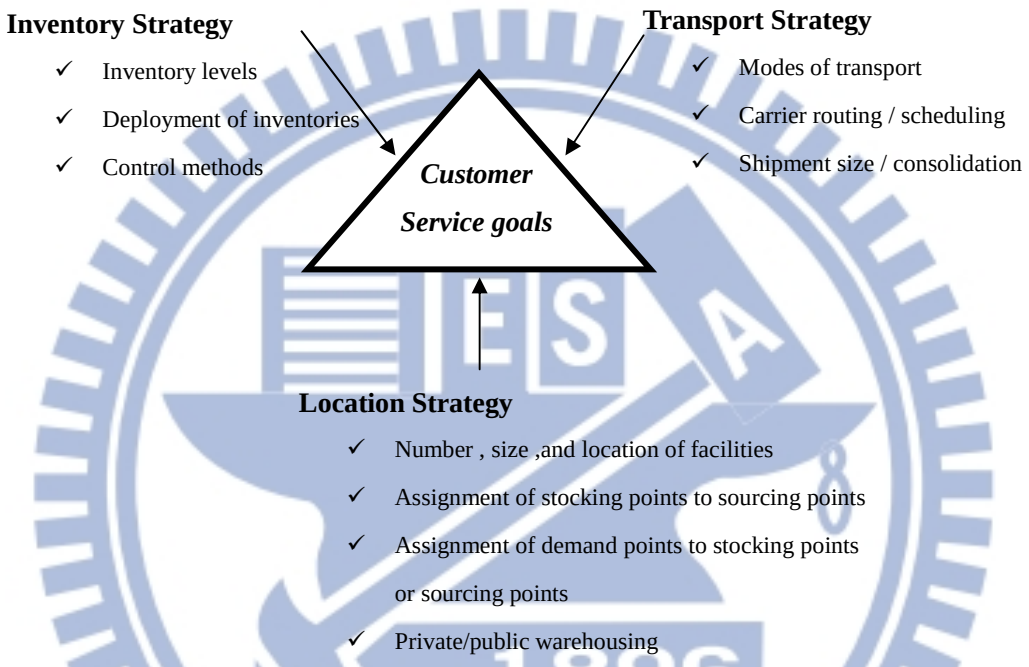


圖 1-1 供應鏈主題分類

資料來源: Ballou , 2003

學者對於研究物流與供應鏈問題時，其主題不難偏離上述的分類原則，主題可單獨或者整合研究。在此，本研究針對區位問題結合運輸問題而探討，此類典型問題稱為區位路線問題(Location-Routing Problem)，即區位問題(Location Problem)結合車輛路線問題(Vehicle Routing Problem)之研究。

然而，本研究則探討整合供應鏈上游運輸作業的物流中心區位分析問題，不同於以往區位路線問題針對下游需求點運量整合的情形，過去對於此問題著墨甚少。有關本研究之物流系統所包含的階層(echolone)，如圖 1-2 之示意圖所示。

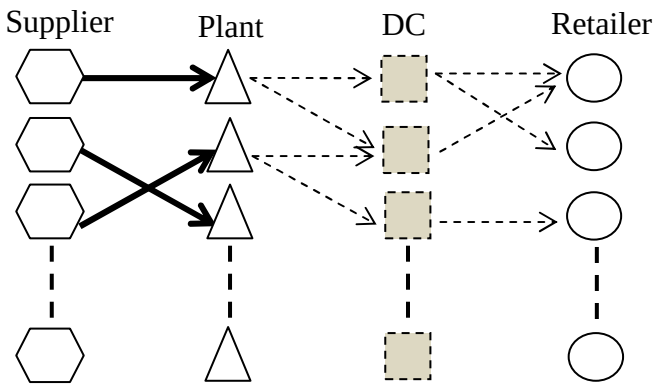


圖 1-2 區位路網階層示意圖

本研究的物流系統包含四個階層，由上游至下游分別為：供應商(Supplier)、工廠(Plant)、物流中心(DC)和零售商(Retailer)。其中，上游之供應商與工廠已經固定，粗實線則表示已知供應商到工廠的原物料運送，而虛線所表示為未知商品流向及候選物流中心的設置區位，最末階層則為已知的下游零售業或客戶。

許多國際企業在進入新興市場(例如：中國大陸、俄羅斯、印度、巴西等地)，大多是被當地低廉的生產成本以及龐大的內需市場所吸引。然而，在進入市場的初期，通常會偏重於生產設施、以及上游原料或零件供應系統的建置，亦即所謂入向物流(Inbound Logistics)的部分；而將內需市場委由熟悉當地市場的在地公司做代理，利用其物流體系，進行配銷的工作，即所謂的出向物流(Outbound Logistics)。然而，當跨國公司進入新興市場一段時間後，對於當地市場需求、經營環境有所瞭解，為提升客戶的服務品質以及增加企業的營收，極有可能著手開始建構及規劃其物流系統。因此，物流中心的設置規劃就是第二階段最重要的課題，故本研究將此情境下的物流中心區位設置問題，做為本研究的核心。

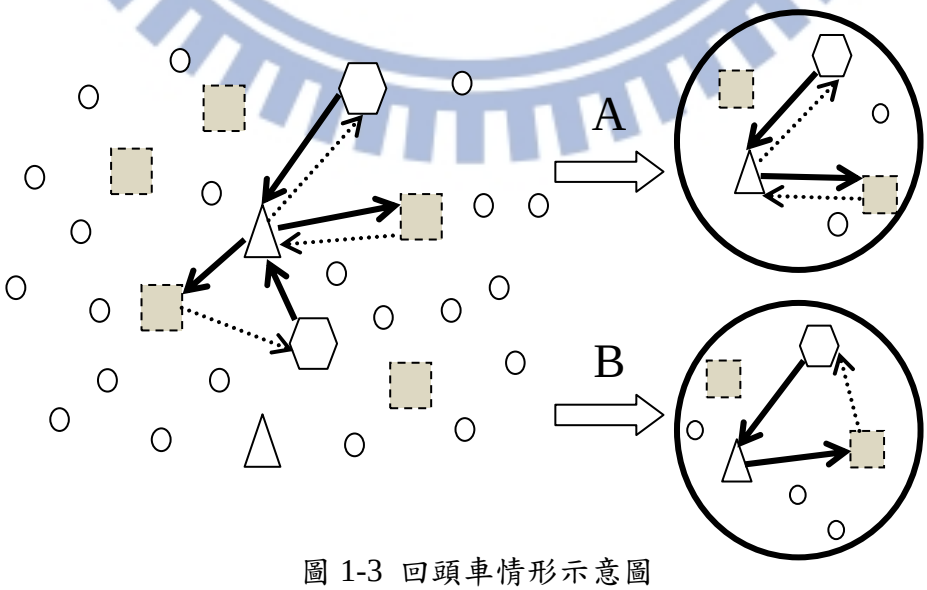


圖 1-3 回頭車情形示意圖

本研究所考量的上游運輸整合，其實際情況可用圖 1-3 來表示。圖中六邊形所表示為供應商、三角形為工廠、正方形為候選之物流中心、圓形則為需求點；其中，連接各圖形之方向線，實黑線表示為已知原物料供給流向，點虛線為空車回程之方向。由圖中觀察可發現，供應商至物流中心有兩種情況：其一、供應商與工廠分別將其原料與商品運送至下游而後空車返回(圖 1-3A)；其二、供應商將零件送至工廠卸貨後，再從工廠運送商品至物流中心，最後再空車回到供應商(圖 1-3B)。

由上述說明可發現，第二種方式(圖 1-3B)針對「供應商—工廠」、「工廠—物流中心」兩段運輸進行整合，車輛使用率相對提高，然而為達到此一運送方式的最大效益，本研究認為必須將兩段運量整合的因素，納入物流中心的設置決策中，方能系統性地改善整體供應鏈的運作，以達到成本最小化的目標。

1.3 研究方法與流程

在研究方法的流程上，首先確立研究目的與範圍，如本章節 1.1 所述，進而搜尋相關文獻研讀其內容及方法，之後便定義問題並建立本研究之數學模型，再根據此一數學模型建構有效的演算法。最後，以適當的例題驗證其數學規劃模式與求解方法的適當性，本研究擬定之流程圖如圖 1-4 所示：

本研究主要研究項目如下所列。

1. 確立研究目的與範圍
2. 蒐集本研究之相關文獻與回顧
3. 定義問題並建構本研究之數學模式
4. 建構本研究可行之演算法並進行程式撰寫
5. 例題測試及其結果討論

研究目的與範圍之確立
相關文獻蒐集與回顧
決策問題的分析及其定義
本研究數學規劃模型之建構
本研究數學規劃模型之
求解演算法建構
程式撰寫
例題測試
演算法調整
研究成果及結論

圖 1-4 研究流程圖

第二章 研究背景與文獻回顧

本研究相關文獻回顧，首先在 2.1 節回顧區位問題，說明其緣由及種類，於 2.2 節回顧傳統區位模式，將其經典的數學模式予以介紹，2.3 節與 2.4 節將針對結合運輸之區位分析文獻進行介紹，在 2.3 節回顧整合下游零售商問題進行分類介紹，2.4 節回顧整合上游供應鏈問題，於此節中介紹與本研究相近之文獻回顧，並說明其異同，最後，2.5 節則概述拉氏鬆弛法之應用內容，整理相關文獻並說明其放鬆問題之原理。

2.1 區位問題回顧

區位理論始於 1909 年，由德國經濟學家 Alfred Weber 為研究如何設置倉庫地點，以最小化顧客與倉庫間的總距離而提出，其所著《工業區位理論(Industrial Location Theory)》首次系統地論述了工業區位理論，創建了現代工業區位理論的基礎，以區位理論為基礎的相關研究也因此發展開來。Farahani *et al.* (2009) 書中談及區位問題的應用範圍相當廣泛，其中包含決定倉庫設置地點以最小化至銷售點的平均時間外、決定有毒物質放置地點以求最大化與大眾之間的距離、決定設置提款機的位置以提供更好的服務品質等現實生活中所需處理的問題。

區位問題可依據問題的特性、設施數量的大小、目標函數或其他決策的需要，而建構出不同的區位模型，該書所提出的區位問題如下表 2.1 所示：

表 2-1 區位問題種類整理

區位問題的種類		
單一設施區位問題 Single Facility Location Problem	中心問題 Center problem	動態區位問題 Dynamic Facility Location Problem
多設施區位問題 Multifacility Location Problem	層級區位問題 Hierarchical Location Problem	多準則區位問題 Multi-Criteria Location Problem
區位指派問題 Location Allocation Problem	轉運點區位問題 Hub Location Problem	區位路線問題 Location-Routing Problem
二次指派問題 Quadratic Assignment Problem	競爭區位問題 Competitive Location Problem	存貨系統設置問題 Storage System Layout
涵蓋問題 Covering Problem	倉庫區位問題 Warehouse Location Problem	區位存貨問題 Location-Inventory Problem
中位問題 Median Location Problem	有害物區位問題 Obnoxious Location Problem	供應鏈中設施區位問題 Facility Location in Supply Chain

資料來源: 本研究整理 Farahani *et al.* , 2009

過往研究如 Owen *et al.* (1998)、Revelle *et al.* (2005)、Snyder (2006)等眾多文獻皆對於設施區位分析之議題與種類做介紹，在此以較新且較完整的 Melo *et al.* (2009)為基礎作回顧。該篇指出設施區位的決策對於供應鏈路網設計扮演的重要的角色，一般而言，設施區位問題其組成包含散布於空間中的顧客集合與服務顧客之設施集合，而需解決的問題為:

1.哪些設施需被使用(設置)？
2.需求要被哪些設施滿足以達到最小化成本？

在供應鏈路網設計中，根據不同時程範圍，規劃層級主要可分為三種:策略(Strategic)、戰術(Tactical)、作業(Operational)。其中，策略層級的決策影響著公司長期的運作，而區位選擇在此扮演著重要的角色，也與供應鏈設計有著密不可分的關係，一個好的區位模型需支撐供應鏈路網設計，因此，在區位模型中需清楚反應問題的情況以改善整體供應鏈的環境，文中將區位問題依照架構之層數(layer)、區位決策之層數、期間長短、參數的性質來分類，整理結果如表 2-2 所示：

表 2-2 區位問題分類項目

分類項目	內容
架構之階層數	單階層、二階層、三階層以上
區位決策之層數	單層、二層、三層以上
期間	單一期間、多期間
參數性質	確定、隨機

資料來源: 本研究整理 Melo *et al.*, 2009

文中約彙整一百多篇文獻，架構層數為單層或二層的約佔 80%，其中大約三分之二的區位決策為單層，而處理單一期間問題的文獻約佔 82%；參數性質為確定者佔 80%，與隨機相比之下高出有四倍之多。

供應鏈的複雜性會受到計劃期間的決策因素所影響，典型的決策因素如容量、存貨、採購、生產、路線和運輸的選擇方式等等，設施區位問題可與上述不同決策因素所結合。目前於眾多研究當中，以結合存貨來說，Daskin *et al.* (2002) 將物流中心區位問題，結合庫存與安全存貨成本的議題，也考量供應商將產品運送至物流中心之運輸成本，建構出一非線性整數規劃模型，並利用拉氏鬆弛法進行求解。Shen *et al.* (2003) 考量一聯合區位存貨問題 (Joint location-inventory problem)，為減少各別零售商安全庫存成本，考慮將某些零售商當作物流中心(存貨點)來使用，並且在確保服務水準的條件下，求解出物流中心的地點與數目、供應商指派方式、再訂購點的頻率和安全庫存水準，以達到最小化區位、運輸、存貨成本。Snyder *et al.* (2007) 建構 SLMRP 模型 (stochastic version of location model with risk pooling)，研究參數在不同情境的改變下，求解出物流中心區位、存貨、配置等決策，進而計算出最小化成本。

另一方面，隨著全球化經濟創造更多向外發展的機會，商業活動日趨熱絡，國際間的供應鏈設計更顯的重要，與財務相關的議題也加深影響著供應鏈的環境，因而將設施區位模型考量財務因素，如稅率、關稅、風險管理等研究也應運而生，但本研究係由運輸之結合為研究重點，並未考慮上述之其它因素。

2.2 基本區位模式回顧

由表 2-1 可得知區位問題種類相當廣泛，數學模式也依照問題的需求而有所不同，其中 Klose *et al*. (2005)曾回顧多品項(Multi-product models)、動態(Dynamic models)、連續區位模式(Continuous location models)等相關區位問題之數學模式，而探究其基本區位模式之建構，在此僅介紹涵蓋問題、中心問題、中位問題，以及固定設施區位問題此四類經典區位模式。

1. 涵蓋問題

Farahani *et al.* (2009)指出在眾多涵蓋問題中，顧客是否能接受服務取決於顧客與設施之間的距離，當兩者間的距離小於或者等於某一預先設定的數值，顧客即可被設施所服務，而此一重要的數值稱為涵蓋距離(coverage distance)或涵蓋半徑(coverage radius)，涵蓋距離可表示為時間或成本等意涵，此類問題目標為追求最小化設施設置總成本。以下利用數學模型來說明數學符號及其限制式的意義：

【符號與參數】

i ： 表需求點。

j ： 表設施點。

a_{ij} ： 若設施點 j 可以涵蓋到需求點 i 時值為 1，否則為 0。

f_j ： 設施點 j 的設置成本。

【決策變數】

X_j ： 若候選設施點 j 設置時值為 1，否則為 0。

【數學模式】

$$Minimize \quad \sum_{j=1}^{n} f_j X_j \tag{2.1}$$

$$Subject\ to \quad \sum_{j=1}^{n} a_{ij} X_j \geq 1 \qquad \forall i \tag{2.2}$$

$$X_j = 0,1 \qquad \forall j \tag{2.3}$$

目標式(2.1)為求最小化設施總成本，而式(2.2)則表示對於每個需求點 i 而言，需至少被一個以上的設施所服務，最後，式(2.3) X_j 則表示為二元變數。

2. 中心問題

中心問題其中最具代表性以 P 個設施中心問題(P-center problem)為主，目標為求得在 P 個設施且滿足需求的情況下，使設施與需求間最遠涵蓋距離最小化。以下利用 Farahani *et al.* (2009)介紹 Hakimi 在 1965 年針對本問題所使用的數學模型來說明數學符號及其限制式的意義：

【符號與參數】

i ： 表需求點。
j ： 表設施點。
p ： 設施需設置的數量。
d_{ij} ： 需求點 i 與設施點 j 的最短路徑。

【決策變數】

X_j ： 若設施點 j 設置時值為 1，否則為 0。
Y_{ij} ： 若需求點 i 指派給設施 j 服務則為 1，否則為 0。
Z ： 需求點與鄰近設施之最遠距離。

【數學模式】

$$\text{Minimize} \quad Z \tag{2.4}$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_j Y_{ij} = 1 \qquad \forall i \tag{2.5}$$

$$\sum_j X_j = p \tag{2.6}$$

$$Y_{ij} \le X_j \qquad \forall i, j \tag{2.7}$$

$$Z \ge \sum_j d_{ij} Y_{ij} \qquad \forall i \tag{2.8}$$

$$X_j \in \{0,1\} \qquad \forall j \tag{2.9}$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i, j \tag{2.10}$$

目標式(2.4)與限制式(2.8)為求得最小化需求點與鄰近設施之最遠距離，式(2.5)表示對於每個需求點 i 都必須指派給某一個設施 j 來服務，式(2.6)確保設施的設置

數量為 P 個，式(2.7)表示設施點 j 有設置才能指派服務，最後，式(2.9)至(2.10)表示決策變數 X_j 與 Y_{ij} 為 0-1 變數。

3. 中位問題

中位問題其主要目的為在候選設施點中找出一中心位置，目標為達到最小化總成本，此類問題通常探討於興建公共服務設施的情況，例如:醫院、學校、消防局等，以下利用 Farahani *et al.* (2009)介紹 ReVelle 在 1970 年針對本問題所使用的數學模型來說明數學符號及其限制式的意義：

【符號與參數】

i ： 表需求點。
j ： 表設施點。
d_{ij} ： 需求點 i 與設置點 j 之距離，若 $i=j$ 則 $d_{ij}=0$。
p ： 設施需設置的數量。
h_i ： 需求點 i 的需求量。

【決策變數】

X_{ij} ： 若需求點 i 被設施點 j 所服務時值為 1，否則為 0。
Y_j ： 若設施點 j 設置時值為 1，否則為 0。

【數學模式】

$$Minimize \quad \sum_i \sum_j h_i d_{ij} X_{ij} \tag{2.11}$$

$$Subject\ to \quad \sum_j X_{ij} = 1 \qquad \forall i \tag{2.12}$$

$$\sum_j Y_j = p \tag{2.13}$$

$$X_{ij} \le Y_j \qquad \forall i, j \tag{2.14}$$

$$X_{ij}, Y_j \in \{0,1\} \qquad \forall i, j \tag{2.15}$$

目標式(2.11)為最小化有服務行為的設施與需求點之間的距離，限制式(2.12)表示每個需求點 i 的需求量皆須滿足，而設施點 j 服務需求點 i 的比例總和為 1，式(2.13)表示限制設置 P 個設施，式(2.14)只有當設施點 j 設置，才可以服務顧客點 i，最後，式(2.15)表示決策變數 X_{ij} 和 Y_j 為二元變數。

4. 設施固定成本區位問題

此類區位問題中，可依照設施是否有容量限制分為「無容量限制之設施固定成本區位問題(Uncapacitated Fixed Charge Facility Location Problem, UFLP)」與「有容量限制之設施固定成本區位問題(Capacitated Fixed Charge Facility Location Problem, CFLP)」。其中，以 UFLP 為此類問題之基礎，目標為達到最小化固定成本與運輸成本，以下利用 Daskin (1995)數學模型來說明數學符號及其限制式的意義：

【符號與參數】

i ： 表需求點。
j ： 表設施點。
f_j ： 設置設施點 j 的固定成本。
h_i ： 需求點 i 的求量。
d_{ij} ： 需求點 i 與設施點 j 之間的距離。
α ： 單位需求運送單位距離之成本。

【決策變數】

X_j ： 若設置設施點 j 其數值 1，否則為 0。
Y_{ij} ： 需求點 i 之需求量被設施點 j 所服務的比例。

【數學模式】

$$\text{Minimize} \quad \sum_j f_j X_j + \alpha \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij} \tag{2.16}$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_j Y_{ij} = 1 \qquad \forall i \tag{2.17}$$

$$Y_{ij} \le X_j \qquad \forall i, j \tag{2.18}$$

$$X_j \in \{0,1\} \qquad \forall j \tag{2.19}$$

$$Y_{ij} \ge 0 \qquad \forall j \tag{2.20}$$

目標式(2.16)為最小化總成本，包含設施的固定成本與需求量的總運送成本，後者也可視為被需求所加權的距離(demand-weighted distance)乘以單位需求運送單位距離的成本，限制式(2.17)表示每個需求點 i 皆須被服務，式(2.18)表示若設施點 j 有開，即可服務需求點 i，式(2.19)和(2.20)表示決策變數 X_j 為 0-1 變數且 Y_{ij} 非負數。

區位問題發展至今，隨著研究問題的複雜度提高，數學模型也漸趨複雜，求解方法也更多元，但面對此一類問題時，不難發現多數學者仍參考上述之數學模型，如 Nozick (2001)求解固定設施區位模型結合顧客回應性的問題，文中即結合固定設施區位模型與最大涵蓋問題模型，而近期學者也將上述之經典模型利用較新的演算法進行求解，如 Kaveh *et al.* (2011)即利用和聲演算法(Harmony Search Algorithm)求解 P 個設施中心問題。

2.3 結合運輸之區位分析研究—整合下游零售商問題回顧

在此以區位路線問題(Location-Routing Problem, LRP)研究為主，問題包含了區位選擇以及車輛路線規劃，其與典型的區位配置問題(Location-Allocation Problem)之不同點在於設施服務顧客的方式，Daskin (1995)曾指出兩種類型的服務方式，第一種為顧客直接被設施所服務，且設施一次只能服務一個顧客，而另一種為利用路線規劃(routing)的方式，同一條路線上可服務數個顧客，如圖 2-1 所示。

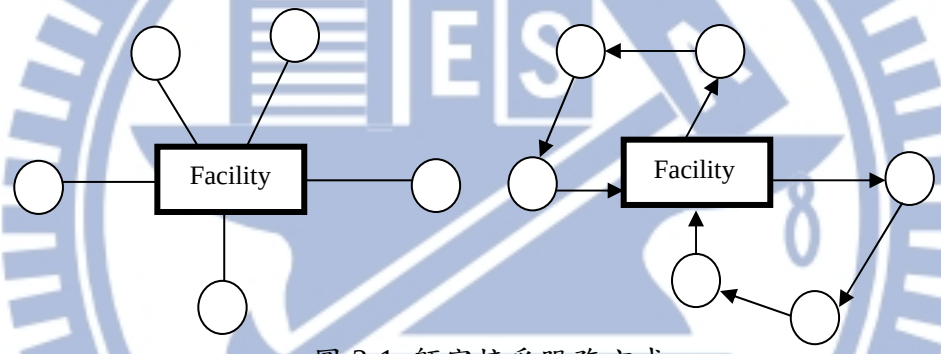


圖 2-1 顧客接受服務方式

資料來源: Daskin, 1995

區位配置問題假設顧客直接被已設置的設施所服務，且區位選擇忽略旅次(tours)之因素，相反地，區位路線問題同時決策設施區位與路線規劃，Min *et al.* (1998)繪製出區位(Location)、指派(Allocation)、路線(Routing)三者間之關係，如圖 2-2 所示。

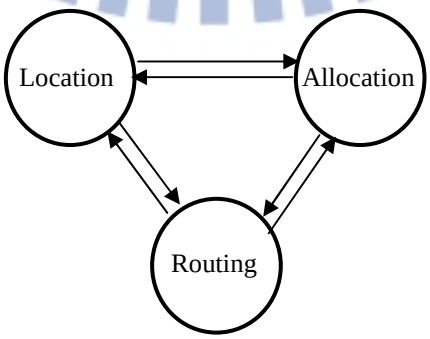


圖 2-2 區位、指派與路線三者之關係

資料來源: Min *et al.*, 1998

Min *et al.* (1998)針對區位路線問題說明其意義。一般而言，區位路線問題為處理一聯合問題(joint problem)，決定設施之最佳位置、數量、容量來服務一個或多個顧客的需求，並且找出最佳車輛路線規劃，主要目標為利用一連串協調、整合的方式來運送貨物，增加其配送效率。

而 Nagy *et al.* (2007)利用層級觀點(Hierarchical)來定義此問題，目標為求解區位問題，但同時也必須求解車輛路線問題，其隱含表示區位路線問題結合了主問題(master problem)和子問題(subproblem)所形成。事實上，區位問題與車輛路線問題皆可看成是區位路線問題的一個特例，倘若我們使所有的顧客直接與設施相連接，則區位路線問題將轉變成典型的區位問題，另一方面，我們若固定設施的位置，則問題也會因此轉變成車輛路線問題。

此篇文獻將區位路線問題依據主要四個重要層面進行分類，分為層級架構、參數性質、計畫期間、求解方法，如表 2-3 分類原則一所示：

表 2-3 區位路線問題分類原則表

分類原則一	內容	分類原則二	內容
層級架構	典型、特例	目標式	單一目標、多目標
參數性質	確定、隨機	求解空間	離散、路網、連續
計畫期間	單一期間、多期間	設施(場站)數量	單一或多數
求解方法	精確解法 啟發式解法	車輛數量與種類	數量未限定 車隊皆同質
		路線架構	典型、特例

資料來源: 本研究整理 Nagy *et al.*, 2007

在層級架構中，可分為典型與特例，在典型區位路線問題中，其擁有服務顧客的設施且顧客與設施間利用車輛旅行路線(vehicle tours)作連結，設施與設施間並無路線做連結，但在特例問題中則並非完全符合上述之情況。在參數性質中，可分為確定與隨機，其中以確定者為多，而計畫期間可分為單一期間與多期間，並以單一期間為主，即利用靜態研究者較多。最後，在求解方法中，多數文獻利用啟發式解法進行求解，但精確解法對於此問題求解也有不錯的成效。

依據上述項目分類不難發現，每個項目所涵蓋的問題種類相當龐大，故 Nagy *et al.* (2007)再依據表 2-3 分類原則二作進一步分類，項目共有五項，分別是目標式、求解範圍、設施(場站)數量、車輛數量與種類、路線架構。

於目標式中，多數為求解最小化成本，包含設施成本與車輛成本，只有少部分文獻求解不一樣的目標式或者求解多目標。求解空間中，以離散為主，設施(場站)數量以使用多數為主，而在車輛數量與種類中，車輛的數量並無特別限制、車隊皆以同質為主，問題假若一個設施只安排一輛車服務，則區位路線問題即所謂的「旅行銷售員區位問題(Travelling Salesman Location Problem)」。最後，在路線

架構中，一般皆從設施出發，服務多個需求點後再回到原設施(場站)，而在特例問題中，可能出現需求點服務需求點的情況，此時，問題稱為「多對多區位路線問題(Many-to-Many Location-Routing Problem, MMLRP)」。

Gourdin *et al.* (2000)曾提出無容量限制區位設置問題，並納入設施一次服務兩個顧客的觀點(Client Matching)，此問題稱為無容量限制設施區位之顧客配合問題(Uncapacitated Facility Location Problem with Client Matching , LCM)，LCM 問題可視為傳統的區位路線問題，而相較於傳統的區位問題，區位路線問題可反應出區位選擇與需求整合分配的情況，因此，過去有不少學者應用在不同議題的問題上，如 Wasner *et al.* (2004)將此類問題應用在奧地利包裹投遞服務的實際案例，而 Billionnet *et al.* (2005)應用於行動通訊系統接收路網的設計上，Aksen *et al.* (2008)則應用在結合現代電子商務和傳統零售通路營運策略的問題上，其數學模型由線上顧客、實體店面的顧客、倉庫、商店所組成，為考量區位、車輛路線與需求分配決策之整合問題。

2.4 結合運輸之區位分析研究—整合上游供應鏈問題回顧

於本小節中，因過往文獻對於整合上游供應鏈問題著墨甚少，故僅介紹二篇與本研究觀念相近之文獻，來說明此類問題的核心觀念及其研究內容。

Yildiz *et al.* (2010)指出在大型汽車供應鏈中，常利用環程整車路線(round-trip truckload routes)的方式，供應商將原物料運送至工廠，然後再空車返回供應商，如圖 2-3 左所示：

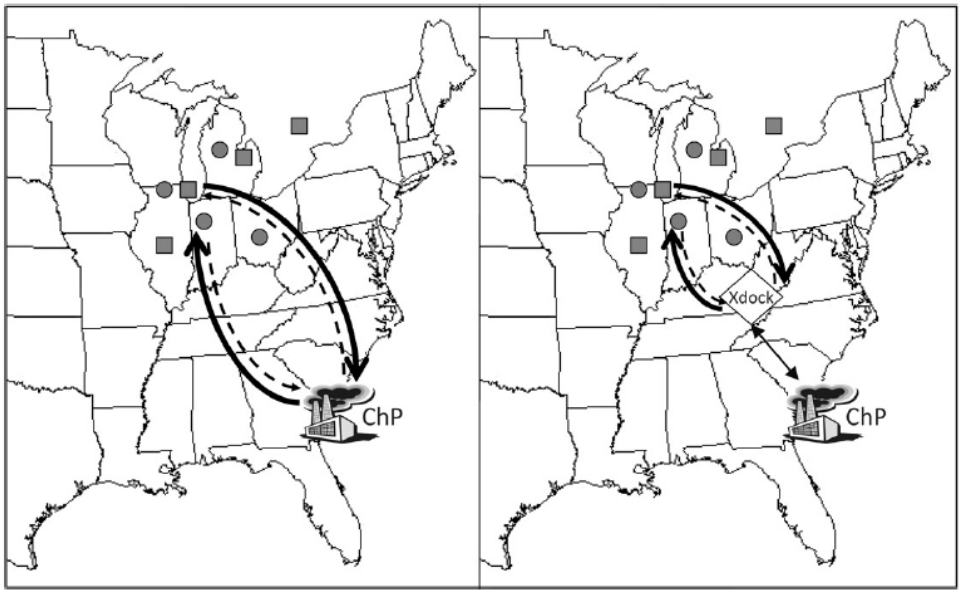


圖 2-3 整車路線示意圖(左)及越庫中心之使用(右)

資料來源: Yildiz *et al.*, 2010

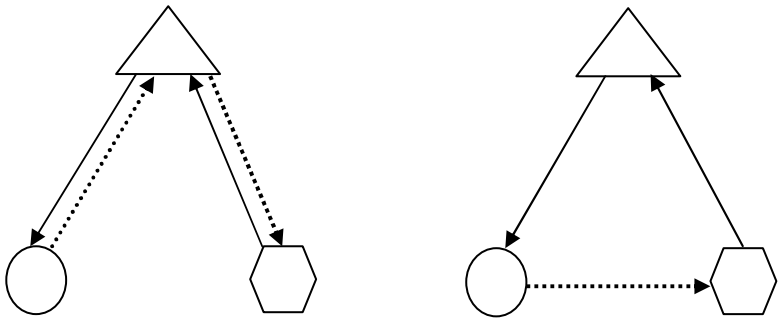
圖中圓形代表顧客、正方型代表供應商，而工廠則以圖樣 ChP 所表示，其中商品流、空車流分別利用實線與虛線所表示，線條粗細的不同說明了往返運量不平衡之情況，探究其發生的主要原因，在於無法有效結合入向物流(Inbound Logistic)和出向物流(Outbound Logistics)，即未能整合供應商和顧客之間的流量，因而增加成本也降低貨車的使用率。

此研究利用美國大型汽車零件工廠—「Robert Bosch LLC」的實際案例，發現如果能有效整合供應商和顧客之間的流量，不但能節省成本也能降低庫存，上圖 2-3 左說明了往返運量不平衡之情況，為解決此問題，該研究考量利用迴圈取貨(Milkruns)以及設置越庫中心(Crossdock)的方式來加以改善。在此，文中進一步說明越庫中心之作用，越庫中心通常接近於供應商與顧客之間，當貨車進入到越庫中心卸貨後便立即將貨物整合出貨，只有極少部分(或者沒有)貨物儲存在越庫中心裡，常作為一合併點(Consolidation point)使用，因此若使用越庫中心，如圖 2-3 右可發現，越庫中心與工廠間由雙箭號連結，表示其往返運量均衡且可利用整車運送，如此便可改善上述運量不均的情況。

其問題核心為一車輛路線問題(Vehicle Routing Problem,VRP)，為求解出包含一個顧客或多個顧客的運送路線來提供服務，同時也考量是否利用越庫中心當作合併點使用。此外，將越庫中心的設置成本，併入到每個貨櫃的成本當中，作為一變動成本來計算，因此並無固定設置成本或租賃成本。該研究建構出一網路流量結合車輛路線的模型，此模型除了運輸成本外，也需考量上述之越庫中心之變動成本，目標為最小化新路網系統總成本。然而，在物流中心區位已確定的情況下，針對其需求點做供應鏈規劃之改善是很有限的，故不禁讓我們發想，重新規劃一物流系統，並將區位考量放入決策的重點。

Zhu *et al.* (2010)則提出一個新型態的工廠設置問題，同時考量從工廠運送至顧客的商品流與上游供應商至工廠的原料流，此研究稱為顧客與供應商配合之容量限制工廠區位問題 (The capacitated plant location problem with customers and supplies matching, CLCSM)。一般而言，工廠需滿足下游顧客的需求，並且也需由上游供應商提供原料生產，在運輸的過程中，可分為兩類，分別是供應旅次(supply trip)和配送旅次(distribution trip)，通常此兩類旅次彼此獨立，且每個旅次中皆存在車空回的過程，如圖 2-4 (a)所示，此研究整合上述兩類旅次，使之形成一個近似封閉三角形的旅次，如圖 2-4 (b)所示。

此篇所探討的工廠設置問題，考量設施容量限制且採用整車方式進行運送，每個設置的工廠擁有均質的車隊，並假設從工廠拜訪顧客的車輛與從顧客拜訪供應商為同一輛車，且車輛運送原料至供應商需再返回到工廠，每一個顧客和供應商只能在路線中被拜訪一次。若根據幾何學上的性質:三角形兩邊和大於第三邊，可得知如果能將商品指派與零件運送相互配合，並以此考量工廠設置地點，則可減少單獨往返設施間所造成的成本，使總成本最小化。



：工廠　：供應商　：顧客

供應商到工廠以及工廠到顧客之車載貨流量

顧客到供應商之空車流量

圖 2-4 三角狀運送方式

資料來源: Zhu *et al*., 2010

表 2-4 本研究與 Zhu 之問題彙整比較表

問題 項目	Zhu *et al.* (2010)	本研究
階層數	二階層 (供應商—工廠—顧客)	三階層 (供應商—工廠—DC—零售商)
目標式	工廠設置成本 與運量整合之運輸成本 (整車流量計算)	物流中心設置成本 與運量整合之運輸成本 (整車流量與商品流量計算)
問題類型	配合問題 (Matching Problem)	上游運量整合問題
商品項目	單一品項	多品項

本研究與 Zhu *et al.* (2010)研究不同點在於，該篇屬於考量供應商、工廠與需求點的二階層(two-echelon)問題，決策層為有容量限制之工廠設置區位，而本研究假設供應商、工廠與需求點皆為已知，以物流中心的設置區位為決策之重點，問題層級由二階層轉為三階層，更加全面考量物流路網的完整性，且本研究探討整合上游運量，即整合供應商至工廠、工廠至物流中心之運量，而該篇文獻則對於每個顧客而言，找一供應商與工廠配合(Matching)運送。此外，該篇將供應量、需求量、工廠之容量，皆以車輛數(整車)做為計算的單位，而本研究則將運輸流

量分為整車流量以及商品流量做為計算單位，另一方面，本研究針對需求點的需求種類有所區隔，可視為滿足多品項需求的問題，而該篇則適用以單一品項的問題中，最後，本研究與該篇皆為單一期間的區位問題，本研究與 Zhu *et al.* (2010)之彙整比較表如表 2.4 所示。

2.5 拉式鬆弛法之概述

當一個組合最佳化的問題為 NP-hard 或 NP-complete 且難於多項式時間(polynomial time)內求得結果時，為達到求解效率，進而發展出啟發式演算法，時至今時，演算法更趨成熟，發展出高階之巨集式啟發式演算法(Meta heuristics)，例如以模仿生物演化過程所提出的基因演算法(Genetic Algorithm)、模仿螞蟻覓食行為的螞蟻演算法(Ant System Algorithm)、跳脫區域最佳解的禁忌搜尋法(Tabu Search)等等，近年來，以觀察鳥類族群覓食行為而來的粒子群演算法(Particle Swarm Optimization)也有相當不錯的發展，然而，在評價演算法的優劣時，最直觀的檢視方式為比較其所計算的目標值同最佳解之差距，由於在大型問題中求解最佳解較為困難，故可通過下限值(Lower Bound, LB)與上限值(Upper Bound,UB)之差距以判斷其演算法求解效果，而拉式鬆弛法(Lagrangian Relaxation, LR)即是一個有效求解下限值的方法。

拉式鬆弛法廣泛地運用在求解組合最佳化的問題上，利用此方法求解問題時，藉由將限制條件中，一條或多條限制式乘上一懲罰值(penalty parameters)或所謂的拉式乘數(lagrangian multipliers)，然後將此限制式移置目標式裡，此放鬆方法目的為讓原問題更易求解，而放鬆後的問題稱為拉式問題。

在此以 Fisher (2004)文獻中拉式問題的基本模型予以作介紹，並說明其放鬆原理，該整數規劃模型(P)如下所示，其中 x 為[n x1]、b 為[m x1]、e 為[k x1]之矩陣。

$$Z = \min cx \tag{2.21}$$

$$\text{s.t.} \quad Ax = b \tag{2.22}$$

$$Dx \le e \tag{2.23}$$

$$x \ge 0 \text{ and integral} \tag{2.24}$$

若我們將式(2.22)放鬆，則所得之拉式問題(LR_u)如下，其中 $u=(u_1,\ldots,u_m)$為拉式乘數的向量，假設$X = \{x|Dx \le e, x \ge 0 \text{ integral}\}$對放鬆問題($LR_u$)的可行解有無限多個，而 $Z_D(u)$對於所有的乘數 u 也將有無限多個。

$$Z_D(u) = \min cx + u(Ax - b) \tag{2.25}$$

$$Dx \le e \tag{2.26}$$

$$x \ge 0 \quad \text{and integral} \tag{2.27}$$

假設原問題(P)的最佳解為 x^*，則可發現 $Z_D(u)$為原問題(P)的下限值，如式(2.28)所示，而當我們將原式 $Ax = b$ 改為 $Ax \le b$ 時，此時乘數 u 需大於或等於 0，如式(2.29)所示，以此類推，當 $Ax = b$ 改成 $Ax \ge b$ 時，此時 u 需小於或等於 0，以滿足 $Z_D(u) \le Z$ 的條件成立。

$$Z_D(u) \le cx^* + u(Ax^* - b) = Z \tag{2.28}$$

$$Z_D(u) \le cx^* + u(Ax^* - b) \le Z \tag{2.29}$$

拉式問題提供了原問題之下限值，但此解對於原問題而言仍為不可行解，此時仍須針對原問題放鬆之限制式進行修正，導出可行解稱為上限值，藉由上下限值的差距而得知最佳解的誤差範圍，藉以判斷是否繼續求解的停止機制。

檢視過去有不少拉氏鬆弛法投入區位問題的研究中，最早出現在 1977 年 Bilde and Krarup 求解簡單工廠區位問題(Simple Plant Location Problem, SPLP)的研究上，而 Klincewicz *et al.* (1986)則探討單一來源限制之有容量限制設施區位問題，提供一個找出啟始可行解與改善可行解的啟發式演算法。

更進一步，Tragantalerngsak *et al.* (1997)以拉式鬆弛法求解二階層單一來源具容量限制之設施區位選擇問題(The two echelon, single-source, capacitated facility location problem)，此研究存在兩層設施決策，規定第二層設施具有容量限制，並只能被第一層其中一個設施所滿足，而需求也只能由第二層其中一個設施所服務，文中提出六種不同放鬆原問題限制式方法並比較其結果。Pirkul *et al.* (1998) 則針對多種產品、工廠之容量限制區位問題進行研究，考量工廠與倉庫的設置區位以有效滿足顧客之需求，發現利用拉式鬆弛法進行大規模問題求解時，可在短時間內求得結果且與下現值的誤差範圍介在 0.8%~2.7%間。

Nozick (2001)將設施固定成本模型結合顧客回應性之因素，選擇設施合適之設置地點，一旦問題規模增加時，不管是原先的設施固定成本區位問題亦或是最大涵蓋問題，都將產生數量龐大的 0-1 變數，導致其求解的複雜性，故此研究利用拉式鬆弛法，將原問題放鬆成二種不同類型之子問題。第一種稱為「指派放鬆問題(Allocation relaxation)」，放鬆原先滿足各需求點與最大未服務個數之限制，子問題僅決定需求點須被哪個設施所服務；第二種稱為「去耦放鬆問題(Decoupling relaxation)」，將連結區位變數與指派變數的限制式放鬆而稱之，放鬆後的子問題保留了滿足各需求點之限制，將上述二類問題求解，可發現去耦放鬆問題相較於指派放鬆問題能產生較好的解且求解時間也相對較短。

Zhu *et al.* (2010)在顧客與供應商配合之容量限制工廠區位問題中，放鬆顧客與供應商、工廠之間的限制和供應商容量的限制，發現對於每個給定的工廠在拉式問題中，問題可以轉換為簡單的 0、1 背包問題(Knapsack)，並針對拉式問題提出改進為可行解之辦法。此文獻於小規模與大規模(顧客數大於 100)的問題進行測式下，發現在大規模問題中，拉式放鬆法比一般線性放鬆法更能獲得較緊的下限值，且與傳統求解最佳化的軟體相比之下，更能大幅減少求解時間。

針對本節拉式鬆弛法之回顧，發現拉式鬆弛法在求解不同種類的區位問題中皆可於有效的時間內求解出不錯的答案，故本研究確信利用拉式鬆弛法進行問題的求解是合理且可行的。

第三章 模式建構與求解方法

在本章節中，於 3.1 節定義數學符號並建構其數學模型，更進一步詳細說明此模型之目標式、限制式的意義，並於 3.2 節介紹本研究之拉式模型及其求解流程。

3.1 本研究數學模式介紹

本研究為三階層供應鏈架構(供應商—工廠—物流中心—零售商)，研究中考量物流中心的區位決策，並納入整合上游「供應商—工廠」與「工廠—物流中心」運量的觀念，假設需求為確定情況且各階層無跨層運送之情形，並假設以整車方式運送且商品流量多數皆可整合。藉由參考前述相關文獻，本研究建構一混合整數規劃模式(Mixed Integer Programming, MIP)來代表相關的決策和限制。

【數學模式】

$$Min \quad \sum_{K} z_k F_k + \sum_{I}\sum_{J} C_{ij} s_{ij} + \sum_{J}\sum_{K} C_{jk} s_{jk} + \sum_{I}\sum_{J}\sum_{K} C_{ijk} s_{ijk} + \sum_{J}\sum_{K}\sum_{L} C_{kl} D_{jl} y_{jkl} \quad (3.1)$$

$$s.t. \quad \sum_{K} y_{jkl} = 1 \qquad \forall j \in J, l \in L \quad (3.2)$$

$$\sum_{K} s_{ijk} + s_{ij} \geq U_{ij} \qquad \forall i \in I, j \in J \quad (3.3)$$

$$\sum_{I} s_{ijk} + s_{jk} \geq \sum_{L} y_{jkl} \mathrm{D}_{jl} \qquad \forall j \in J, k \in K \quad (3.4)$$

$$y_{jkl} \leq z_k \qquad \forall j \in J, k \in K, l \in L \quad (3.5)$$

$$s_{ij}, s_{jk}, s_{ijk} \geq 0 \qquad \forall i, j, k, l \quad (3.6)$$

$$1 \geq y_{jkl} \geq 0 \qquad \forall j, k, l \quad (3.7)$$

$$z_k \in \{0,1\} \qquad \forall k \quad (3.8)$$

【符號說明】

i ： 表供應商 (I:所有供應商之集合)。

j ： 表工廠 (J:所有工廠之集合)。

k ： 表物流中心 (K:所有物流中心之集合)。

l ： 表零售商 (L:所有零售商之集合)。

決策變數:

z_k ： 0-1 變數，若為 1 則表示物流中心 k 有設置，反之則為 0。

y_{jkl} ： 零售商 l 對工廠 j 的商品比例是由物流中心 k 所供給。

s_{ij} ： 零件由供應商 i 運送至工廠 j 之車流量。

s_{jk} ： 商品由工廠 j 運送至物流中心 k 之車流量。

s_{ijk} ： 零件由供應商 i 運送至工廠 j 卸貨後，再運送商品至物流中心 k 之車流量。

參數:

U_{ij} ： 供應商 i 運送零件至工廠 j 之整車數量。

C_{ij} ： 貨車從供應商 i 運送零件至工廠 j 每單位成本(包含工廠 j 至供應商 i 之回程成本)

C_{kl} ： 貨車從物流中心 k 運送商品至零售商 l 每單位成本。

C_{jk} ： 貨車從工廠 j 運送商品至物流中心 k 每單位成本(包含物流中心 k 至工廠 j 之回程成本)。

C_{ijk} ： 貨車從供應商 i 運送零件至工廠 j 卸貨後，再運送商品至物流中心 k 之每單位成本(包含物流中心 k 至供應商 i 之回程成本)。

F_k ： 設置物流中心 k 所需固定成本。

D_{jl} ： 零售商 l 對工廠 j 所生產的商品之需求。

以下針對數學模式的意涵作說明：目標式(3.1)為最小化總成本，包含設施固定成本與商品運送成本。其中運送成本的部分，可分為單獨由供應商至工廠(C_{ij})、工廠至物流中心(C_{jk})之成本，或者將「供應商—工廠」與「工廠—物流中心」流量整合之成本(C_{ijk})，最後則是物流中心運送至零售商(C_{kl})之成本；限制式(3.2)為對於零售商 l 其所對應的工廠 j 的商品而言，須滿足該零售商 l 之需求；式(3.3)表示供應商 i 到工廠 j 之車流量與整合物流中心 k 之車流量，須至少等於已知供應商 i 至工廠 j 所供給之數量；式(3.4)表示工廠 j 到物流中心 k 之車流量與整合上游供應商 i 之車流量，須滿足下游零售商 l 之需求；式(3.5)表示一旦有流量經過物流中心 k 時，則須設置此一物流中心；式(3.6)表示決策變數皆大於或等於 0；式(3.7)則表示 y_{jkl} 為一需求比例，倘若未考量上游運量整合時，該變數可視為二元變數，但本研究因考量運量整合之因素，需求並非對於其對應工廠的商品都能由同一物流中心作配送，故其值介於 0~1 間，最後，式(3.8)表示 z_k 為 0-1 變數。

由上述數學模型的介紹中，可發現本研究並無出現有關物流中心的容量限制，相較於探討有容量限制的設施區位問題來說，貌似並不合理，但事實上，本研究將設施建構成本分為「設施固定成本」與「設施變動成本」，並透過將設施變動成本納入「物流中心至零售商」此段運量的成本中(C_{kl})，更能精確的估算設施容量與成本之間的關係，詳細內容可參照附錄二。

3.2 拉式鬆弛模型及求解

本研究當規模擴大時，將增加問題的複雜性，造成求解上的不易，故為達到求解效率，在此利用拉式鬆弛法進行問題求解。本節選擇式 3.5 放鬆，乃參考過往文獻中，例如：Tragantalerngsak *et al.* (1997)、Nozick (2001)、Litvinchev *et al.* (2012)等提出與發現，當求解區位問題時，放鬆與「容量限制」或「需求限制」之限制式，其上下限值收斂效果並不理想，而放鬆連結流量指派與區位設置之限制式，能達到較佳的收斂效果，故將式(3.5)放鬆並乘上一拉式乘數 λ 移置目標式，所得之拉式問題如下，在此稱為 Primal。

[Primal]

$$Z_{LR} = Min \sum_K z_k F_k + \sum_I \sum_J C_{ij} s_{ij} + \sum_J \sum_K C_{jk} s_{jk} + \sum_I \sum_J \sum_K C_{ijk} s_{ijk} + \sum_J \sum_K \sum_L C_{kl} y_{jkl} + \sum_J \sum_K \sum_L \lambda_{jkl} (y_{jkl} - z_k) \tag{3.9}$$

整理後可得：

$$= \sum_k (F_k - \sum_J \sum_L \lambda_{jkl}) z_k + \sum_I \sum_J C_{ij} s_{ij} + \sum_J \sum_k C_{jk} s_{jk} + \sum_I \sum_J \sum_K C_{ijk} s_{ijk} + \sum_J \sum_K \sum_L (C_{kl} D_{jl} + \lambda_{jkl}) y_{jkl} \tag{3.10}$$

並限制於式(3.2)、(3.3)、(3.4)、(3.6)、(3.7)、(3.8)。

我們將上述拉式問題，依照限制式的限制條件與目標式之間的關係，可拆分為兩個拉式子問題，我們簡稱為 SUB_1 與 SUB_2，並整理如下。

[SUB_1]

$$Z_{LR1} = Min \sum_I \sum_J C_{ij} s_{ij} + \sum_J \sum_k C_{jk} s_{jk} + \sum_I \sum_J \sum_K C_{ijk} s_{ijk} + \sum_J \sum_K \sum_L (C_{kl} D_{jl} + \lambda_{jkl}) y_{jkl} \tag{3.11}$$

$$s.t \quad \sum_K y_{jkl} = 1 \qquad \forall j \in J, l \in L \tag{3.2}$$

$$\sum_K s_{ijk} + s_{ij} \geq U_{ij} \qquad \forall i \in I, j \in J \tag{3.3}$$

$$\sum_I s_{ijk} + s_{jk} \geq \sum_L y_{jkl} D_{jl} \qquad \forall j \in J, k \in K \tag{3.4}$$

$$s_{ij}, s_{jk}, s_{ijk} \geq 0 \qquad \forall i, j, k, l \tag{3.6}$$

$$1 \geq y_{jkl} \geq 0 \qquad \forall j,k,l \tag{3.7}$$

此一拉式子問題 SUB_1 為流量指派問題，須滿足限制式供給與需求之條件，因拉式問題將式(3.5)放鬆，故會出現沒有設置物流中心，但有流量經過之現象，在此並不計較是否為原問題之可行解，我們將求解出各拉式乘數所計算之目標式值 Z_{LR1}。

[SUB_2]

$$Z_{LR2} = Min \sum_{K} (F_k - \sum_{J} \sum_{L} \lambda_{jkl}) z_k \tag{3.12}$$

$$s.t. \quad z_k \in \{0,1\} \qquad \forall k \tag{3.8}$$

SUB_2 為物流中心設置問題，因放鬆問題導入懲罰值 λ 的存在，當物流中心設置成本扣除拉式乘數 λ 之成本下降時，將驅使物流中心的設置(Z_k=1)，故 SUB_2 子問題中，可求解出不同物流中心設置情況下之目標式值 Z_{LR2}。

將上述二類子問題之目標式值 Z_{LR1} 和 Z_{LR2} 相加，即可獲得拉式問題之下限值 Z_{LR}，並藉由此一下限值可得知問題最差的求解結果，接下來則針對下限值所求解的結果改善為可行解之方法進行說明。

3.3 產生可行解及拉式乘數更新

對於過往研究進行可行解的求解時，會依照問題違反條件找出一套修正模式，並利用此修正模式將下限值轉換成可行解，而於本研究中，我們將利用下限值所產生的區位結果提出如何從下限值直接求得可行解的辦法，過程內容分述如下：

步驟一：放鬆式(3.5)之後，會產生有流量經過物流中心，但該物流中心沒有建置之情況，故在此先確認下限值的求解結果是否至少設置一個區位，若無則進行步驟二， 反之則進行步驟三。

步驟二：下限值之結果若無區位產生，此時須將式(3.12)中 z_k 區位變數前之成本項係數，由小到大排序，乃因本研究為求解最小總成本，故會選擇成本係數最小的設置。

步驟三：將步驟一或步驟二所得知的設置區位帶入原式(式 3.1~3.8)進行求解，區位變數轉為已知參數，此時原問題將轉為單純的流量指派問題，只須考量供給與滿足需求之限制，求解後即可獲得上限值。

經由上述步驟產生原問題之可行解，接下來便進行拉式乘數更新，且予以說明其更新方法。研究上對於更新拉式乘數的方法不計其數，本研究採用一般拉氏鬆弛法所使用之次梯度法(Subgradient method)，參考 Held and Karp(1970)的更新

方程進行拉式乘數更新，並藉由不斷更新拉式乘數(λ)以找到合適之乘數值，此舉對於有效求解原問題之近似解來說相當重要，式(3.16)為更新乘數之方程式。

$$h_{jkl}^{t} = y_{jkl} - z_{k} \qquad \forall j \in J, k \in K, l \in L \tag{3.14}$$

$$\beta^{t} = \frac{\alpha(UB^{best} - LB^{t})}{\sum_{L}\sum_{k}\sum_{J}(h_{jkl}^{t})^{2}} \tag{3.15}$$

$$\lambda_{jkl}^{t+1} = Max\left\{\lambda_{jkl}^{t} + \beta^{t} h_{jkl}^{t}, 0\right\} \quad \forall j \in J, k \in K, l \in L \tag{3.16}$$

式(3.14)為拉式乘數修正之方向。當 h_{jkl} 為正值時，表示多數的流量皆經過物流中心 k，此時，拉式乘數將變大，驅使設置此物流中心，反之，當 h_{jkl} 為負值時，表示流量較少經過於此，故乘數變小，不鼓勵設置。

式(3.15)為拉式乘數修正之步幅。分母為 h_{jkl} 平方之加總，其為長度的平方，當該向量長度平方為大時，代表方向的誤差仍大，所以需除以此長度平方以降低步幅，避免誤差仍大時，過度修正拉式乘數之 λ 值。式中 α 值為更新 λ 值之步幅調整參數，其主要目的為適度調整修正幅度的大小。LB^{t} 表示第 t 次遞迴所求得之下限值，而 UB^{best} 為修正不可行解所得之最佳上限值，兩值之差代表最佳解所在之誤差範圍，用以修正 λ 值以收斂求解。

式(3.16)為更新乘數之方程式，根據上述之介紹，將第 t 次修正方向乘上修正步幅並加上第 t 次遞迴之拉式乘數，即可求出第 t+1 次之乘數值。

經由拉式乘數在每個遞迴中的更新機制，驅使拉式求解系統能找到合適的物流中心設置區位，並將所得的區位帶入原問題之數學模型(式 3.1~3.8)，以求解單純的流量指派的問題，進而求得近似最佳解。在此，本研究收斂機制採用遞迴數依規模可分為 500 至 800 次或 Gap 小於 1%為標準。本研究之拉式求解流程圖 3-1 如下所示：

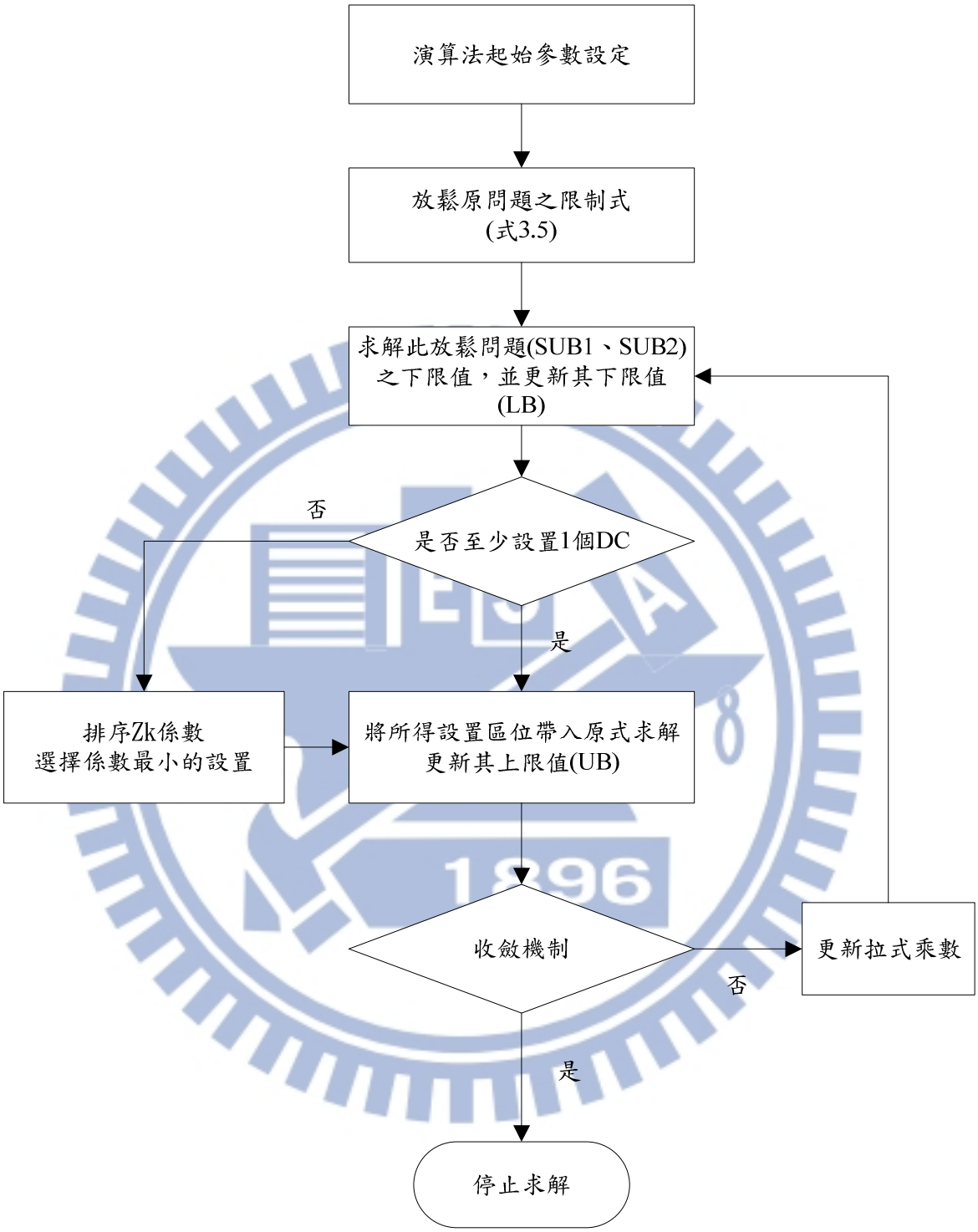


圖 3-1　本研究拉式鬆弛法求解流程示意圖

第四章 數值測試

本章節分為兩部分，第一部分於 4.1 節中設計一美國地區小型例式性問題，探討數學模式中考量不同階層數情況下，其區位選擇的結果比較，而第二部份為拉式演算法數值測試，於 4.2 節中針對小型例題利用演算法求解與傳統最佳化軟體求解結果比較，最後，於 4.3 節中則針對大型例題進行演算法求解，並改變物流中心的設置成本，分析設施數量上的變化以及其成本的結構。

4.1 例示性測試問題

本研究於美加西岸選出 3 個接近港口的地點做為供應商位置與 5 個已知的工廠及 17 個需求點。其中需求點同時也為物流中心候選地點，設置物流中心除可滿足其他需求點之需求外，也可滿足自己內部地區之需求，詳細資料如表 4-1 所示。

參數設計部分，假設設施設置成本為 6,000,000。上游供應商與工廠間的總運量為 150,000 單位，而港口附近的三個供應商個別的供給量，則依照 2011 北美港口標準貨櫃(TEU)之數量(資料來源: American Association of Port Authorities)做比例分配，至於供應商到各工廠間的細部供應量 U_{ij}，則以亂數產生的比例來分配。另一方面，所有零售商的總需求量假設約為 100,000 單位，各州的需求則依照人口比例所分配，同州若有二個以上的需求點則假定依其數量平分，至於各零售業者針對各工廠細部的數量 D_{jl}，則也以亂數產生的比例來分配。最後，設施間的運輸成本則利用各地點間經緯度換算而來的距離，代表每公里運送每單位的成本。

除了前述本研究所發展的數學模式(以下標示為 Model III)，本研究另外利用兩個模式進行比較，討論其求解結果並觀察區位設置的變化。首先是二層的區位問題，忽略上游的供應商與工廠，物流中心決策僅受到下游零售商需求之影響，即為無容量限制之設施固定成本問題，其數學模式如式(2.16)至(2.20)，以下簡稱為 Model I。另外，本研究另外設計了一個模式，物流中心決策受到上游工廠與下游零售商需求之影響，但並不考慮「供應商－工廠」與「工廠－物流中心」間運輸整合的影響，其數學模型可參照附錄一，並簡稱為 Model II，各模式數學模式之階層關係圖如圖 4-1 所示。

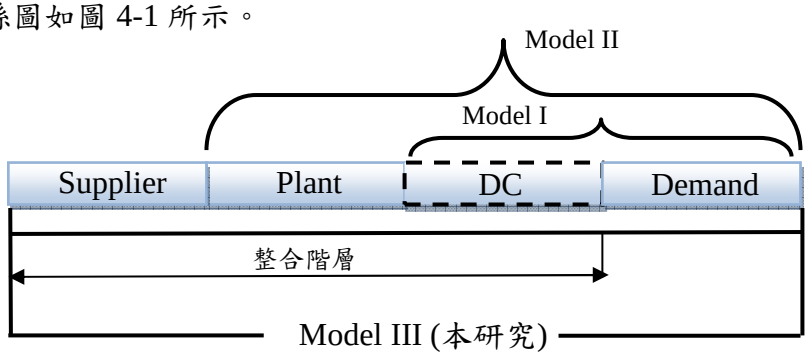


圖 4-1　數學模式階層關係圖

表 4-1 例題設計選定地點

	州	地　　點		州	地　　點
供應商	WA	Tacoma	物流中心候選地點和需求點	BC	Vancouver
	CA	Long Beach		WA	Seattle
		Oakland			Spokane
工廠	CA	Bakersfield		OR	Portland
	OR	Eugene		CA	Sacramento
	NM	Roswell			San Francisco
	NV	Elko			Fresno
	AZ	Kingman			Los Angeles
					San Diego
				NV	Reno
					Las Vegas
				AZ	Phoenix
					Tucson
				NM	Albuquerque
				UT	Salt Lake City
				ID	Boise
				CO	Denver

針對上述的例題，將此三類問題之數學模式轉換成 LINGO 程式語言進行求解，並比較問題之求解結果，說明如下。圖 4-2 為 Model I (即式 2.1~2.5)之結果，其中六邊形代表為供應商、三角形為工廠、圓形為需求點(零售商)，正方形代表其為模式所建議的物流中心設置地點，但其中亦有一圓形，代表其亦為需求點。因不考慮上游供應商與工廠區位之影響，物流中心區位選擇僅受到下游需求點牽引，此問題物流中心設置數目為 4 個，地點依序為 Spokane、Sacramento、San Diego、Denver，求解可發現其設置地點靠近各需求點群之中心位置，而顯然部分情況將發生工廠長途運送至物流中心後，又在送回工廠附近的零售業者不效率情形。

圖 4-3 為 Model II (即式 A.1~A.5) 之結果。為考量工廠至物流中心、物流中心至需求點之三層區位選擇問題之結果。此問題所得之物流中心設置數目減為 3 個，地點依序為 Portland 、Sacramento、 Las Vegas，與本研究之不同點在於，此問題並未考慮上游供應商之影響，由圖可得知其設置地點受到工廠牽引，因而物流中心設置地點靠近工廠區位。

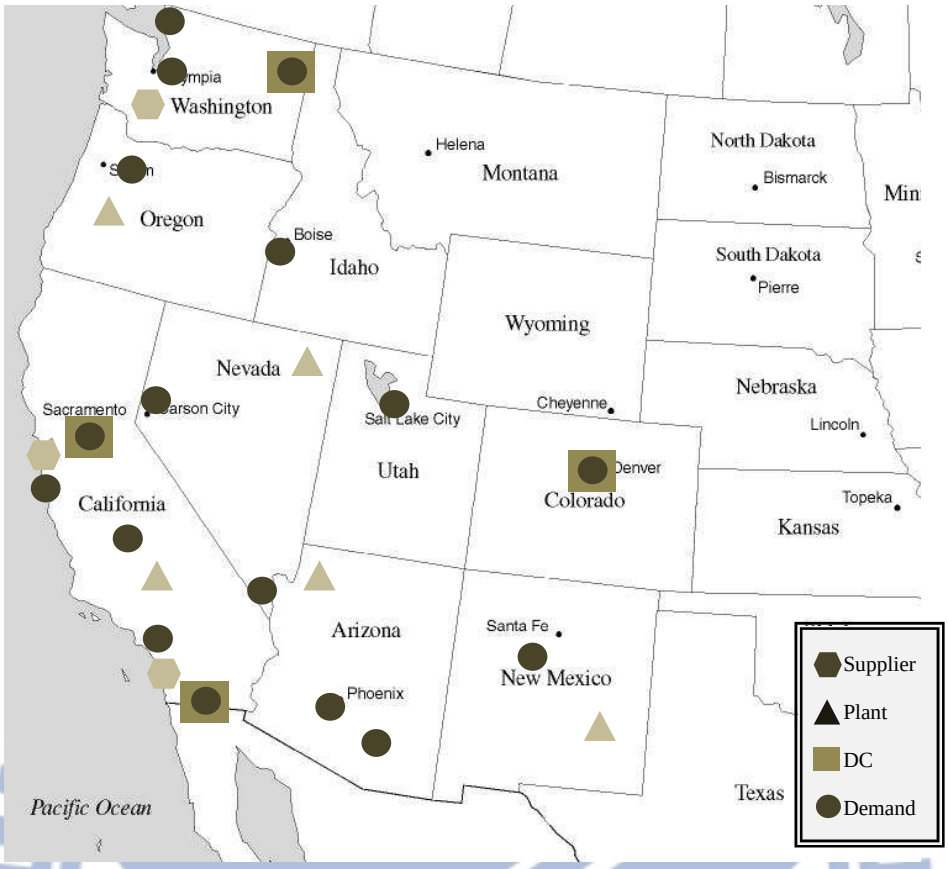


圖 4-2 區位模型 Model I 之結果示意圖

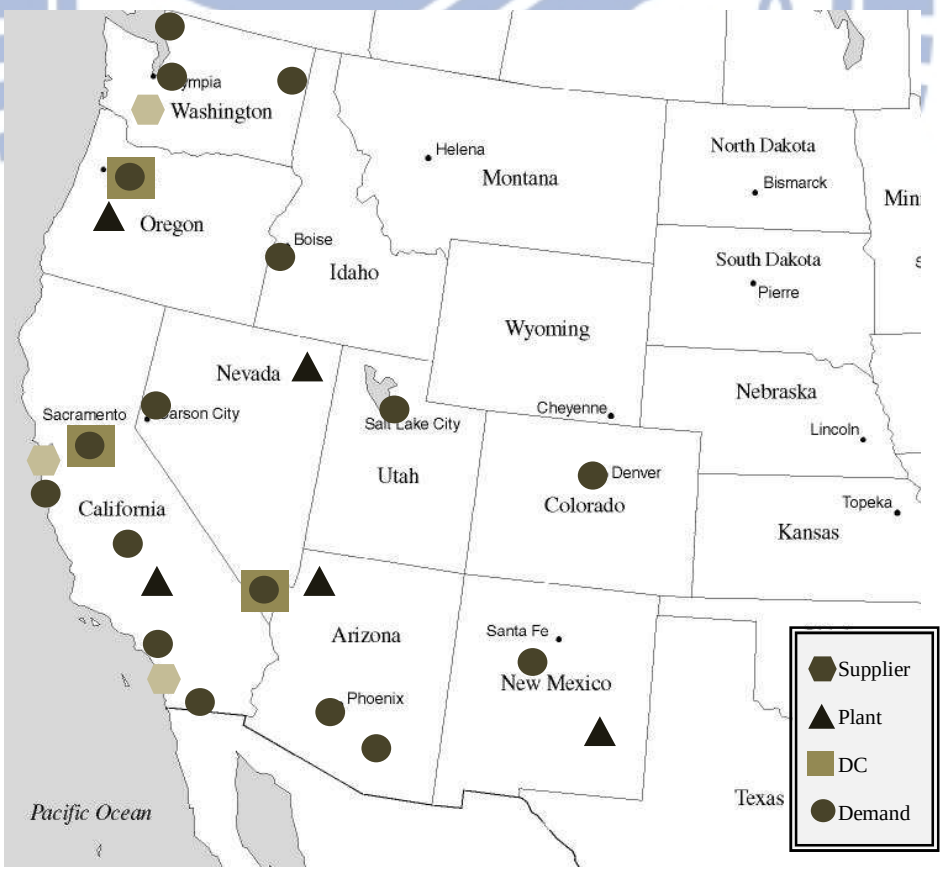


圖 4-3 區位模型 Model II 之結果示意圖

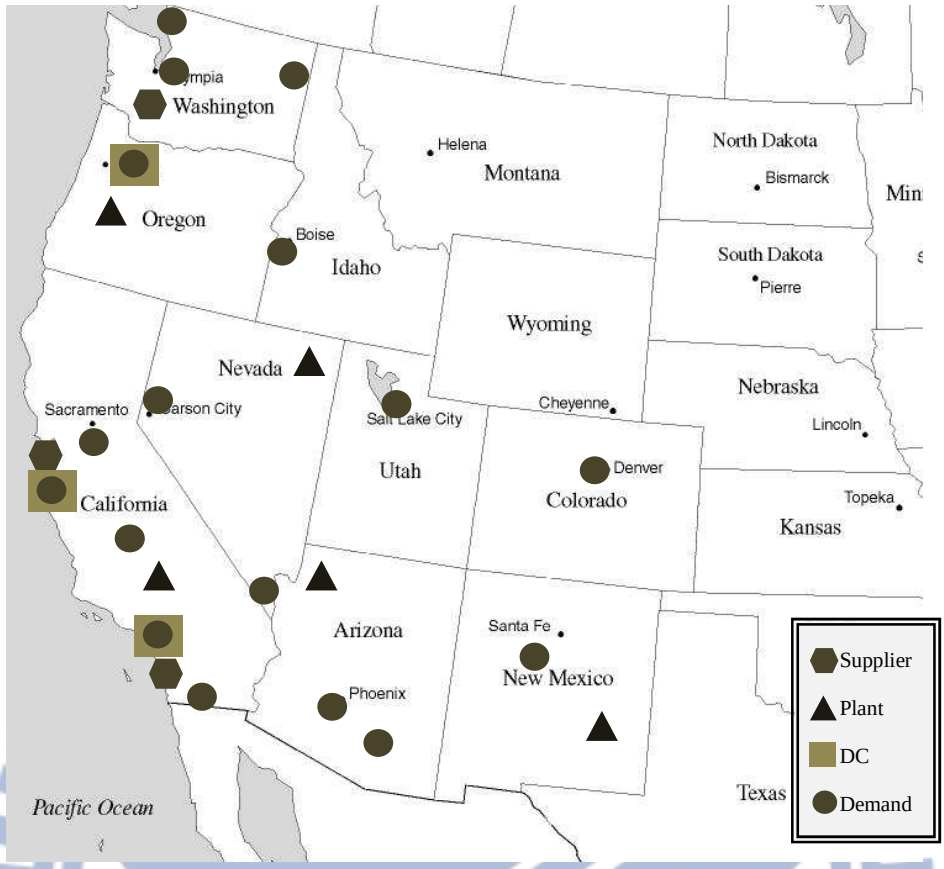
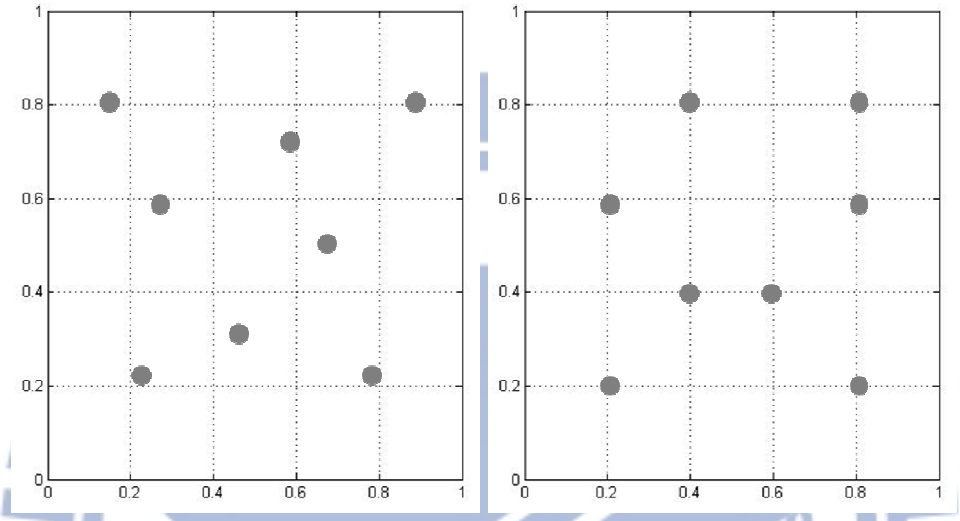


圖 4-4 本研究區位模型 Model III 之結果示意圖

本研究數學模式 Model III 則如圖 4-4，可發現物流中心設置數目亦為 3 個，地點依序為 Portland、San Francisco、Los Angeles。因模式整合「供應商－工廠」與「工廠－物流中心」之運輸，觀察可發現其結果受到與上游供應商做運輸整合之牽引，如此可進一步降低成本。

4.2 小型測試例題

於小型測試例題中，設計規模(10,5,16,30)例題進行問題的求解與拉氏鬆弛演算法的品質測試，於此規模中共有三千多個變數、六千多條限制式，其可利用最佳化軟體求解。例題中將供應商、工廠、零售商三者以亂數產生座標，而物流中心座標則利用下列兩種方式分別進行測試，且各點皆分布在 0 至 1 間的座標平面上，如下圖 4-5 所示：



a. 隨機產生　　b. 已知格線上

圖 4-5 物流中心潛在區位產生方式

我們將產生如上圖所示之區位情境，圖 4-5(a)為「隨機產生」，在此情形下將物流中心潛在區位利用與產生供應商、工廠、零售商相同的方式，即隨機產生均勻亂數座標分布於座標圖形中，而圖 4-5(b)則表示為產生於「已知格線上」，此時，物流中心設置區位為給定的座標軸交叉位置上，本研究利用上述兩種方式來比較其求解結果，進而探討整合上游運量前與整合後的區位變化以及成本節省的比率。

在模型參數的設定上，假設每單位需求運送單位距離的成本為 10，需求量由[100,500]均勻亂數所產生，物流中心設置成本為每棟 40,000。本研究將 3.2 節拉氏鬆弛模型轉成程式語言，測試軟為 MATLAB® R2012a，GUROBI 工具箱，測試環境為 Windows 7，Intel® Core™ CPU i7-3770，3.40GHz，8GRAM。。

下表 4-2 為規模(10,5,16,30)之例題數值測試結果，R1(10,5,16,30)代表各點皆利用亂數產生的例題，而 G1(10,5,16,30)則假設物流中心潛在區位為已知座標軸交叉節線上，求解結果以平均值呈現。

表 4-2 小型例題測試結果

Problem	Gap^S	Gap^B	Integration Benefit	LR Time	IP Time
R1(10,5,16,30)	0.00%	3.03%	25.15%	9	22
G1(10,5,16,30)	0.04%	4.56%	23.70%	9	48

Gap^S 表示拉式鬆弛法平均上限值(UB)與最佳解之差距。
Gap^B 表示拉氏鬆弛法平均下限值(LB)與最佳解之差距。
Integration Benefit 為”(整合前總成本-整合後總成本)/整合後總成本”之比率。
LR Time 為本研究拉式鬆弛演算法平均求解時間(秒)。
IP 為利用 LINGO 求得最佳解之平均求解時間(秒)。

本研究將測試例題抽出前 15 題進行說明，其結果比較如圖 4-6 至圖 4-8 所示。

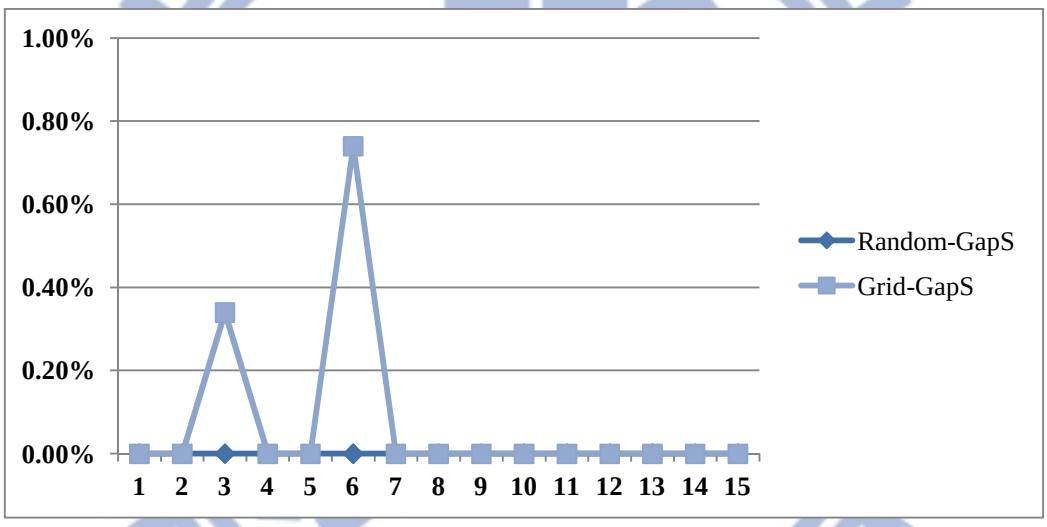


圖 4-6 R1 類和 G1 類例題之 Gap^S 折線圖

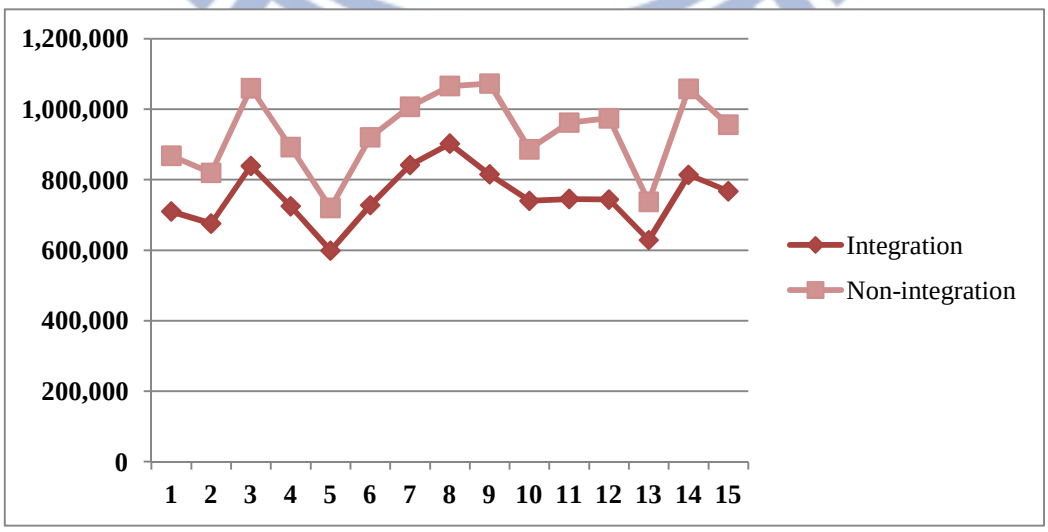


圖 4-7 R1 類例題之運量整合前後總成本變化折線圖

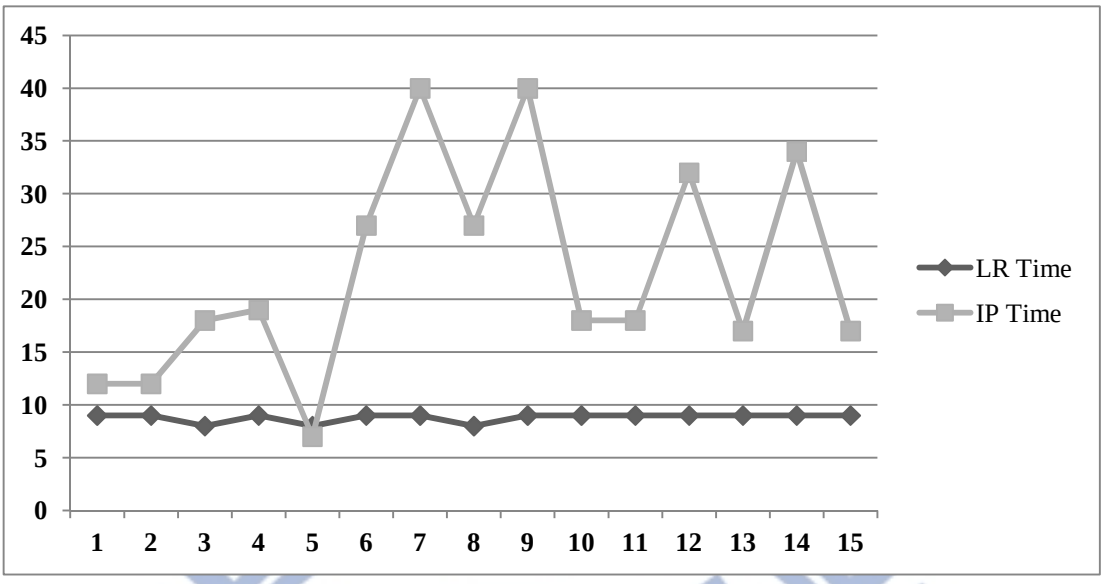


圖 4-8　R1 類例題之求解時間比較折線圖

圖 4-6 為 R1(10,5,16,30)和 G1(10,5,16,30)在 Gap^s 結果之折線圖，可發現 R1 小題演算法求解結果皆達到最佳解，而 G1 小題除了第 3 題與第 6 題演算法求解結果與最佳解有些微差距外(1%以內)，其餘小題皆達到最佳解，說明本研究之演算法的求解品質有達到一定水準，圖 4-7 則為 R1 運量整合前後成本的折線圖，可發現整合上游運量皆低於整合前的情況，強調整合運量及其物流中心區位選擇對於節省成本的重要性，最後，圖 4-8 為 R1 求解時間比較的結果折線圖，利用本研究演算法的求解時間皆少於利用最佳化軟體的結果，且求解時間分佈較為均勻，其總平均時間約為 9 秒，剩餘之測試例題結果可參考附錄內容。接下來將針對 R1 和 G1 例題之區位選擇變化進行說明，本研究選擇例題 7 之求解結果，如下圖 4-8 所示。

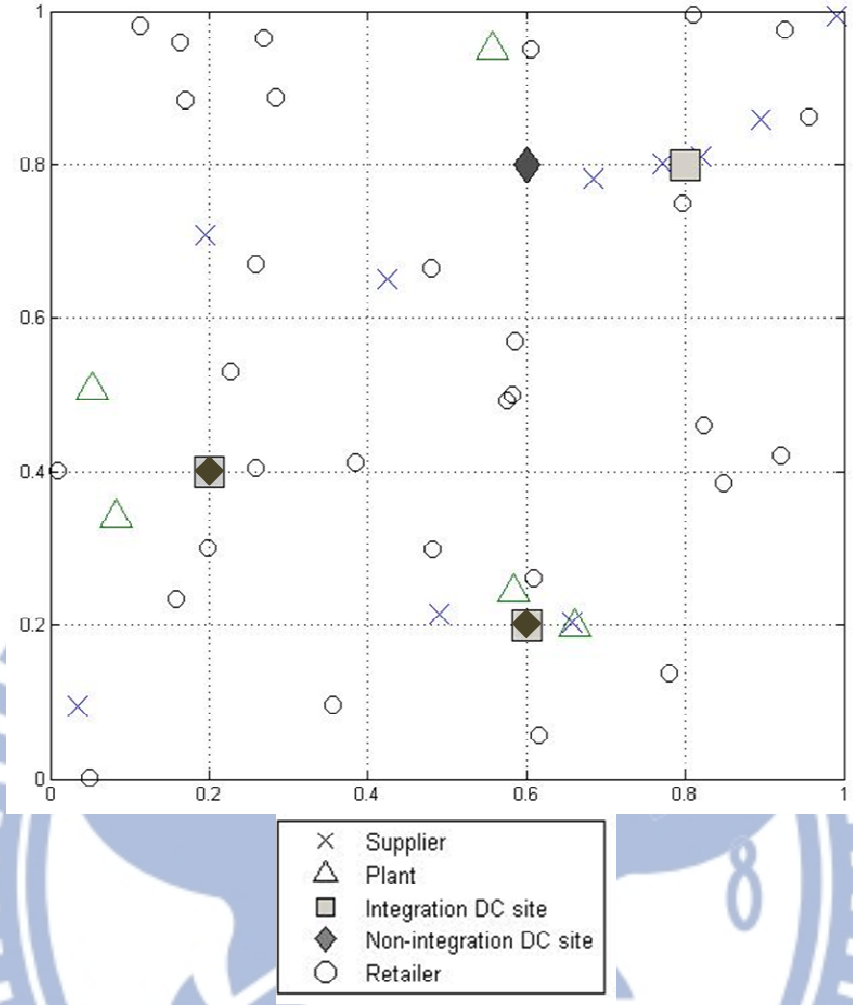


圖 4-9　G1 例題 7 整合前後區位選擇結果比較

圖中各符號代表不同種類的座標點，其中供應商為「X」、工廠為「△」、零售商則為「○」所表示，若考量整合上游運量條件時，求解得知物流中心共設置三處，分別位在(0.2 , 0.4)、(0.6 , 0.2)與(0.8 , 0.8)坐標上，圖中以實心正方形所示，其結果可發現物流中心設置區位皆距離供應商與工廠不遠處，乃方便整合「供應商—工廠」和「工廠—物流中心」此兩段之運量所致，然而，當不考慮上游運量整合時，物流中心設置區位在(0.2 , 0.4)、(0.6 , 0.2)這兩處與上述整合情況相同，但原先設置區位在(0.8 , 0.8)的物流中心則移至(0.6 , 0.8)上，圖中以實心菱形所示，此物流中心設置區位相較於原先整合情況時，雖仍受上游供應商與工廠所牽引，但其遠離右上方供應商較多的區位，而誠如表 4-2 數值測試結果顯示，當考量整合上游運量情況時，該規模其可節省成本比率平均約 24%，故本研究將區位決策並納入整合運量的概念，對於供應鏈的規劃與改善，其效益非淺。

4.3 大型測試例題

在此針對規模(20,20,16,80)與(25,10,36,100)之大型例題進行求解，R2 和 R3 例題皆各有三萬多個變數、六萬多條限制式，而 R4 和 R5 例題則各有四萬多個變數、八萬多條限制式，其皆不易於利用最佳化軟體求解。例題設計方式與小型規模例題雷同，但僅設計各坐標點以亂數產生情況下之例題，並假設此兩種規模問題各有兩種不同物流中心設置成本，演算法求解之平均結果如表 4-3 所示。

表 4-3 大型例題測試結果

Problem	Gap	Integration Benefit	LR Time	DC Cost	Location
R2(20,20,16,80)	1.77%	32.76%	122	100,000	6
R3(20,20,16,80)	3.28%	30.97%	127	140,000	4
R4(25,10,36,100)	3.56%	28.79%	239	80,000	5
R5(25,10,36,100)	4.85%	27.90%	252	140,000	4

Gap 表示拉式鬆弛法平均上限值(UB)與下限值(LB)之差距。
Integration Benefit 為”(整合前總成本-整合後總成本)/整合後總成本”之比率。
DC Cost 為物流中心每棟的設置成本。
Location 為物流中心平均設置數量。

R2 和 R3 皆為規模(20,20,16,80)測試例題，假設 R2 例題中，物流中心每棟設置成本為 100,000 而 R3 為 140,000，結果可發現物流中心設置數目從原先 6 棟減少為 4 棟，R2 例題上下限值差距平均約為 1.77%，遞迴次數 600 次其求解時間約為 122 秒，整合前後總成本減少比率約為 32.76%，於 R3 例題中，因設施成本上升之原故，選擇情況變的更加困難，此時上下限值差距與求解時間略顯上升，整合前後總成本比率小幅度下降。

另一方面，R4 和 R5 為規模(25,10,36,100)例題，其假設 R4 物流中心每棟設置成本為 80,000 而 R5 為 140,000，求解可發現物流中心設置成本從原先 5 棟減少為 4 棟，R4 例題上下限值差距平均約為 3.56%，遞迴次數 800 次其求解時間變為 239 秒，整合前後總成本減少比率約為 28.79%，R5 例題在上下限值差距、求解時間與 R4 相比也呈現上升的趨勢，整合前後總成本減少比率方面也略顯下降。

接下來將針對兩種規模問題之總成本結構作一分析說明，分為整合前以及整合後之情況，於兩種規模問題各挑選一題探討其成本結構，成本結構示意圖如下圖 4-10 所示，包含上游運輸成本(DC Inbound)、下游運輸成本(DC Outbound)以及物流設置總成本(DC facility cost)，其中上游運輸成本包含「供應商—工廠」、「工廠—物流中心」以及「供應商—工廠—物流中心」整合之成本，而下游運輸成本則為物流中心至零售商之成本。

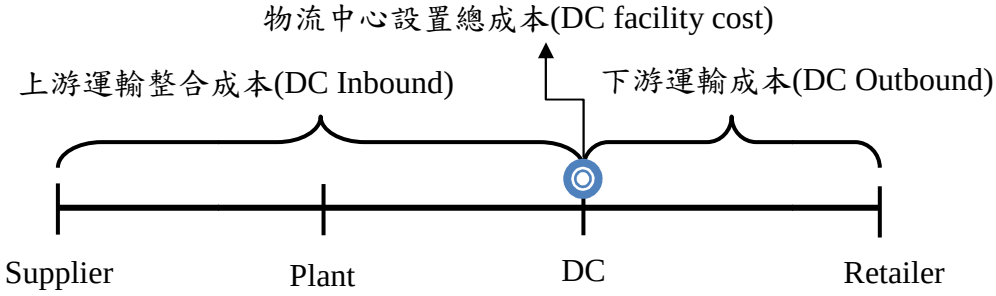


圖 4-10 成本結構組成示意圖

表 4-4 為 R2 例題 15 各成本項總額，整合前後物流中心設置成本皆相同，但總成本卻相差二百萬以上，其反應在 DC Inbound (DC-in)及 DC Outbound (DC-out)中，下圖 4-11 為 R2 例題 15 成本結構示意圖，圖中可發現當考量上游運輸整合情況時，除了減少上游運輸成本，連帶對於下游的運輸成本也有大幅改善之情況。

表 4-4 R2 成本結構表(例題 15)

R2(20,20,16,80)	Total cost	DC-in	DC-out	DC facility cost
Integration	7,214,713	5,555,474	1,059,239	600,000
Non_integration	9,760,186	6,822,623	2,337,563	600,000

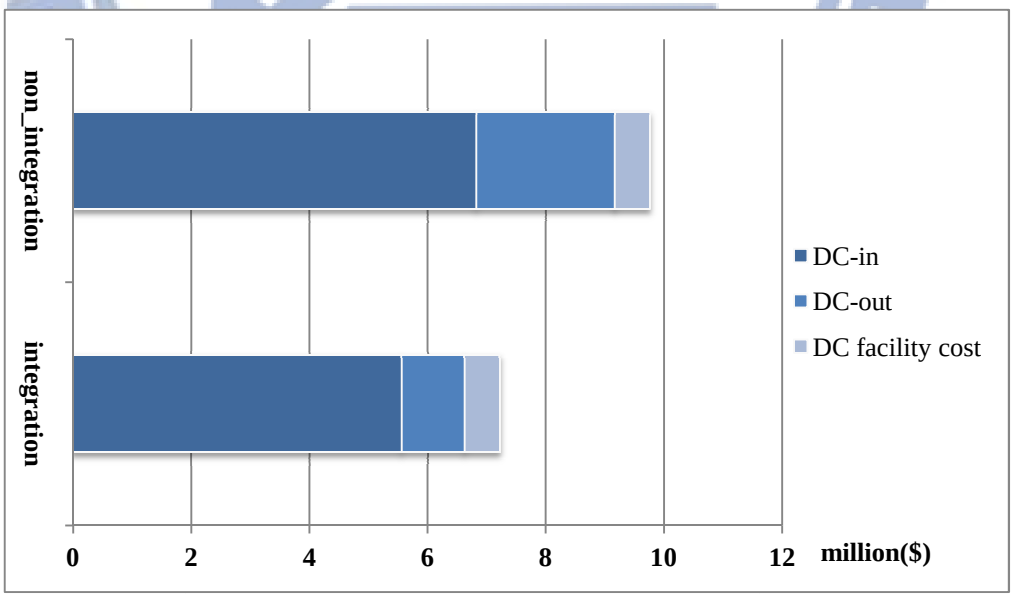


圖 4-11 R2 成本結構圖(例題 15)

表 4-5 為 R4 例題 3 各成本項總額，整合前後物流中心設置成本亦相同，但其總成本相差約一百四十萬左右，結果同樣反應在 DC Inbound 及 DC Outbound 中，下圖 4-12 為 R4 例題 3 成本結構示意圖，圖中可發現當考量上游運輸整合情況時，同樣對於上下游運輸成本皆有改善效果。

表 4-5　R4 成本結構表(例題 3)

R4(25,10,36,100)	Total cost	DC-in	DC-out	DC facility cost
Integration	4,790,897	3,558,492	752,405	480,000
Non_integration	6,133,602	4,162,321	1,491,281	480,000

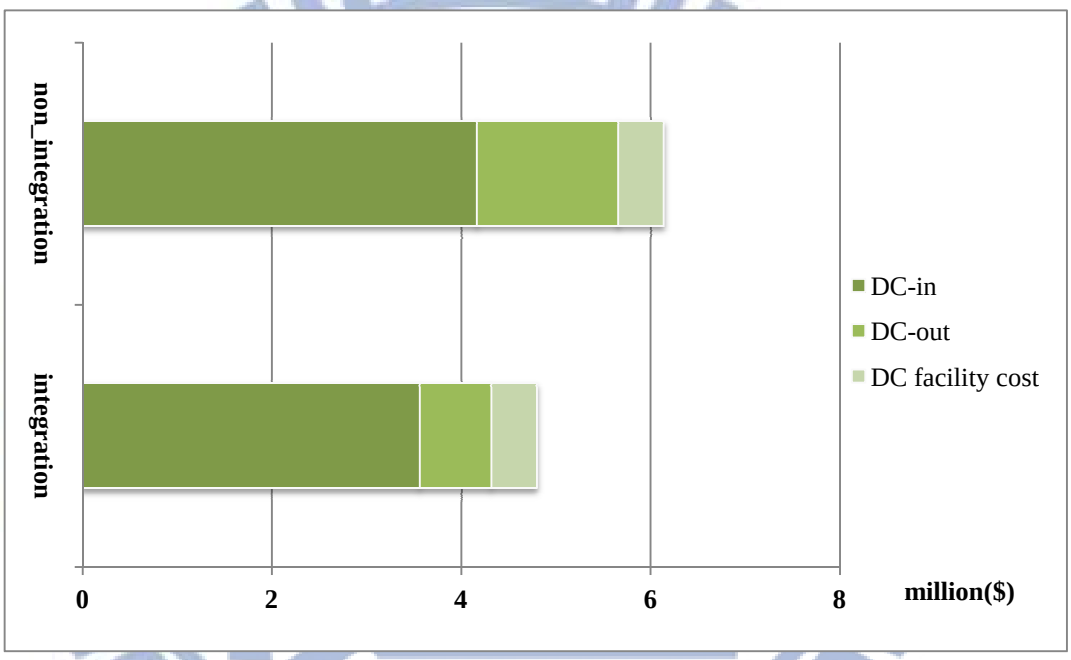


圖 4-12　R4 成本結構圖(例題 3)

過往傳統設施區位問題中，在計算總成本時，一般只考量設施至需求點的運輸成本以及設施設置成本，於本研究中即為 DC Outbound 與 DC total cost 加總之結果，其佔整體供應鏈架構總成本約三分之一左右，於本研究針對整體供應鏈架構下物流中心的區位設置決策，並考量上游運輸整合的情況中下，由上述兩個例題的總成本結構，可證明上游運輸整合對於上下游運輸成本影響的重要性。

第五章 結論與建議

物流中心的區位設置乃供應鏈設計的一環，對於供應鏈整體運作佔有一席之地，而實務上對於車輛往返運量不均及空車回程之情形時有所聞，故本研究將物流中心區位選址決策並考量整合上游運量問題，建構一混合整數規劃模型，設計例題求解並進行分析，另一方面，也透過求解例題檢視演算法的求解品質與效率。

當本研究問題規模擴大時，其不易於在有效時間內求得結果，故為達到求解效率，本研究利用過往研究區位問題時所經常使用的拉式鬆弛法進行求解，透過放鬆數學限制式，將原問題拆解成容易求解的子問題，再將此結果進行修正而得到可行解，並利用拉式乘數在每個遞迴中不斷更新，以達到近似最佳解。於第四章數值測試中，先設計一例示性問題說明數學模式中階層數的考量對於設施區位選擇的變化，而後設計三種規模(10,5,16,30)、(20,20,16,80)、(25,10,36,100)的問題進行演算法的求解，於小例題的設計上，除了參考過往文獻利用亂數隨機產生點座標的方式外，本研究將物流中心的潛在區位利用已知座標格線交叉位置的方式進行情境上的求解，此舉乃考量過往決策層利用亂數產生的適當性與合理性，為本研究之特色之一。

本研究數值測試結果於規模(10,5,16,30)的問題中，除了少部分求解結果與最佳解有些微差距外，其餘皆達到最佳解，在整合前後節省成本的比率上，平均可節省 25%左右，而在求解時間上，本研究所提出之拉式演算法相較於傳統最佳化軟體，更能大幅減少運算時間，另外，於大型規模(20,20,16,80)、(25,10,36,100)問題中，雖然在上下限值間的差距與求解時間上有隨規模增加的情況外，其節省的總成本的比率可達到 30%左右，由成本結構圖可顯示上游運輸整合對於供應鏈規劃在減少運輸成本方面的實質影響。

敘述本研究內容與數值測試結果後，本研究進一步針對以下幾點內容給予建議和改進：

1. 於本研究所建構的運量整合區位模式，僅約略考量可整合商品之數量，實際上商品潛在的整合比率應須藉由實務資料所獲得，未來可引入此整合比率參數於模式中，以貼近實務意涵。

2. 本研究對於上下限值收斂情況，仍有其改善的空間，未來可評估利用其它拉式乘數更新方法，或將拉氏鬆弛法與其他演算法合併使用以提升求解品質，設計更接近實務之大型的問題或尋求實務資料進行求解並分析其結果。

3. 透過上述研究內容，除了加強企業除重視區位選址之外，整合上游運量概念的重視，可減少物流成本的支出，對於提升企業進入幅員廣大的新興市場對於其供應鏈規劃與發展有相當重要的影響，若未來能導入整合下游運量問題之研究，將可加強整體供應鏈設計的研究發展。

參考文獻

Aksen, D., Altinkemer, K. (2008). “A location-routing problem for the conversion to the‘‘click-and-mortar” retailing: The static case,” *European Journal of Operational Research* 186, 554–575.

Billionnet, A., Elloumi, S., Grouz-Djerbi, L. (2005). “Designing radio-mobile access networks based on synchronous digital hierarchy rings,” *Computers and Operations Research* 32, 379–394.

Ballou, Ronald H., Business Logistics/supply Chain Management, 5rd Edition, Pearson Prentice Hall, 2003.

Daskin, M.S., Coullard, C.R. and Shen, Z.-J.M. (2002). “An inventory location model: formulation, solution algorithm and computational results,“ *Annals of Operations Research* 110, 83–106.

Daskin, M.S., Network and Discrete Location: Models, Algorithm, and Applications, Wiley-Interscience ,USA, 1995.

Fisher, M.L. (2004). ”The Lagrangian relaxation method for solving integer programming problems,” *Management Science* 50, 1861–1871.

Farahani,R.Z., Hekmatfar, M.(2009), Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies, London , Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Gourdin, E., Labbe, M., Lapporte, G., (2000). “The uncapacitated facility location problem with client matching,” *Operations Research* 48, 671–685.

Ghiani G., Laporte G., Musmanno R., Introduction to Logistics Systems Planning and Control, Wiley, 2004.

Klincewicz, J.G. (1986). ”A Lagrangian Relaxation Heuristic for Capacitated Facility Location with Single-Source Constraints,“ *The Journal of the Operational Research Society* 37, 495-500.

Kaveh,A., Nasr Esfahani,H. (2011). “Solving the conditional and unconditional p-center problem with modified harmony search: A real case study,” *Scientia Iranica* 18, 867–877.

Klose,A., Drexl,A. (2005). “Facility location models for distribution system design,” *European Journal of Operational Research* 162, 4–29.

Litvinchev, I. (2012). ”Solving the Two-Stage Capacitated Facility Location Problem by the Lagrangian Heuristic,” *Computational Logistics* 7555, 92-103

Min, H., Jayaraman, V., Srivastava, R. (1998). ”Combined location-routing problems: A synthesis and future research directions,“ *European Journal of Operational Research* 108, 1–15.

Melo, M.T., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F. (2009). ”Facility location and supply chain management – a review,” *European Journal of Operational Research* 196, 401–412.

Nozick, L.K. (2001). ”The fixed charge facility location problem with coverage restriction,“ *Transportation Research Part E, Logistics and Transportations Review* 37, 281–296.

Nagy, G., Salhi S. (2007). “Location-routing: issues, models and methods,” *European Journal of Operational Research* 177, 649–672.

Owen, S.H. , Daskin, M.S. (1998). “Strategic facility location: A review,” *European Journal of Operational Research* 111, 423–447.

Pirkul, H., Jayaraman V. (1998). ”A multi-commodity, multi-plant, capacitated facility location problem: Formulation and efficient heuristic solution,” *Computers & Operations Research* 25, 869–878.

ReVelle, C.S. , Eiselt, H.A. (2005). “Location analysis: A synthesis and survey,” *European Journal of Operational Research* 165, 1–19.

Shen, Z.-J.M., Coullard C., Daskin M.S. (2003), “A joint location-inventory model,” *Transportation Science* 37, 40–55.

Snyder, L.V. (2006). ”Facility location under uncertainty: A review,” *IIE Transactions* 38, 537–554.

Snyder, L.V., Daskin , M.S., Teo , C.-P. (2007). “ The stochastic location model with risk pooling,” *European Journal of Operational Research* 179, 1221–1238.

Tragantalerngsak, S., Holt, J., Ronnqvist, M. (1997). ”Lagrangian heuristics for the two-echelon, single-source, capacitated facility location problem,” *European Journal of Operational Research* 102, 611–625.

Wasner, M., Za¨pfel, G. (2004). ”An integrated multi-depot hublocation vehicle routing model for network planning of parcel service,” *International Journal of Production Economics* 90,403–419.

Yildiz, H., Ravi, R., & Fairey, W. (2010). ”Integrated optimization of customer and supplier logistics at Robert Bosch LLC,” *European Journal of Operational Research* 207, 456-464.

Zhu, Z., Chu, F., Sun, L. (2010). “The capacitated plant location problem with customers and suppliers matching”, *Transportation Research Part E* 46, 469-480.

經濟部商業司，臺灣物流年鑑 2004，臺北市，經濟部商業司，民國九十三年。

李淑秋，台灣物流費用，國立成功大學，2009 產業運籌專欄，民國九十八年。

【網頁】

American Association of Port Authorities：http://www.aapa-ports.org/home.cfm

台灣產業物流運籌知識服務網：http://gcis.nat.gov.tw/like/

附錄一　工廠、物流中心、零售商三個階層之區位模式

【數學模式】

$$Minimize \quad \sum_{K} F_k x_k + \sum_{J}\sum_{K}\sum_{L} C_{jkl} D_{jl} y_{jkl} \tag{A.1}$$

$$\sum_{k} y_{jkl} = 1 \qquad \forall j \in J, l \in L \tag{A.2}$$

$$y_{jkl} \le x_k \qquad \forall j \in J, k \in K, l \in L \tag{A.3}$$

$$x_k \in \{0,1\} \qquad \forall k \tag{A.4}$$

$$y_{jkl} \ge 0 \qquad \forall j,k,l \tag{A.5}$$

【符號說明】

j　：表工廠　　(J:所有工廠之集合)。
k　：表物流中心　(K:所有物流中心之集合)。
l　：表零售商　　(L:所有零售商之集合)。

決策變數:

x_k　：若設置設施點 k 其數值 1，否則為 0。
y_{jkl}　：商品由物流中心 k 運送至零售商 l 其所佔比例是由工廠 j 所供給。

參數:

F_k　：設置物流中心 k 之固定成本。
D_{jl}　：工廠 j 供應零售商 l 之需求。
C_{jkl}：商品由工廠 j 經過物流中心 k 到達零售商 l 之每單位運輸成本

目標式(A.1)為最小化總成本，包含設施的固定成本與運送成本，式(A.2)表示對於每個已知的工廠與其服務的零售商，商品流不論流經何處物流中心，其必須滿足需求，式(A.3)表示設施點 k 有設置才可以產生流量，式(A.4)和(A.5)表示決策變數 x_k 為 0-1 變數且 y_{jkl} 為非負數。

附錄二 設施容量與成本的模式

以往探討區位問題時，經常將設施建構成本全部歸類為固定成本，而本研究參考 Ghiani *et al.* (2004)書中針對設施成本的計算上，將設施建構成本分為設施固定成本以及設施變動成本，其中設施固定成本與流量多寡並無直接關係，而設施變動成本則與運輸流量息息相關，假設當流量大時，則需要面積較大的土地，購地成本因此提高，故此類相關成本可歸類為設施變動成本，於本研究中，將此一設施變動成本併入物流中心運送商品至零售商此段運輸成本(C_{kl})當中，可表現成圖中式子所示，運輸成本(C_{kl})包含設施變動成本(g_k)以及原始的運輸成本($C_{kl}^{'}$)，如此在計算設施建構成本方面時，能有更精確的估算設施容量以及其成本的關係，如圖 A-1。

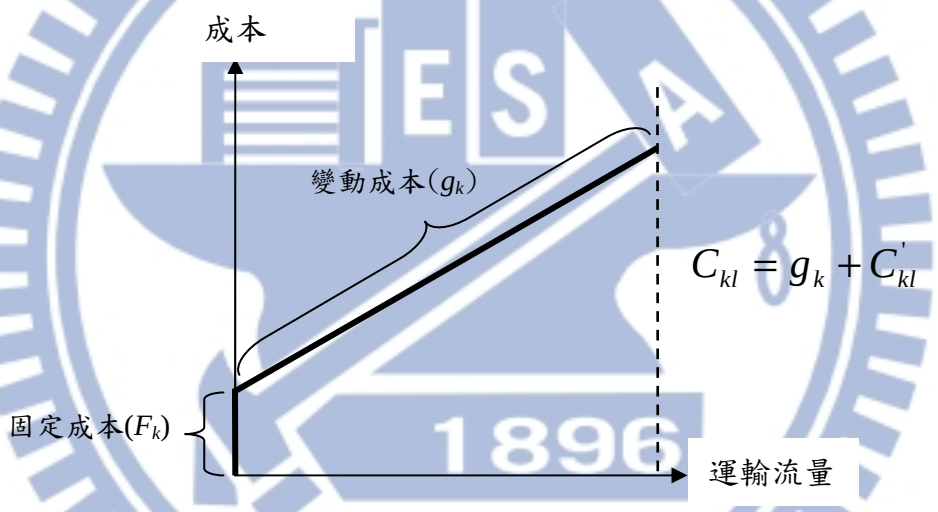


圖 A-1 設施建構成本之示意圖

資料來源: Ghiani *et al.*, 2004

附錄三　數值測試結果資料

例題規模 R1(10,5,16,30)　　遞迴數:500 次　　物流中心設置成本:40,000/棟

Problem Set	LB	UB	OPT	Gap^S	Gap^B	Integration benefit	LR Time	IP Time
1	714,275	730,520	730,520	0.00%	2.27%	20.76%	9	12
2	675,125	697,382	697,382	0.00%	3.30%	21.40%	8	12
3	807,417	839,054	839,054	0.00%	3.92%	30.28%	8	18
4	705,561	726,797	726,797	0.00%	3.01%	22.56%	8	19
5	596,907	605,790	605,790	0.00%	1.49%	21.94%	8	7
6	704,373	732,352	732,352	0.00%	3.97%	27.32%	9	27
7	828,283	857,382	857,382	0.00%	3.51%	24.77%	9	40
8	887,387	898,737	898,737	0.00%	1.28%	22.56%	9	27
9	802,200	835,710	835,710	0.00%	4.18%	37.14%	9	40
10	724,895	743,765	743,765	0.00%	2.60%	26.89%	8	18
11	617,553	631,202	631,202	0.00%	2.21%	19.16%	5	18
12	733,406	763,984	763,984	0.00%	4.17%	28.96%	9	32
13	618,697	631,202	631,202	0.00%	2.02%	19.16%	9	17
14	822,902	847,584	847,584	0.00%	3.00%	28.50%	9	34
15	748,955	763,786	763,786	0.00%	1.98%	24.51%	8	17
16	718,081	751,642	751,642	0.00%	4.67%	21.44%	8	12
17	807,411	833,782	833,782	0.00%	3.27%	27.67%	9	31
18	632,471	641,445	641,445	0.00%	1.42%	29.75%	9	9
19	671,756	698,890	698,890	0.00%	4.04%	21.47%	8	16
20	768,983	786,261	786,261	0.00%	2.25%	22.48%	9	21
21	744,230	763,086	763,086	0.00%	2.53%	33.33%	9	20
22	728,515	750,205	750,205	0.00%	2.98%	29.14%	9	23
23	716,394	747,843	747,843	0.00%	4.39%	24.02%	9	26
24	757,340	777,156	777,156	0.00%	2.62%	25.50%	9	18
25	711,961	745,171	745,171	0.00%	4.66%	17.93%	9	28
Average				***0.00%***	***3.03%***	***25.15%***	***9***	***22***

本規模例題上游整合後平均約設置 2 棟物流中心。

例題規模 G1(10,5,16,30)　遞迴數:500 次　物流中心設置成本:40,000/棟

Problem Set	LB	UB	OPT	Gap^S	Gap^B	Integration benefit	LR Time	IP Time
1	691,277	709,874	709,874	0.00%	2.69%	22.25%	9	15
2	649,147	675,575	675,575	0.00%	4.07%	21.29%	9	33
3	794,053	838,927	836,060	0.34%	5.29%	26.30%	8	102
4	692,834	724,676	724,676	0.00%	4.60%	23.18%	9	34
5	576,439	598,746	598,746	0.00%	3.87%	20.26%	8	19
6	679,077	727,536	722,156	0.74%	6.34%	26.46%	9	85
7	808,736	841,481	841,481	0.00%	4.05%	19.67%	9	53
8	881,120	902,131	902,131	0.00%	2.38%	18.13%	8	30
9	784,977	815,045	815,045	0.00%	3.83%	31.60%	9	21
10	707,000	739,966	739,966	0.00%	4.66%	19.75%	9	20
11	711,375	745,148	745,148	0.00%	4.75%	29.08%	9	43
12	715,722	743,778	743,778	0.00%	3.92%	30.97%	9	36
13	593,167	628,662	628,662	0.00%	5.98%	17.25%	9	31
14	782,436	813,748	813,748	0.00%	4.00%	29.96%	9	35
15	740,311	767,130	767,130	0.00%	3.62%	24.59%	9	68
16	680,479	722,734	722,734	0.00%	6.21%	20.81%	9	62
17	789,573	825,085	825,085	0.00%	4.50%	22.78%	9	110
18	600,550	636,619	636,619	0.00%	6.01%	22.54%	9	54
19	670,232	700,564	700,564	0.00%	4.53%	21.52%	9	19
20	758,027	783,591	783,591	0.00%	3.37%	22.45%	9	22
21	710,382	752,266	752,266	0.00%	5.90%	25.33%	9	104
22	697,363	736,474	736,474	0.00%	5.61%	24.45%	9	25
23	711,129	742,923	742,923	0.00%	4.47%	26.06%	9	39
24	712,171	742,927	742,927	0.00%	4.32%	23.92%	9	38
25	673,258	706,429	706,429	0.00%	4.93%	21.86%	9	105
Average				***0.04%***	***4.56%***	***23.70%***	***9***	***48***

本規模例題上游整合後平均約設置 2 棟物流中心。

附註：

Gap^S 表示拉式鬆弛法平均上限值(UB)與最佳解之差距。

Gap^B 表示拉氏鬆弛法平均下限值(LB)與最佳解之差距。

Integration Benefit 為”(整合前總成本-整合後總成本)/整合後總成本”之比率。

LR Time 為本研究拉式鬆弛演算法平均求解時間(秒)。

IP 為利用 LINGO 求得最佳解之平均求解時間(秒)。

例題規模 R2(20,20,16,80)　遞迴數:600 次 物流中心設置成本:100,000/棟

Problem Set	LB	UB	Gap	Integration benefit	LR Time
1	6,524,875	6,641,507	1.79%	33.36%	121
2	6,885,073	6,999,780	1.67%	32.34%	119
3	7,655,754	7,762,649	1.40%	38.49%	120
4	6,514,890	6,602,602	1.35%	31.35%	120
5	6,891,712	6,978,463	1.26%	30.06%	120
6	7,106,942	7,214,713	1.52%	35.28%	119
7	7,040,087	7,179,746	1.98%	34.41%	123
8	7,192,619	7,369,757	2.46%	31.73%	127
9	6,624,659	6,771,035	2.21%	33.22%	127
10	7,152,254	7,285,947	1.87%	33.20%	121
11	6,885,073	6,999,780	1.67%	32.34%	120
12	7,655,754	7,762,649	1.40%	36.95%	122
13	6,514,890	6,602,602	1.35%	31.35%	122
14	6,891,712	6,978,463	1.26%	30.06%	121
15	7,106,942	7,214,713	1.52%	35.28%	120
16	7,040,087	7,179,746	1.98%	34.41%	122
17	7,192,619	7,369,757	2.46%	31.73%	127
18	6,624,659	6,771,035	2.21%	33.22%	127
19	7,152,254	7,285,947	1.87%	33.20%	121
20	7,366,662	7,442,584	1.03%	31.59%	123
21	6,789,589	6,930,099	2.07%	29.67%	124
22	6,620,619	6,740,452	1.81%	33.29%	124
23	6,712,547	6,795,559	1.24%	30.42%	120
24	6,532,259	6,716,963	2.83%	29.14%	120
25	7,006,643	7,147,367	2.01%	32.84%	122
Average			***1.77%***	***32.76%***	***122***

本規模例題上游整合後平均約設置 6 棟物流中心。

例題規模 R3(20,20,16,80)　遞迴數:600 次 物流中心設置成本:140,000/棟

Problem Set	LB	UB	Gap	Integration benefit	LR Time
1	6,728,903	6,908,655	2.67%	31.80%	126
2	7,116,597	7,367,939	3.53%	29.71%	123
3	7,877,788	8,046,278	2.14%	35.85%	132
4	6,709,812	6,886,597	2.63%	30.47%	125
5	7,134,465	7,312,727	2.50%	28.22%	125
6	7,328,843	7,511,679	2.49%	34.37%	120
7	7,274,771	7,452,418	2.44%	33.97%	125
8	7,446,520	7,688,750	3.25%	31.13%	127
9	6,851,120	7,093,872	3.54%	31.99%	130
10	7,374,247	7,612,542	3.23%	31.95%	121
11	7,374,871	7,736,109	4.90%	28.19%	129
12	8,150,931	8,357,967	2.54%	35.12%	136
13	6,946,436	7,195,923	3.59%	29.15%	122
14	7,410,424	7,639,774	3.09%	28.54%	126
15	7,591,630	7,799,519	2.74%	34.41%	120
16	7,562,242	7,813,325	3.32%	32.92%	126
17	7,712,646	8,162,890	5,84%	28.52%	129
18	7,105,577	7,448,078	4.82%	30.07%	131
19	7,644,758	7,980,872	4.40%	30.63%	127
20	7,855,632	8,042,584	2.38%	29.16%	139
21	7,262,385	7,580,616	4.38%	28.33%	132
22	7,072,199	7,268,531	2.78%	32.55%	132
23	7,195,524	7,353,758	2.20%	29.44%	129
24	7,001,054	7,353,035	5.03%	26.70%	128
25	7,477,098	7,790,451	4.19%	31.01%	127
Average			***3.28%***	***30.97%***	***127***

本規模例題上游整合後平均約設置 4 棟物流中心。

例題規模 R4(25,10,36,100)　遞迴數:800 次　物流中心設置成本:80,000/棟

Problem Set	LB	UB	Gap	Integration benefit	LR Time
1	4,186,337	4,277,856	2.19%	27.59%	244
2	4,264,966	4,390,668	2.95%	27.75%	247
3	4,635,761	4,790,897	3.35%	28.03%	251
4	4,442,271	4,575,953	3.01%	31.47%	240
5	4,200,387	4,333,763	3.18%	31.49%	244
6	4,169,471	4,329,390	3.84%	27.59%	245
7	3,977,062	4,122,721	3.66%	28.40%	252
8	4,270,030	4,452,519	4.27%	27.34%	246
9	4,297,045	4,473,941	4.12%	27.35%	242
10	3,955,555	4,115,815	4.05%	29.20%	244
11	4,127,123	4,290,384	3.96%	31.14%	238
12	4,143,219	4,321,750	4.31%	26.17%	235
13	4,099,030	4,258,142	3.88%	27.65%	232
14	4,438,278	4,623,318	4.17%	30.13%	238
15	4,230,685	4,379,408	3.52%	31.95%	232
16	3,958,765	4,071,961	2.86%	29.26%	232
17	4,113,138	4,259,593	3.56%	25.61%	236
18	4,395,598	4,571,311	4.00%	26.72%	236
19	4,095,890	4,251,819	3.81%	30.84%	239
20	4,379,444	4,529,265	3.42%	28.01%	232
21	4,402,090	4,542,647	3.19%	30.77%	236
22	4,943,587	5,072,810	2.61%	28.33%	231
23	4,050,618	4,207,301	3.87%	29.53%	237
24	4,416,389	4,594,327	4.03%	29.63%	236
25	4,137,592	4,271,361	3.23%	27.91%	237
Average			***3.56%***	***28.79%***	***239***

本規模例題上游整合後平均約設置 5 棟物流中心。

例題規模 R5(25,10,36,100)　遞迴數:800 次　物流中心設置成本:140,000/棟

Problem Set	LB	UB	Gap	Integration benefit	LR Time
1	4,430,490	4,610,356	4.06%	25.32%	250
2	4,514,919	4,710,669	4.34%	26.77%	250
3	4,867,146	5,066,843	4.10%	29.89%	255
4	4,692,877	5,066,843	5.30%	26.63%	244
5	4,440,502	4,647,396	4.66%	30.36%	249
6	4,399,285	4,609,770	4.72%	28.01%	247
7	4,217,833	4,428,186	4.99%	26.10%	254
8	4,502,566	4,733,105	5.12%	28.04%	250
9	4,540,057	4,799,188	5.71%	25.57%	250
10	4,201,399	4,461,403	6.19%	28.60%	250
11	4,314,172	4,517,057	4.70%	29.86%	256
12	4,329,617	4,523,255	4.47%	26.36%	253
13	4,298,840	4,500,689	4.70%	27.32%	247
14	4,631,945	4,914,701	6.10%	29.33%	258
15	4,421,468	4,671,589	5.66%	29.22%	251
16	4,144,236	4,330,589	4.50%	27.57%	255
17	4,289,940	4,480,627	4.44%	24.58%	252
18	4,586,300	4,810,801	4.90%	27.95%	253
19	4,302,132	4,513,276	4.91%	28.92%	260
20	4,564,719	4,783,776	4.80%	28.11%	246
21	4,598,011	4,802,873	4.46%	30.40%	254
22	5,127,506	5,287,057	3.11%	28.41%	248
23	4,240,776	4,451,942	4.98%	28.91%	254
24	4,619,062	4,886,240	5.78%	28.51%	256
25	4,323,632	4,521,336	4.57%	26.68%	258
Average			***4.85%***	***27.90%***	***252***

本規模例題上游整合後平均約設置 4 棟物流中心。

附註：

Gap 表示拉式鬆弛法平均上限值(UB)與下限值(LB)之差距。

簡歷

中文姓名：陳彥蓉
英文姓名：Yen-Jung Chen
出生日期：民國 77 年 11 月 7 日
聯絡地址：台北市內湖區康寧路三段 189 巷 46 號 3 樓
聯絡電話：0963-094167
E-mail : unrealmoon7@hotmail.com

簡歷：
民國 103 年 1 月 國立交通大學 運輸與物流管理學系 碩士班畢業
民國 100 年 6 月 國立海洋大學 運輸科學系 畢業
民國 96 年 6 月 國立中正高級中學 畢業