

國立交通大學
運輸與物流管理學系

碩士論文

考量需求不確定性與上游運輸整合
之物流中心選址問題

A Distribution Center Location Problem with Demand
Uncertainty and Upstream Transportation Integration

研究生：吳宇晴

指導教授：黃寬丞 教授

中華民國 一 〇 七 年 七 月

考量需求不確定性與上游運輸整合之物流中心選址問題

A Distribution Center Location Problem with Demand Uncertainty and
Upstream Transportation Integration

研究生：吳宇晴 Student：Yu-Ching Wu

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

July 2018

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇七年七月

考量需求不確定性與上游運輸整合之物流中心選址問題

學生：吳宇晴

指導教授：黃寬丞 教授

國立交通大學運輸與物流管理學系碩士班

摘要

企業進入新興市場時，一般會先由代理商協助進口開始拓展客源，再進一步尋找適合之供應商、並於當地設立工廠製造產品以滿足需求，供需穩定後便會思考是否需著手建立物流服務系統(如：物流中心)，本論文將以此為研究背景，假設企業已知其供應商、製造工廠與下游零售商位置的前提下，決策物流中心設置地點的問題。

然而，供應鏈體系中，若無法善用運輸資源，將產生大量空車回程並造成資源浪費，此外，由於物流中心的使用期限較長，若在選址問題的決策中，無法將零售商需求量的不確定性一併納入考量，將導致物流中心使用後期效果不彰。基於上述考量，本研究擬整合上游「供應商－工廠」及「工廠－物流中心」兩段運輸流程，並同時考量下游零售商的需求不確定性，希望能藉此有效降低運輸成本並減少隨機性造成的決策誤差。本研究透過建構混合整數規劃之隨機規劃模型與基因演算法求解物流中心選址之最佳化問題，利用數值測試檢驗求解品質與效率，並利用完整資訊之期望價值(EVPI)與隨機解價值(VSS)來評估隨機規劃結果的優劣。

由數值測試的結果可以發現，若在決策物流中心地點的同時，能整合上游運輸並考量下游需求的隨機性，便能夠有效降低運輸成本，進而增加企業利潤；此外，基因演算法的近似解與最佳解間的差距平均為 1%，且能節省超過 80% 的求解時間。

關鍵字：選址問題、物流中心、隨機規劃、需求不確定性、運輸整合

A Distribution Center Location Problem with Demand Uncertainty and Upstream Transportation Integration

Student : Yu-Ching Wu

Advisor : Dr. Kuancheng Huang

Department of Transportation and Logistics Management
National Chiao Tung University

ABSTRACT

When initially entering an emerging market, a company may export via local agents and sales subsidiary. After establishing its upstream suppliers and production factories, the company can further consider setting up its own distribution system in order to improve service level and increase profit. Based on the scenario, this study aims to optimize the location decision of distribution centers, given the fixed locations of the suppliers, plants, and retailers.

In particular, in this study, the upstream transportation operation is integrated; that is, supplier–plant and plant–distribution center are considered, with the objective of decreasing the number of empty backhauls. We also take the demand uncertainty into consideration to adapt to the changing business situations at the sites of retailers. We develop a mixed-integer programming (MIP) model based on the stochastic programming (SP) technique and a genetic algorithm to solve the location problem. Also, we use two indicators, namely Expected Value of Perfect Information (EVPI) and Value of Stochastic Solution (VSS), to evaluate the results of the stochastic programming model.

Based on the numerical experiments, it is found that we can decrease the total supply chain cost after considering upstream transportation integration and uncertain demand. Besides, the solution quality gap of the genetic algorithm with respect to the optimal solution is with less than 1% gap. In addition, more than 80% of the computational time can be saved.

Keywords: Location Problem, Distribution center, Stochastic Programming, Demand uncertainty, Transportation Integration

誌謝

謝謝爸媽哥哥姐姐，讓我能夠無憂無慮的讀書到二十四歲，因為有你們的支持，我在求學的路上可以很放心的走著。

謝謝交大、謝謝成大，讓我能夠在學校的保護下，勇敢的去做所有我想做的事，謝謝一路以來給予指導的老師們，培養我去發掘問題並解決問題的能力。

謝謝 KC lab 的另外兩位夥伴，在論文卡關無解的時候，總會給我許多建議，讓我的論文能順利走下去。

謝謝其他碩二的同學，一起在統艙的日子格外溫馨有趣，揪團訂外送的日子絕對會是將來懷念的回憶。

謝謝自己努力堅持下來了，謝謝大家，我終於畢業了！

目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	V
表目錄.....	VI
一、緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究範圍與目的.....	4
1.3 研究方法與架構.....	5
二、文獻回顧.....	6
2.1 考量運輸整合之設施選址問題.....	6
2.2 考量隨機性之設施選址問題.....	9
2.2.1 隨機規劃相關理論.....	9
2.2.2 考量需求隨機性之設施選址問題相關文獻.....	10
2.3 文獻小結.....	12
三、數學模型與演算法之建構與說明.....	13
3.1 數學模型建構.....	13
3.1.1 模型使用之符號與參變數定義.....	14
3.1.2 數學模型.....	14
3.2 基因演算法.....	16
四、數值測試.....	20
4.1 例示性測試例題.....	20
4.2 小型測試例題.....	25
4.3 大型測試例題.....	28
五、結論與建議.....	31
參考資料.....	32
附錄一 設施容量限制.....	36
附錄二 基因演算法參數設定.....	37
簡歷.....	41

圖目錄

圖 1-1 本研究之供應鏈階層示意圖	2
圖 1-2 運輸整合之影響	2
圖 1-3 需求不確定性之影響	3
圖 1-4 研究架構圖	5
圖 2-1 設施服務顧客之方式(A)直送旅次(B)途程旅次	7
圖 2-2 供應商－工廠－顧客之三角關係 (A)運輸整合前 (B)運輸整合後	8
圖 2-3 使用整合平台前後之流量比較	8
圖 2-4 隨機規劃模型相關指標關係圖	10
圖 3-1 本研究之染色體編碼示意圖	17
圖 3-2 單點交配示意圖	18
圖 3-3 本研究之基因演算法流程圖	19
圖 4-1 例示性問題 WS 值之求解結果－高需求情境	22
圖 4-2 例示性問題 WS 值之求解結果－中需求情境	22
圖 4-3 例示性問題 WS 值之求解結果－低需求情境	22
圖 4-4 例示性問題 RP 值之求解結果	23
圖 4-5 例示性問題 EEV 值之求解結果	23
圖 4-6 小型測試例題之題組 8 結果示意圖	26
圖 4-7 小型測試例題之題組 13 結果示意圖	27
圖 A-1 設施建構成本示意圖	36
圖 A-2 不同迴圈數下基因演算法之平均目標式值	37
圖 A-3 不同迴圈數下基因演算法之最佳目標式值	38
圖 A-4 不同交配率下基因演算法之平均目標式值	38
圖 A-5 不同交配率下基因演算法之最佳目標式值	39
圖 A-6 不同突變率下基因演算法之平均目標式值	39
圖 A-7 不同突變率下基因演算法之最佳目標式值	40

表目錄

表 1-1 設施選址問題四項分類指標	4
表 2-1 整合上游運輸流程之文獻整理	9
表 4-1 例示性問題之地點與編號	20
表 4-2 三種需求情境之參數設定	21
表 4-3 例示性問題之求解結果統整表.....	24
表 4-4 小型測試例題之各情境參數設定	25
表 4-5 小型測試例題之測試結果	26
表 4-6 小型測試例題使用基因演算法之求解結果.....	28
表 4-7 大型測試例題之各情境參數設定.....	28
表 4-8 大型測試例題之測試結果	29
表 4-9 大型測試例題使用基因演算法之求解結果.....	29
表 4-10 取大型例題題組 6 調整建置成本之數據結果.....	30

一、緒論

1.1 研究背景與動機

企業在進入海外市場時，往往會分階段採取不同的策略，Johanson 與 Wiedersheim-Paul 學者於 1975 年提出之文獻中，將企業進入新興市場分成三個主要階段，代理商協助進口 (export via independent agent)、設立銷售子公司 (sales subsidiary)、自行製造生產 (production/manufacturing)，故可發現多數企業在進入新興市場的前期，會先透過代理進口的方式，將多數資源投入於拓展市場及穩定客源，而不涉足物流或製造等層面，待企業進入發展中期、市場成熟，供應端與需求端皆有穩定往來對象後，才會開始思考是否需於當地建立自身的物流服務系統，除了能更有效掌控進出貨的資訊、提升整體服務水準，還能夠降低運輸與倉儲成本、進而增加企業利潤。文獻中列舉四間瑞典企業為例，一間位於瑞典桑德維肯 (Sandviken) 的鋼鐵製造商在 1862 年成立後，於 1928 年透過代理商協助跨足澳洲市場，並於 1961 年及 1965 年分別成立銷售子公司及製造部門開始於當地製造生產；此外，瑞典知名汽車製造商 Volvo 在 1960 年同樣透過代理商協助進口澳洲後，並於 1970 年成立整合銷售與製造的子公司。除了歐洲地區的例子外，Sim (2006) 文獻則舉出新加坡與馬來西亞 20 餘種不同產業國際化時的策略差異，如紡織業、電子業、食品業等；故我們可以發現，企業在進入新市場後，往往會先透過成立代理商、子公司，市場穩固後，才會於新市場建立製造與生產中心。

本研究建構於上述文獻之研究結果，以企業跨足新市場，從第一階段代理商進口、第二階段輔以子公司之營運，穩定客源後進入第三階段之自行生產與製造，此階段之後，企業便可能進一步嘗試垂直整合其供應鏈系統，建立自己的物流中心，期望能藉此整合方式來增加服務水準並提高資源利用效益。總言之，本研究假設企業之上游供應端 (供應商、工廠) 與下游需求端 (零售商) 位置為已知的前提下，決定物流中心的設置地點，以利供應鏈上下游間的整合與規劃。

此外，一般供應鏈由上至下游分為供應商、工廠、物流中心 (Distribution Center, DC)、零售商四個角色，研究中若同時考量四個角色，則稱為三階層供應鏈，若只考量其中三個角色 (如供應商、工廠、零售商)，則稱為兩階層供應鏈系統，而本研究以三階層供應鏈做為研究背景，盡可能考慮較多的階層數模擬真實供應鏈之運作情境。本研究之供應鏈階層示意圖如圖 1-1，由左至右依序代表上游供應商、工廠、物流中心及下游零售商，其中已知地點之供應商、工廠與零售商以實線圖形表示，而物流中心候選位置則以虛方框表示；實線箭頭代表已知由供應商到工廠的原物料運送流程，而虛線箭號表示與物流中心相關未知的成品流向。

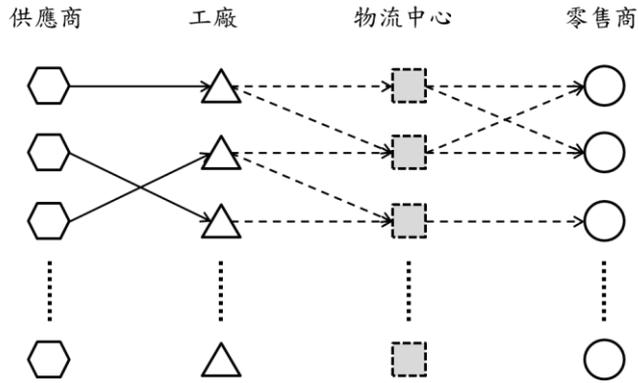


圖 1-1 本研究之供應鏈階層示意圖

在供應鏈網路設計 (Supply Chain Network Design) 的相關文獻中，本研究探討物流中心設置地點之決策屬於設施選址問題 (Facility Location Problem)，而選址問題常與車輛路線問題 (Vehicle Routing Problem, VRP) 合併考量，在建立數學模型時，除了考慮設施的建置成本外，同時將供應鏈各角色間的運輸成本納入目標式中一併考量，加強選址決策的完整性，以整合對象的差異作為不同運輸整合方式的分類依據，其中將選址問題整合下游顧客點的配送流程為文獻中最大宗的議題，也稱作區位路線問題 (Location Routing Problem, LRP)，問題包含設施區位的選擇以及車輛路線的規劃，若設施一次可服務多個顧客時，透過良好的服務順序安排，可提升每趟次車輛的使用效益。

有別於大多數研究鑽研於與下游零售商的運輸整合問題，Huang & Chen (2018) 的研究結果發現，若能妥善整合「供應商—工廠」及「工廠—物流中心」兩段運輸流程，可以減少許多因空車回程而形成的資源耗費，故若於選址問題中加入上游兩段運輸過程之整合，可以大幅減少運輸成本藉此提高企業利潤。以圖 1-2 來說明，圖中連結各圖形之實線代表供給原料與成品的車輛運輸流向，而虛線表示該車空車回程之路線，若能夠透過與供應商合作的方式，當貨車從供應商送至工廠後，再利用同一台車將成品由工廠送至物流中心，則可將原先兩段的空車回程 (如圖 1-2(a)) 減少至一段 (如圖 1-2(b))。故本研究嘗試將上游「供應商—工廠」及「工廠—物流中心」的運輸整合問題，加入物流中心選址的議題中，期望能有效減少空車回程趟次進而降低運輸成本。

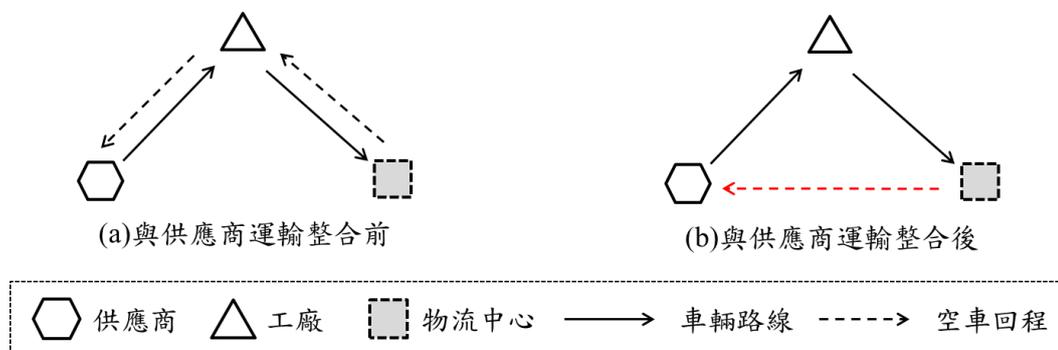


圖 1-2 運輸整合之影響

由於產業的變動或消費習慣的變化，會對供應鏈上下游帶來不同程度的影響，且有些無法預期的事件即便發生次數較不頻繁（如：天災），仍會嚴重影響甚至中斷全球供應鏈的運作，舉例來說，民國 88 年在台灣發生的 921 大地震，便嚴重阻斷台灣半導體產業對外的供應系統，導致送至歐美地區的電腦零件延遲數周的交貨時間 (Meepetchdee et al.,2007)。可以發現供應鏈上下游間存在許多不確定性因子，如運輸成本的不確定性、下游需求的不確定性及供應商之供給不確定性等等，皆會影響求解結果的適用性。

此外，物流中心的位置一旦確定後，將會使用數年甚至數十年的時間，屬長期的規劃決策，影響的時間與範圍更加廣泛，尤以需求之浮動導致選址決策更為困難，若忽略零售商需求浮動，將導致物流中心使用後期運輸成本大幅提高，以下圖 1- 3 為例，有兩個物流中心候選位置 (A 與 B)、六個零售商及其對應之需求量，決策之依據為最小化物流中心建置成本及運輸成本，將連結物流中心及零售商的實線箭號長短視為單位需求之運輸成本大小，故當箭號長度愈長，則代表運輸成本愈高；若未事先考量零售商的需求變動，而以決策當下之需求做為求解依據，則會選擇靠近左側高需求零售商的候選點 A 建置物流中心，如圖 1- 3 (a)；唯當長期下來，消費習性改變導致零售商之需求大幅變動，如圖 1- 3 (b) 右方三個零售商需求由 1 增加至 10，則最佳的物流中心設置地點應為候選點 B，倘若未將此潛在之不確定性納入模型中一併考量，而選擇候選點 A，則可能產生運輸成本高昂的問題，造成決策效益不彰。對此，本研究將下游零售商之需求不確定性作為一主要議題，若能在決策選址問題的同時，將下游零售商的需求浮動一併考量，將增加物流中心之使用效益，並減少因時間推移形成的決策誤差。

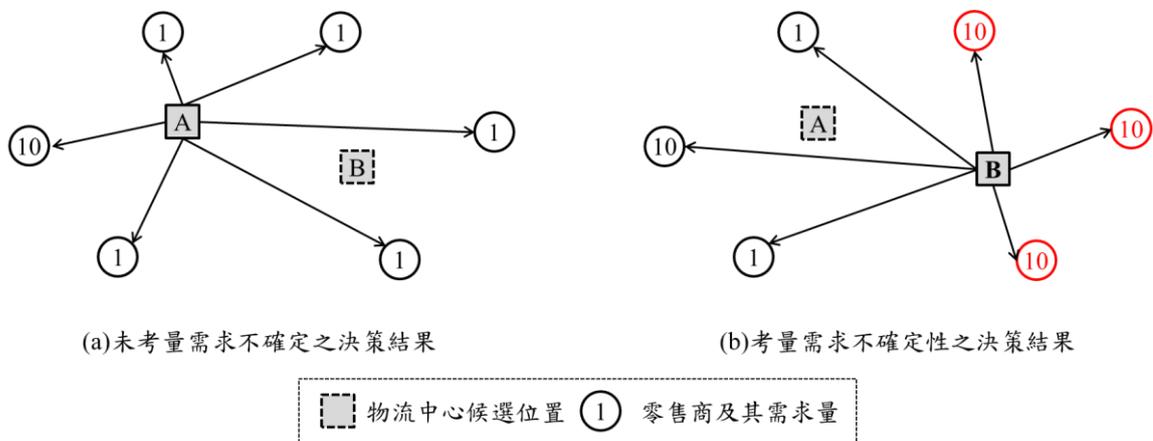


圖 1-3 需求不確定性之影響

1.2 研究範圍與目的

供應鏈管理可以區分為三個層級：策略層面(Strategic)、戰略層面(Tactical)、營運層面(Operation)，若能有效整合各階段的議題，便能替企業帶來正面影響，其中本研究擬探討之設施選址問題則屬於策略性的決策，對整體供應鏈將帶來長時間的顯著影響。Melo et al. (2009) 將設施選址問題依照四項指標分類，分別為供應鏈架構階層數(layer)、商品種類、參數性質、研究期間；文獻中提到約 80% 的問題架構階層數小於二，82% 的文獻探討單一期間 (single period) 的問題，而有 80% 的文獻設定參數為已知，故可發現多數文獻探討階層數少、單一期間、已知參數之問題，分類指標如表 1-1 所示，而本研究擬建構於探討三階層（供應商－工廠－物流中心－零售商）、多種商品 (multiple commodity)、需求隨機 (stochastic demand) 且單一期間之設施選址問題，於表 1-1 中以粗體標示；並同時考量上游運輸之整合與下游需求之不確定性兩項議題。

表 1-1 設施選址問題四項分類指標

供應鏈階層數	階層數 ≤ 2	階層數 ≥ 3
商品種類	單一品項	多品項
研究期間	單期間	多期間
參數性質	確定性	隨機性

整理自 Melo et al. (2009)

當企業進行供應鏈網路設計時，需對其供應商、工廠及其需求端進行了解，盡可能地整合供應鏈間的資源、減少不必要的浪費，故本研究假設各階層間的產品皆能使用同樣的貨車進行運送，且必須依照順序由上游至下游逐層運送，將上游供應商及工廠與下游零售商的位置做為已知參數，透過整合上游的兩段（供應商－工廠、工廠－物流中心）運量，藉此減少空車回程 (deadheading) 的情形發生，進而降低運輸成本並提高車輛使用率；除整合上游運量外，本研究同時考量零售商需求不確定性，第一階段決策物流中心的選址問題，第二階段則決策各需求情境中，物流中心服務零售商需求的分配方式，盡可能將決策前後、時間推移所帶來的影響降低，希望能藉此將問題定義更貼近於實際情境，達成最小化期望成本之目標。

1.3 研究方法與架構

本研究擬先蒐集供應鏈網路設計之相關文獻，藉此了解其研究進展，思考是否有更深入的發展空間，在確立問題定義與研究背景後，著手研讀並整理設施區位問題、隨機規劃應用於最佳化模型之文獻回顧，並建構混合整數規劃之數學模型求解小型例題，再透過基因演算法求解大型問題，最後利用數值測試檢驗求解之品質與效率。

本研究之研究架構如圖 1-4 所示，包含六個部分、五個章節，第二章為文獻回顧，以設施區位問題為回顧基礎，第三章分別說明本研究使用的數學模型與基因演算法之建構，第四章為數值測試，分別利用例示性問題引導讀者理解本研究之價值，再透過小型與大型隨機例題檢測數學模型與基因演算法之求解效益，最後則是結論與建議。

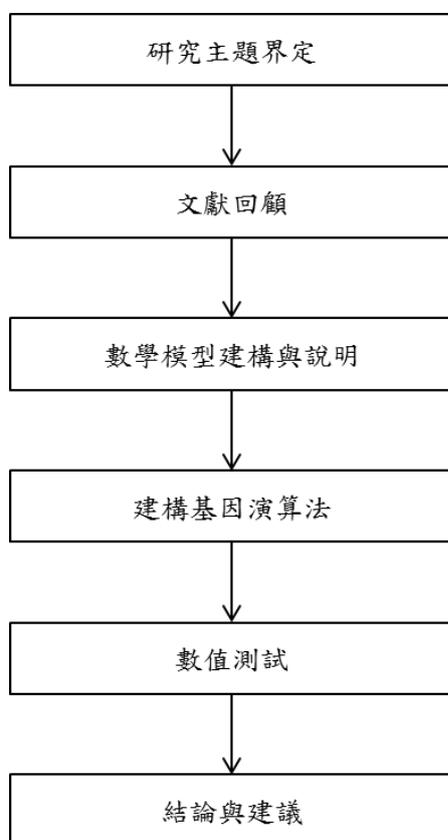


圖 1-4 研究架構圖

二、文獻回顧

本章節將針對研究設施選址問題之國內外文獻進行回顧整理。最早的設施選址問題起源於 1909 年，德國經濟學家 Alfred Weber 希望透過最佳化倉庫設置地點，達成倉庫到其使用者之總旅行距離最小的目的，是當時第一個全面且系統性的論述工業區位理論的奠基人。而選址問題重獲學界重視是由於 1964 年 Hakimi 學者提出之文獻，其文獻中嘗試決策通訊網路中交換中心 (switching center) 之位置及高速公路上之警局位置，對此，Hakimi 學者將問題轉換成較普遍的問題—最小化所有使用者與設施間的總距離或 minimax problem，即最小化所有距離中最大者 (Owen & Daskin, 1998)。

至今，設施選址問題之應用與延伸已相當廣泛，本章將針對兩個不同種類的延伸問題做文獻回顧，2.1 小節探討設施選址問題整合運輸流程之應用，2.2 小節探討設施選址問題加入隨機性因子之應用，2.3 小節則將本章做統整及總結。

2.1 考量運輸整合之設施選址問題

設施選址問題與運輸流程的整合問題中，最常見的便是結合設施選址問題與車輛路線問題 (Vehicle Routing Problem, VRP) 的區位路線問題 (Location Routing Problem, LRP)，Hassanzadeh et al. (2009) 於設施選址 (Facility Location) 一書中特別獨立一章節整理 LRP 之起源與研究發展近況，指出 LRP 與典型的區位指派問題 (Location Allocation Problem) 主要的差異在於設施服務顧客的方式，並引用 Daskin (1995) 文獻中所使用之說明，將顧客被服務的方式分成兩類，如圖 2-1 所示，第一類如圖 2-1(a)，假設顧客直接與設施相連結，且一趟次只服務一個顧客，又被稱做直送旅次 (direct trips)，如醫療救護車及消防車服務完一個需求後，便須回到醫院或消防局才能再進行第二趟次的服務，區位指派問題屬此類；第二類如圖 2-1(b)，則為一趟次可服務多個顧客的運送方式，稱做途程旅次 (tour trips)，如郵差從郵局出發後，可一次分送數封信件 (即服務多個需求)，待此次所攜出之信件皆分送完畢，才會回到郵局，LRP 則屬此分類，此類問題除了決策設施的設置數量與地點外，尚須決策以下三點問題：

- 顧客將由哪一個設施所服務？
- 顧客將加入哪一條運送路線？
- 某條運送路線中，如何安排所有顧客之服務順序？

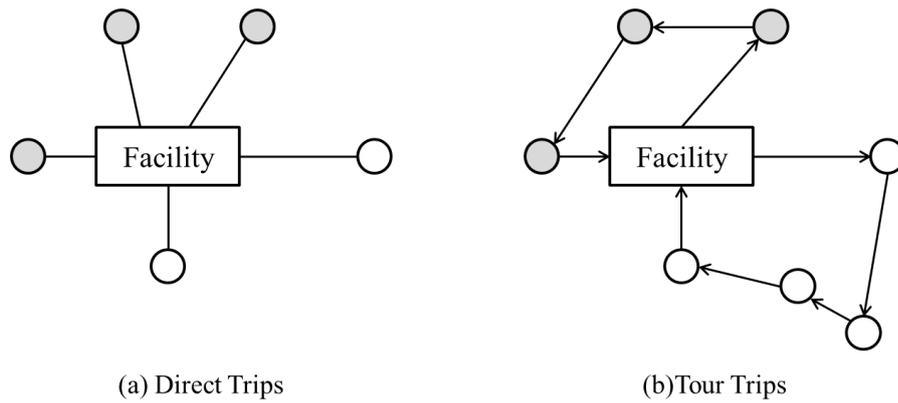


圖 2-1 設施服務顧客之方式(a)直送旅次(b)途程旅次

資料來源：Daskin (1995)

而最典型的 LRP 問題為在有限的車輛數及設施容量下決定設施位置，以滿足最小化設施建置成本與服務顧客之路線成本兩者之和。除了整合車輛路線的 LRP 問題外，若能有效整合設施與上游供應商之間的運輸流程，也有助於降低整體運輸成本，為本研究之研究重點之一，故接下來將回顧選址問題整合供應鏈上游運輸流程的文獻，說明其核心觀念及研究內容。

北美知名汽車零件製造商－Robert Bosch LLC 的供應鏈嘗試透過越庫作業 (Crossdocking) 整合「供應商－工廠」與「工廠－顧客」間的運輸需求，Yildiz et al. (2010) 於文獻中建置一數學模型，協助 Bosch 公司決策越庫中心之建置是否能替其有效降低整體供應鏈之運輸成本，而透過數據分析的結果顯示，上下游間的運輸作業若能彼此配合，便能減少空車回程的問題發生並大幅提升車輛的使用效率，並於文末提及未來可將問題延伸，將需求不確定性納入考量。

Zhu et al. (2010) 則在工廠選址問題中，媒合「供應商－工廠」與「工廠－顧客」兩段運輸流程，嘗試整合原物料供給與成品指派之路程，利用三角形兩邊和必大於第三邊的概念，將原先如圖 2-2 (a) 的運送模式改善為如圖 2-2 (b) 所示，圖中三角形代表供應商，灰色方形代表工廠，圓形則代表顧客，又以黑實線表示貨車運送路線，而虛線代表空車回程的路線，透過文獻中提出的媒合方式，可將原先產生之兩段空車回程減少為一段，藉此降低運輸成本。

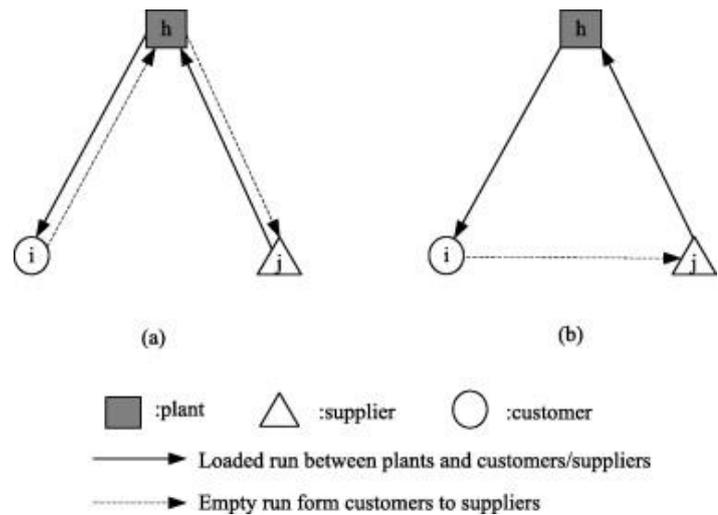


圖 2-2 供應商—工廠—顧客之三角關係 (a)運輸整合前 (b)運輸整合後

資料來源：Zhu et al. (2010)

藉由分析義大利北部番茄產業的供應鏈整合，Bottani et al. (2015)提出利用聚集經濟的方式，由整合平台 (platform) 扮演類似越庫 (crossdock) 的角色，提供產品包裝出貨的服務，再將所有加工工廠所生產之產品由該平台統一運送至市場，而各加工工廠與整合平台間則透過接駁車 (shuttle shipment) 短程來回運送成品與半成品，藉此簡化各工廠間的運輸流程、增加整體供應鏈的效益，圖 2-3(a)為整合前之原始情境，各加工工廠(以圓形表示)需自行將製作好之成品送至市場，圖 2-3(b)則為利用平台整合後之優化情境，各工廠的成品透過平台統一送出。

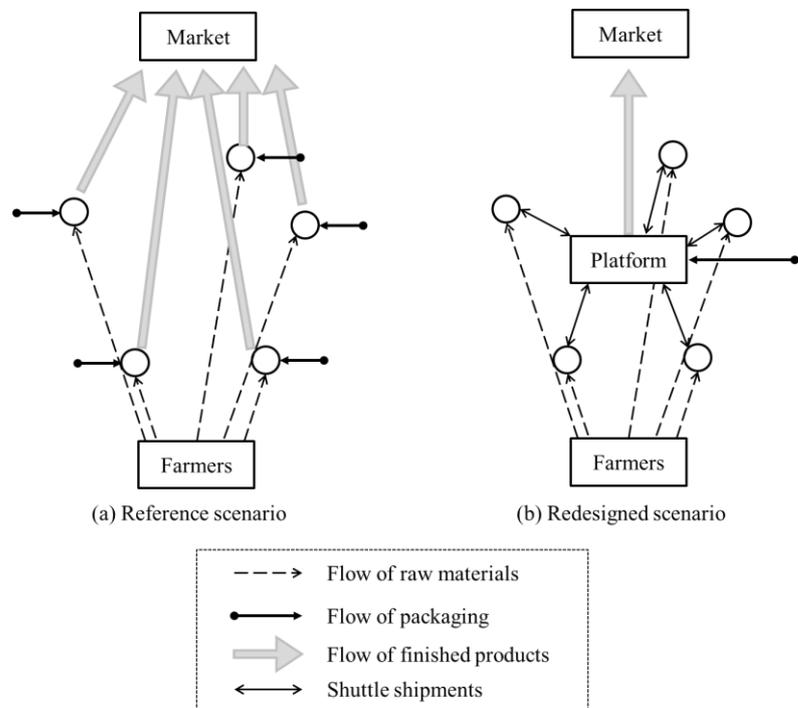


圖 2-3 使用整合平台前後之流量比較

資料來源：Bottani et al. (2015)

Huang & Chen (2018)探討整合上游供應端運輸作業的物流中心選址問題，其物流系統，從上游至下游分別為：供應商、工廠、物流中心與零售商；此文獻研究背景建立於當企業進入新興市場一段時間後，對當地市場需求、規模有一定瞭解後，為提升客戶的服務水準並增加企業營收，決定著手建構物流系統，希望能透過運輸整合來提高車輛的使用率、減少空車回程的情形發生。文獻中先後利用隨機產生之數據檢視求解品質與效率，測試結果發現針對供應鏈上游的運輸整合，對上下游的運輸成本皆有明顯的改善效果。

於 2.1 小節中回顧之文獻重點整理於表 2-1 中，可以發現文獻多將下游零售商之需求設定為固定且已知之參數，然本研究探討之設施選址問題中，除考量與供應鏈上游之運輸整合外，也同時考量將零售商之需求設為一隨機因子，期望藉由需求隨機性的探討來降低物流中心使用後期，因零售商需求量浮動，導致整體供應鏈成本提升，故在 2.2 小節中，本研究將回顧設施選址加入隨機性考量之文獻及隨機規劃的理論基礎。

表 2-1 整合上游運輸流程之文獻整理

	Yildiz et al. (2010)	Zhu et al. (2010)	Huang & Chen (2018)
特色	利用建置越庫中心整合上下游間運輸流程	媒合供應商-工廠與工廠-顧客間的貨車使用	物流中心選址問題結合上游運量整合
架構 階層數	三階層 供應商-越庫-工廠-顧客	二階層 供應商-工廠-顧客	三階層 供應商-工廠-DC-零售商
商品種類	多品項	單一品項	多品項
需求參數	已知	已知	已知

2.2 考量隨機性之設施選址問題

供應鏈網路設計的文獻中，許多文獻會針對參數隨機性做深入探討，Klibi et al. (2010)針對考量參數不確定性之供應鏈網路設計問題做了回顧整理，說明常被使用的求解模型與未來發展方向，分析供應鏈中不確定性的因子及風險帶來的影響與對應的方案建議。尤其設施選址的議題中，設施一旦建置後，使用期限多為數年甚至數十年，整體經濟環境的改變可能使參數產生變化，如下游顧客的需求不確定性、上游供應商的供給不確定性、運輸成本的不確定性等，故透過參數隨機性的探討，可以使求解模型更貼近實際應用。接下來 2.2.1 小節介紹隨機規劃的理論基礎，說明評估隨機規劃問題優劣的兩項指標，並在 2.2.2 小節中回顧考量需求隨機性之設施選址問題。

2.2.1 隨機規劃相關理論

如何評估隨機規劃結果的優劣是此類問題的重要課題，一般文獻中會使用完整資訊之期望價值(EVPI)與隨機解價值(VSS)來評估隨機性模型是否有其建立之必要性，參考

Birge (1982)針對兩項指標的計算方式分述如下，關係圖如圖 2-4 所示：

(一) 完整資訊之期望價值(EVPI, Expected Value of Perfect Information)

在充滿隨機性的世界裡，想要避免資訊變動帶來的負面影響，最好的方式便是將所有可能發生的情境逐一考量，分別求解單一情境的最佳解，再進一步地計算所有隨機情境目標式值的期望值，此一數據即為隨機規劃問題中的 WS 值(Wait-and-See solution)；然而在實際生活中，並不是所有的決策問題都能等到情境發生才處理，絕大部分的最佳化問題都需要決策者事先做出決策才有辦法進行接下來的流程，故透過隨機規劃的方式，在情境發生前先求得一個能適應所有隨機情境的解，其目標式值則為 RP 值(Recourse Problem solution)，WS 與 RP 之間的差值即為完整資訊的期望價值(EVPI)。

當 EVPI 值偏大時，代表掌握完整資訊對於決策者有相當大的價值，故有投資資訊預測系統的必要，而當其值偏小時，則代表決策者利用隨機規劃求解而得的結果已經相當接近完整資訊下的決策，故應致力於研發隨機規劃。

(二) 隨機解價值(VSS, Value of Stochastic Solution)

以往確定性的規劃求解問題中，常會以歷史資訊的平均值作為參數設定的依據，利用平均值所求得的目標式值稱為 EV 值(Expected Value)，將求得 EV 值的最佳解代入所有隨機情境中，求得各情境的目標式值後取其期望值，便可得到 EEV 值(Expected value of Expected Value)，而 EEV 與 RP 值之間的差值即為隨機解價值(VSS)。

VSS 值代表原先以確定性規劃求解之問題改為考量隨機性所增加的效益(所降低的成本)，故當 VSS 值愈大，代表隨機規劃能夠替該問題帶來較大的改善效果，而當 VSS 值愈小，則代表無論是否考量問題之隨機性，並無明顯影響，表示隨機規劃的價值無法彰顯。



圖 2-4 隨機規劃模型相關指標關係圖

2.2.2 考量需求隨機性之設施選址問題相關文獻

本小節將回顧考量下游零售商需求隨機性之選址問題。設施選址問題中常見的參數有需求量、旅行時間、出貨成本、顧客的位置、商品的價格等，這些參數都可能成為隨機性的因子，Snyder (2006)則回顧了各類型考量隨機性的選址問題，如最小化目標式的選址問題(Minimum location problems)、選址搭配運輸整合問題(Location-transportation problems)等等，並針對不同類型的考量隨機性選址問題統整其求解方法。

根據 Location Science 一書(Correia & Saldanha da Gama, 2015)所述，設施選址問題屬於長期的策略性決策，在設施使用期間內，會發現一些非預期性的事件造成供應鏈網路中斷，亦或是發生無法預期的參數變動，因此，若能事先將未知性(uncertainty)納入決策中考量，便可將不確定性的影響降低；此外，在考量隨機性的設施選址問題中，若欲使用兩階段隨機規劃模型求解問題，則第一階段的執行決策(*ex ante* decision)常會是設施位置的選擇，並根據不同的隨機情境決策第二階段的指派或配送，第二階段的求解結果則透過各情境的發生機率取期望值影響第一階段決策結果。

Salema et al. (2007)探討建置產品回收中心的選址問題，同時考量顧客需求與退貨比例的不確定性，此外針對產品回收中心設置地點的議題，Pishvae et al. (2011)進一步將運輸成本的不確定性納入目標式中一併考量；Wen et al. (2015)探討在隨機環境下之需求不確定性的選址指派問題(Facility Location-Allocation Problem)。Sadjadi et al. (2016)討論單一供應商、多個顧客點之物流中心選址與存貨問題(location-inventory problem)，並考量顧客需求及訂單前置時間(leadtime)的不確定性。而選址問題也被應用在醫療體系中，Ramezani & Behboodi (2017)探討捐血中心設置地點的選擇問題，同時加入各血液中心需求與運輸成本的不確定性，期望更有效益的媒合血液的供給與需求，減少血液短缺與過剩庫存浪費的問題。近年來，選址問題加入隨機性的考量已是各產業的研究方向，而下游顧客與使用者的需求不確定性更成為被廣泛探討之議題。

Zhuge et al. (2016)研究多期間、多種商品由上游供應商經過物流中心送至下游零售商販售的物流中心選址問題，同時考量零售商的需求不確定性，透過兩階段(2-echelon)隨機規劃問題來建立數學模型，第一階段求解各物流中心的設置地點與規模，待獲得不同情境之零售商需求資訊後(demand realized)，第二階段則考慮是否需因應不同需求調整各物流中心的規模大小，並以拉氏鬆弛求解法搭配次梯度法(subgradient method)來求解問題。

Albareda-Sambola et al. (2011)的文獻中探討考量顧客需求不確定性的設施選址問題，並設定下游顧客的需求遵守白努力分配，且考量設施之容量限制，於第一階段決策設施的設置地點與顧客的指派方式，並於第二階段決策是否將超出供給的需求量外包。Alizadeh et al. (2015)也同樣將顧客的需求假設為遵守白努力分配之隨機參數，而上述兩篇文獻都將設施的容量限制納入模型中考量，故當顧客需求量確定後，皆須考量是否需外包的議題，因此目標式中除了設施建置成本與指派成本外，尚須考量外包成本，然而本研究並未設定設施的容量上限值，故不會產生是否需外包的議題；此外，兩篇文獻使用了不同的演算法來處理大型問題不易求解的問題，驗證演算法之應用能夠大幅提升求解效率，為本研究參考之依據。

2.3 文獻小結

根據前兩小節之文獻整理，本研究探討之物流中心選址問題於研究領域中定位獨特、且預期貢獻有二，其一透過 2.1 小節之回顧可以發現，多數選址問題選擇整合與下游需求點之間的運輸流程，然而整合上游運輸不僅能節省入向物流成本(供應商—工廠與工廠—物流中心)，對於出向物流成本(物流中心—零售商)也有正向的影響，更能進一步減少空車回程趟次、提升資源使用效率；其二透過 2.2 小節可得，考量下游需求隨機性是選址問題研究發展之方向，隨機性之探討旨在減少因不確定性提升之成本、增加設施選址決策的適用性；此外，尚未有文獻同時探討整合上游運輸與下游需求不確定性之選址問題，本研究之研究方向可以更貼近產業的實際運作情形，協助企業降低成本、提高服務品質。

三、數學模型與演算法之建構與說明

此章節將介紹本研究所使用之混合整數規劃(Mixed Integer Programming, MIP)模型，以 Huang & Chen (2018)所使用之模型為基礎，加入因需求不確定性而新增與調整之變數，3.1 小節介紹數學模型中使用之符號與參變數定義，並詳細說明目標式、限制式之意義，3.2 小節介紹基因演算法的架構與流程。

3.1 數學模型建構

本研究為三階層供應鏈架構(供應商—工廠—物流中心—零售商)，在已知供應商、工廠及零售商位置的前提下，探討物流中心的選址問題，並考量「供應商—工廠」與「工廠—物流中心」之運輸整合，並考量零售商對產品之需求不確定性，以多種產品、單一期間作為問題背景，模型之建構有以下假設：

針對供應鏈整體設計之假設

- 供應鏈網路中，包含四個角色(供應商、工廠、物流中心、零售商)。
- 已知供應商、工廠及零售商位置。
- 供應鏈各階層間，運送路線由供應商至工廠再送至物流中心，最後由物流中心配送至零售商，無跨層運送之情形。
- 工廠無產能限制、物流中心也無容量限制。(關於容量限制之說明請參考附錄一)
- 設定供應商總供給量會隨零售商之總需求量增加。
- 原料與成品可以使用同一台貨車裝載。

與零售商相關之假設

- 各情境中的零售商需求皆被完全滿足。
- 需求量設定為零售商對該產品之整車需求量，不滿一車以一車計算。
- 零售商可由多個物流中心服務。
- 各零售商之需求為隨機產生。

由於選址問題是長期的決策規劃，影響的時間與範圍廣泛，下游零售商的需求可能會隨時間而變動，若忽略零售商需求浮動，將導致物流中心使用後期運輸成本大幅提高，如圖 1- 3 闡述之結果，故本研究將下游零售商之需求不確定性作為一主要議題，若能在決策選址問題的同時，將零售商的需求浮動一併考量，將增加物流中心之使用效益，並減少因時間推移形成的決策誤差。此外，為確保需求量能夠被完全滿足，本研究也假設供應商的總供給量將隨零售商之總需求量增減。

3.1.1 模型使用之符號與參變數定義

集合說明

- i : 供應商 , $i \in I$
 j : 工廠 , $j \in J$
 k : 物流中心 , $k \in K$
 l : 零售商 , $l \in L$
 ω : 不同情境 , $\omega \in \Omega$

參數說明

- F_k : 建置物流中心 k 的固定成本。
 C_{ij} : 零件由供應商 i 送至工廠 j 的整車運輸成本，包含空車返回供應商 i 之成本。
 C_{jk} : 產品由工廠 j 送至物流中心 k 的整車運輸成本，包含空車返回工廠 j 之成本。
 C_{kl} : 產品由物流中心 k 送至零售商 l 的整車運輸成本。
 C_{ijk} : 將零件由供應商 i 送至工廠 j 卸貨後，貨車再將成品由工廠 j 送至物流中心 k 的整車運輸成本，包含空車返回供應商 i 之成本。
 D_{jl}^ω : ω 情境下，零售商 l 對不同工廠 j 之產品需求量，以整車計算。
 U_{ij}^ω : ω 情境下，供應商 i 供應給工廠 j 之零件供給量，以整車計算。

決策變數

- z_k : 二元變數，其值為 1 時，表選擇建置物流中心 k ，反之則為 0。
 y_{jkl}^ω : ω 情境下，零售商 l 對工廠 j 所生產之產品有多少比例是由物流中心 k 所供給。
 s_{ij}^ω : ω 情境下，供應商 i 將零件送至工廠 j 的貨車數。
 s_{jk}^ω : ω 情境下，工廠 j 將產品送至物流中心 k 的貨車數。
 s_{ijk}^ω : ω 情境下，由供應商 i 將零件送至工廠 j 卸貨後，再將成品由工廠 j 送至物流中心 k 的貨車數。

3.1.2 數學模型

本研究所使用之數學模型為兩階段隨機規劃問題，第一階段先求解物流中心的設置位置，第二階段中，根據不同的需求情境，需求量 D_{jl}^ω 成為已知數據，將第一階段模型求解得到的物流中心位置(即決策變數 z_k)，置入第二階段的數學模型中，進一步求解供應鏈各階層間的配送數量，並決策零售商的產品需求由各物流中心服務的比例，將第二階段的求解結果依據其發生機率計算期望值後，進一步影響第一階段的求解結果。第一階段之數學模型如下所示。

min

$$\sum_{k \in K} z_k F_k + \sum_{\omega \in \Omega} P^\omega Q(z, \omega) \quad (3.1)$$

s. t.

$$z_k \in \{0,1\} \quad \forall k \in K \quad (3.2)$$

目標式(3.1)為最小化總期望成本，包含物流中心設置成本與第二階段供應鏈各階層間的配送成本之期望值，其中 ω 代表隨機模型中的不同需求情境，而各情境發生的機率為 P^ω ， $Q(z, \omega)$ 代表第二階段決策問題的目標式值，式(3.2)設定物流中心設置與否以二元變數表示，而第二階段的問題模型如下所示。

$min Q(z, \omega) =$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{ij} s_{ij}^\omega + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} C_{jk} s_{jk}^\omega + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} C_{ijk} s_{ijk}^\omega + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} C_{kl} D_{jl}^\omega y_{jkl}^\omega \quad (3.3)$$

s. t.

$$\sum_{k \in K} y_{jkl}^\omega = 1 \quad \forall j \in J, l \in L, \omega \in \Omega \quad (3.4)$$

$$\sum_{k \in K} s_{ijk}^\omega + s_{ij}^\omega \geq U_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J, \omega \in \Omega \quad (3.5)$$

$$\sum_{i \in I} s_{ijk}^\omega + s_{jk}^\omega \geq \sum_{l \in L} y_{jkl}^\omega D_{jl}^\omega \quad \forall j \in J, k \in K, \omega \in \Omega \quad (3.6)$$

$$y_{jkl}^\omega \leq z_k \quad \forall j \in J, k \in K, l \in L, \omega \in \Omega \quad (3.7)$$

$$s_{ij}^\omega, s_{jk}^\omega, s_{ijk}^\omega \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, l \in L, \omega \in \Omega \quad (3.8)$$

$$0 \leq y_{jkl}^\omega \leq 1 \quad \forall j \in J, k \in K, l \in L, \omega \in \Omega \quad (3.9)$$

目標式(3.3)代表供應鏈各階層間的配送成本總和，前兩項分別代表貨車於「供應商－工廠」與「工廠－物流中心」兩階層時所形成的運輸成本，而第三項則代表將上游供應鏈整合後所形成的成本項，貨車先將零件由供應商送至工廠卸貨後，再利用同一台貨車，將成品由工廠送至物流中心的整合運輸成本，前三項所使用的運輸成本皆包含貨車空車回程的成本；第四項則代表貨車由物流中心將產品送至各零售商位置的運輸成本，由於一零售商可由多個物流中心所服務，故成本計算時會依據各零售商之需求量與該趟次滿足的需求比例而有差異。

限制式(3.4)代表各零售商可由多個物流中心服務，但須保證其需求皆被滿足，式(3.5)要求「由供應商送至工廠」與「從供應商至工廠卸貨後再前往物流中心」總共的貨車運送量，至少需滿足供應商給各工廠的零件供給量，式(3.6)表示「由工廠到物流中心」與「整合供應商至工廠再到物流中心」之貨車運送量，須至少滿足零售商的產品需求量，式(3.4)到式(3.6)在確保零售商的需求須被滿足，不能有缺貨的情形發生。式(3.7)則在限制當該處有設置物流中心時，才可以有流量經過，式(3.8)設定供應鏈各階層間所使用的貨車數量為非負數，而式(3.9)則限定各零售商由物流中心供給的比例為介於 0 到 1 之間的連續數。

然而，此數學模型僅適用於求解複雜度較小之問題，當供應鏈中各角色數量增加，或是下游零售商需求的情境數量增加時，上述之數學模型將耗費大量的求解時間，故針對大型問題，將利用基因演算法來協助求解本研究提出之整合上游運輸並考量下游需求不確定性之物流中心選址問題。

3.2 基因演算法

基因演算法(Genetic Algorithm, GA)引入達爾文演化論的概念，作為求解大型數學規劃問題的基礎架構，利用個體交配、繁殖、突變的過程增加求解的多樣性，並融合「適者生存，不適者淘汰」的理念，適配度(fitness value)較高的解被選擇作為母代繁衍後代的機率較高，反之，適配值較低者僅有少機率能繼續繁殖。基因演算法的基本架構如下所述：

- (一) 隨機產生數條初始解(Initial solution)
- (二) 計算所有個體的適配度(Evaluation)
- (三) 從個體中選擇(Selection)染色體交配產生子代，較常見的選擇法有以下五種
 1. 輪盤式挑選法(roulette-wheel selection)
 2. 菁英挑選法(elitism selection)
 3. 錦標賽法(tournament selection)
 4. 穩態選擇法(steady-state selection)
 5. 排序選擇法(ranking selection)
- (四) 將前階段挑選出之母代進行交配(Crossover)，常見交配法有三種
 1. 單點交配(single-point crossover)
 2. 兩點交配(two-point crossover)
 3. 均勻交配(uniform crossover)
- (五) 各染色體有一定機率發生突變(Mutation)，增加求解多變性，協助跳離區域最佳解(local-optimum)
- (六) 產生新世代、重新計算染色體適配度

基因演算法大量被使用在求解選址問題，Kratka et al. (2001)、Alp et al. (2003)利用基因演算法求解數百到上千間工廠與顧客點的設施選址問題、Cunha et al. (2007)則探討巴西境內零擔貨運業者的貨櫃存放場站選址問題，與本研究類似之處在於，該文獻中除了決策場站位置外，同時也將各需求點的指派方式一併放入目標式中，期望達到最小化總成本的目標；Min et al. (2006)利用基因演算法求解多階層供應鏈架構中，決策中央回收中心的選址問題；Ko & Evans (2007)則透過基因演算法求解第三方物流業者同時整合正向物流及逆物流的運送流程，嘗試將設備容量與人力資源做最佳的規劃。由上述文獻之結果可以發現，應用基因演算法求解規模較大的選址問題時，皆能在短時間內求解出最佳解或近似最佳解，故本研究同樣採用基因演算法來協助求解大型數學規劃問題。

參考 Topcuoglu et al. (2005)之研究，其研究中將染色體編碼分成選址及指派兩部分，選址編碼採用二元編碼、指派編碼則以整數型態進行編碼，與此文獻不同的是，本研究在染色體編碼時，僅取第一階段之物流中心選址決策做為編碼依據，染色體之各基因區段分別代表各物流中心的候選位置，以二元變數作編碼，若有選擇該候選位置作為物流中心的設置地點，則該基因編碼值為 1，反之則為 0，每條染色體代表一種可能解；舉例來說，若有 10 個候選位置，並選擇第 2、4、7、8 處做為物流中心設置地點，則染色體的編碼方式如圖 3-1 所示。

0	1	0	1	0	0	1	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

圖 3-1 本研究之染色體編碼示意圖

以下將依序說明本研究之基因演算法執行步驟，整體流程如圖 3-3 所示。終止條件、交配率、突變率之參數設定依據請參考附錄二。

- (一) 隨機產生起始解：起始解包含 30 條染色體，藉由產生 30 個介於 0 至 1 之間的隨機亂數做為起始解之依據，當隨機亂數小於 0.5 時，設定該基因編碼為 0，反之則為 1。
- (二) 計算染色體適配值：本研究之適配函數 $F(x)$ 為式(3.1)之倒數，如式(4.1)所示，故當目標式值愈小(即總成本愈小)，則該染色體之適配值愈高，被選擇進行交配複製的機率也愈高；反之，當總成本愈高，則存活至下個世代(generation)的機率愈低。

$$F(x) = \frac{1}{\sum_K z_k F_k + \sum_\omega P^\omega Q(z, \omega)} \quad (4.1)$$

其中 $Q(z, \omega) =$

$$\sum_I \sum_J C_{ij} s_{ij}^\omega + \sum_J \sum_K C_{jk} s_{jk}^\omega + \sum_I \sum_J \sum_K C_{ijk} s_{ijk}^\omega + \sum_J \sum_K \sum_L C_{kl} D_{jl}^\omega y_{jkl}^\omega$$

- (三) 終止條件設定：本研究之終止條件為迴圈數達 50 次，演算法將停止搜尋並回報現有最佳解。(終止迴圈數之設定依據請參考附錄二)
- (四) 挑選母代：本研究使用之挑選方式為菁英挑選法搭配輪盤式挑選法，首先設定菁英策略的保留值為 20%，代表每世代中，適配值排名前 20% 的染色體將直接保障存活至下個世代，剩餘 80% 的染色體再利用輪盤式挑選法選出，以加快演算法收斂速度。輪盤式挑選法則先將該世代各染色體之適配值除以該世代總適配值，計算得各染色體被挑選之機率，透過產生隨機亂數對應輪盤中不同染色體的位置，決定留存的染色體，故適配值愈高的染色體擁有愈大的機率存活且繁殖，但仍保有一定機率給低適配值之染色體，避免高適配值的染色體稱霸世代。
- (五) 進行交配複製：本研究之交配率(crossover rate)設定為 30%，首先產生 30 個介於 0 到 1 之間的隨機亂數，分別對應 30 條染色體，若該亂數小於 0.30，則將該染色體放入候選交配清單中，若大於 0.30，代表該染色體不需進入交配階段；最後，再將候選清單中之染色體兩兩配對，進行單點交配。若候選染色體之數量為奇數，則再隨機決定新增或刪除一條候選者，再進行接下來之流程。交配方式如下圖 3-2 所示，左圖為交配前之母代、右圖則為交配後繁殖之子代，此示意圖選擇第三及第四個基因段之間做為交配點，故子代 1 前三個基因保留母代 1 之編碼，後五個基因則遺傳自母代 2，藉此方式產生兩條與母代有差異的子代染色體。(交配率之設定依據請參考附錄二)

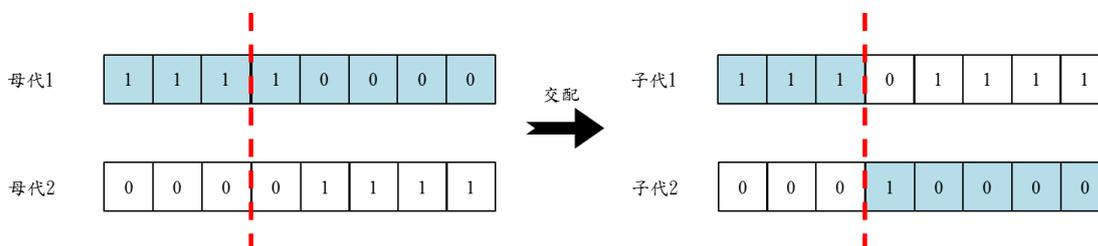


圖 3-2 單點交配示意圖

- (六) 突變：本研究之突變率(mutation rate)設定為 1%，隨機產生亂數決定染色體中各基因是否產生突變，若選取到需突變之基因編碼為 1，則突變後為 0，反之則由 0 突變為 1。(突變率之設定依據請參考附錄二)
- (七) 修復機制：為避免初始解或染色體交配與突變的過程中，產生全為 0 之第一階段結果(即不建置任何物流中心)，導致求解結果為不可行解，故本演算法設計一修復機制(repair mechanism)來修正此問題；當檢查結果發現該染色體未選擇建置任何一間物流中心，則利用隨機亂數選擇一處候選位置建置物流中心。

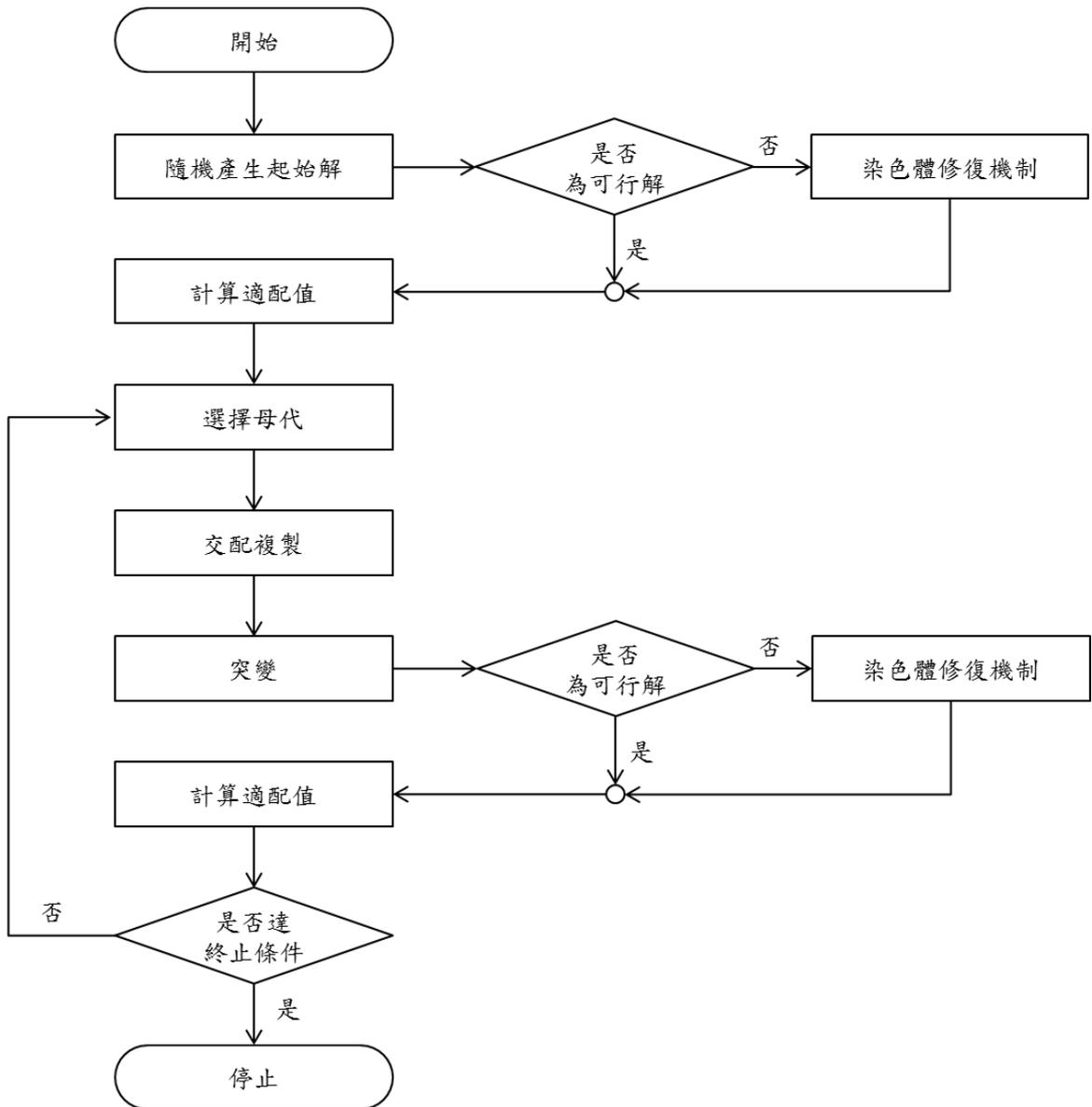


圖 3-3 本研究之基因演算法流程圖

四、數值測試

此章節將利用不同規模大小之數值測試，計算隨機規劃之價值，並比較數學模型與基因演算法的求解效益，其中需求情境數量參考其他考量需求不確定性之選址問題文獻，使用為數三到九組不等之需求情境為基礎做數值測試(Amin & Zhang, 2013; Merakli & Yaman, 2016; Correia et al., 2018)。

4.1 小節中透過美國地區的例示性問題說明隨機規劃價值;4.2 小節中設計小型例題，藉此比較最佳化軟體 Gurobi 與基因演算法的求解效能，4.3 小節則將需求情境擴大至 10 種，測試當問題規模擴大時隨機規劃的表現，並透過基因演算法求解。

4.1 例示性測試例題

本研究參考陳彥蓉(2014)所使用之例示性問題做為數值測試之基礎，以美加西岸作為問題背景，包含 3 個供應商、5 座工廠、17 個零售商需求點，其中需求點的位置同時也是物流中心的候選設置地點，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，詳細位置如表 4-1 所示。

表 4-1 例示性問題之地點與編號

	州	地 點		州	地 點	編號
	供 應 商	WA		Tacoma	物 流 中 心 候 選 地 點 和 需 求 點	BC
Seattle			2			
CA		Long Beach	WA	Spokane		3
		Oakland	OR	Portland		4
工 廠		CA	Bakersfield	CA		Sacramento
	San Francisco					8
	Eugene	Fresno	9			
	Roswell	Los Angeles	10			
	Elko	San Diego	11			
廠	AZ	Kingman	NV	Reno		6
				Las Vegas		12
	AZ	Kingman	AZ	Phoenix		14
				Tucson		15
				Albuquerque		17
AZ	Kingman	UT	Salt Lake City	13		
			ID	Boise		5
AZ	Kingman	CO	Denver	16		

資料來源：陳彥蓉(2014)

隨機參數設計部分，本例示性問題將下游零售商的需求不確定性分為三種情境—高、中、低需求，三種情境發生機率為 40%、50%、10%，並設定供應商之總供給量會隨著總需求量變動而隨之調整，以確保所有需求皆能被滿足，與需求隨機性相關之參數設定整理於表 4-2 中。供應商地點選擇位於美加西岸三個接近港口的地點，而三個情境中設定總供給量為 310,000、110,000、51,000 單位，不同情境中供應商個別的供給量參考 2011 年北美港口標準貨櫃(TEU)數量做比例分配(資料來源：American Association of Port Authorities)，供應商送至各工廠的細部供應量(U_{ij}^{ω})則以亂數產生的比例隨機分配。

三個情境中之總需求量設定為 300,000、100,000、50,000 單位，17 個零售商需求點依照各地點人口比例做分配，而各零售業對工廠的細部需求量 D_{ji}^{ω} 同樣也以亂數產生之比例隨機分配。此外，物流中心的建置成本假設為 600,000，供應鏈中各設施間的運輸成本以各地點間的直線距離換算成運送每單位產品的成本。

表 4-2 三種需求情境之參數設定

情境 參數	高需求	中需求	低需求
總供給量	310,000	110,000	51,000
總需求量	300,000	100,000	50,000
發生機率	40%	50%	10%

將上述數據利用最佳化軟體 Gurobi 分別計算 WS、RP 與 EEV 的值，可以發現完整資訊下求得之 WS 值為 33,527,015，根據高中低三種不同情境之需求量，設置之物流中心數目為 2 到 5 座不等，結果如圖 4-1、圖 4-2、圖 4-3 所示



圖 4-1 例示性問題 WS 值之求解結果—高需求情境

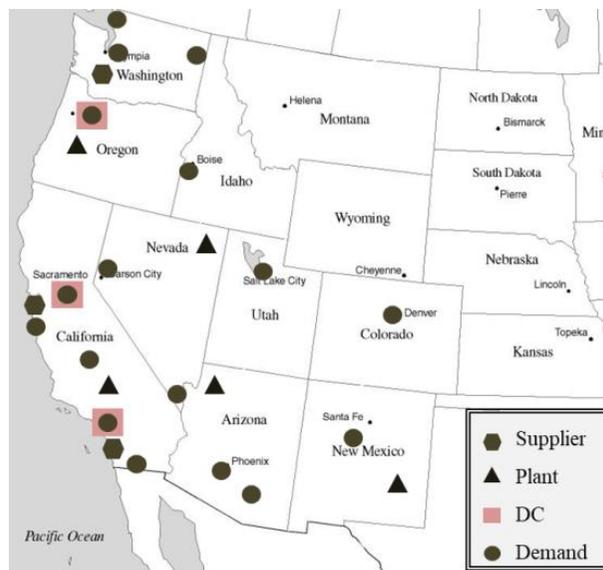


圖 4-2 例示性問題 WS 值之求解結果—中需求情境

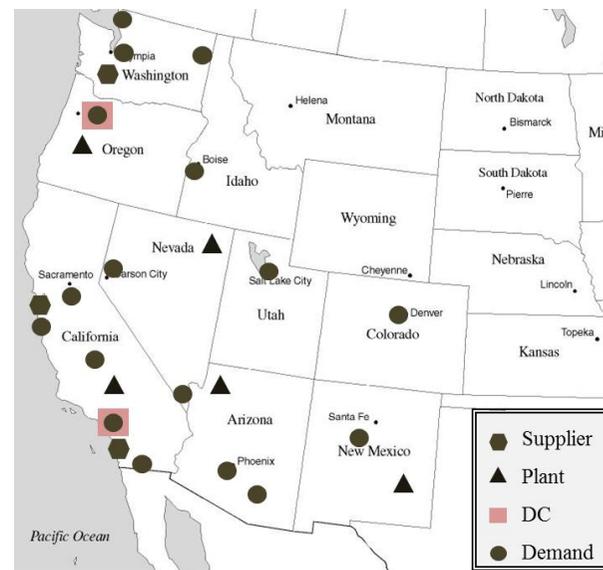


圖 4-3 例示性問題 WS 值之求解結果—低需求情境

而考量下游需求不確定性後所得之最佳解目標式值(RP)為 33,665,700，其中物流中心選擇設置 4 座，分別位於 Portland、Sacramento、Los Angeles、Las Vegas，如圖 4-4 所示。

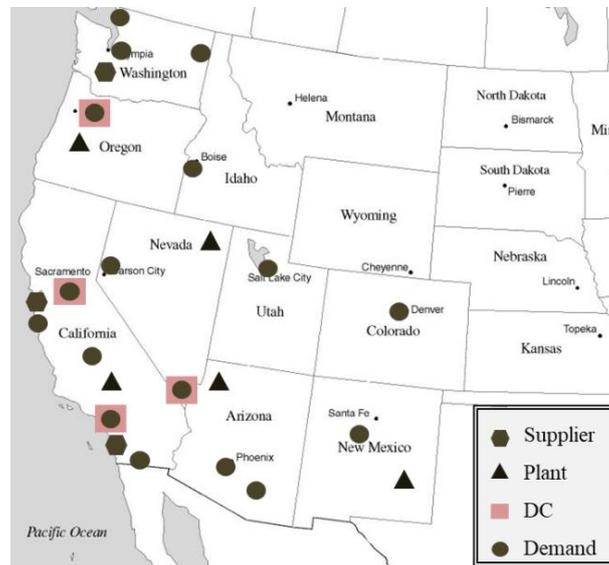


圖 4-4 例示性問題 RP 值之求解結果

然而，若忽略下游需求的不確定性，僅將各情境發生的需求量取期望值，並放入確定性(deterministic)數學模型中求解得到第一階段的決策結果後(即物流中心的設置位置)，再依照不同情境求解第二階段得到期望成本，可計算出此例示性問題之 EEV 值為 33,778,231，需建置 3 座物流中心，位置分別設於 Portland、Sacramento、Los Angeles，如圖 4-5 所示。

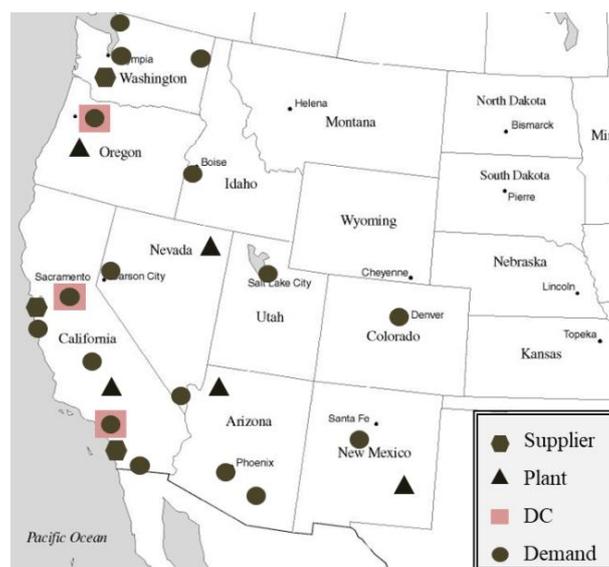


圖 4-5 例示性問題 EEV 值之求解結果

因此，我們可以透過上述求得之數據評估隨機規劃之價值；本研究完整資訊之期望價值($EVPI = RP - WS$)為 138,685，為物流中心建置成本項目的 23%，而隨機規劃的價值($VSS = EEV - RP$)為 112,531，是物流中心設置成本的 19%，可以發現雖然 RP 的決策結果較 EEV 多設置一座物流中心，導致第一階段成本偏高，但 RP 求得之第二階段節省下來的運輸成本使得隨機規劃後的總成本仍然優於確定性之數學規劃問題，由上述指標可知，本研究將下游零售商之需求不確定性納入決策考量後，可以得到較佳的決策結果，並有效降低因需求隨機性帶來的影響，替決策者大幅減少成本支出，此外，針對 EVPI 值偏高的情形，表示此例示性範例中，決策者應該盡可能地取得未知資訊，並強化資訊預測系統的精準度；各數據之統計結果如表 4-3 所示。

表 4-3 例示性問題之求解結果統整表

	高需求	中需求	低需求
總供給量	300,000	150,000	50,000
總需求量	300,000	100,000	50,000
發生機率	40%	50%	10%
目標式值	49,213,400	25,783,100	9,501,050
設置位置	4,7,10,12,17	4,7,10	4,10
WS 值	33,527,015		
	高需求	中需求	低需求
總供給量	300,000	150,000	50,000
總需求量	300,000	100,000	50,000
發生機率	40%	50%	10%
目標式值	-	-	-
設置位置	4,7,10,12		
RP 值	33,665,700		
	高需求	中需求	低需求
總供給量	300,000	150,000	50,000
總需求量	300,000	100,000	50,000
發生機率	40%	50%	10%
目標式值	49,768,100	25,783,100	9,794,410
設置位置	4,7,10		
EEV 值	33,778,231		

4.2 小型測試例題

在小型測試例題中，產生介於(0,1)的亂數座標代表供應鏈中四個角色的相對位置，包含 3 個供應商、5 座工廠、25 處物流中心候選位置及 50 個零售商需求點，並擴增為 5 種需求情境。不同情境間各零售商需求量(D_{ij}^{ω})皆為亂數產生，彼此無相關性，唯設定情境一至情境五之總需求量分別為 10,000、30,000、50,000、70,000、90,000；情境參數的設定中，假設市場發展穩定之總需求平均為 50,000，故以 50,000 發生機率最高，而本研究將問題背景設定在進入新興市場的企業，市場尚未進入平穩階段，故總需求量比 50,000 還少的情境發生機率會較高，情境 1 與情境 2 的發生機率會高於情境 4 及情境 5。另外，為確保需求可完全被滿足，各情境中所有供應商的總供給量會隨總需求量增減，而各供應商的供給量(U_{ij}^{ω})為隨機亂數產生；各情境之參數設定如表 4-4 所示。

表 4-4 小型測試例題之各情境參數設定

Scenario	1	2	3	4	5
Total Supply	11000	31000	51000	71000	91000
Total Demand	10000	30000	50000	70000	90000
Probability(%)	17	25	33	17	8

例題中供應商、工廠、物流中心候選點與零售商位置皆以亂數產生介於 0 到 1 的座標，各點間直線距離為每單位需求之運送成本，並將物流中心建置成本設定為每棟 500，利用此參數設定產生 15 組例題，以 Gurobi 求解而得之總成本整理於表 4-5，其中完整資訊之價值(EVPI)與隨機規劃價值(VSS)平均分別為 399.0 與 121.3，取例題 8 與例題 13 來檢視求解結果。

將例題 8 之供應商、工廠、零售商之座標點分別以「X」、「Δ」、「O」表示，RP 建議之物流中心位置由黃色方型代表，而 EEV 所選擇建置之物流中心則由灰色菱形代表，如圖 4-6。RP 與 EEV 皆選擇建置 5 座物流中心，其中 4 座位置相同，RP 選擇將第 5 座物流中心建置在距離工廠較近之位置、而 EEV 則選擇靠近零售商的地點，可發現利用隨機規劃綜合考量不同需求情境之下求解而得的結果，能夠獲得較佳的目標式值，此例題中，隨機規劃的價值(VSS)有 487.9，相當於一座物流中心之建置成本。

表 4-5 小型測試例題之測試結果

Instance	WS	RP	EEV	EVPI	VSS
1	68367.0	69017.2	69252.0	650.2	234.8
2	70367.4	70824.2	70865.6	456.8	41.4
3	67186.4	67751.8	67912.7	565.4	160.9
4	60200.0	60672.5	60672.5	472.5	0.0
5	76605.7	77159.9	77259.4	554.2	99.5
6	63312.8	63596.1	63596.1	283.3	0.0
7	74237.8	74429.4	74429.4	191.6	0.0
8	62237.5	62373.8	62861.7	136.3	487.9
9	66273.7	66557.7	66658.4	284.0	100.7
10	61545.2	61931.8	61951.6	386.7	19.8
11	72963.9	73518.3	73560.2	554.4	41.9
12	66565.8	66728.3	66764.2	162.5	35.9
13	60916.6	61389.5	61721.7	472.9	332.2
14	54275.7	54626.7	54726.0	351.0	99.3
15	76420.1	76882.5	77047.6	462.4	165.1
Average				399.0	121.3

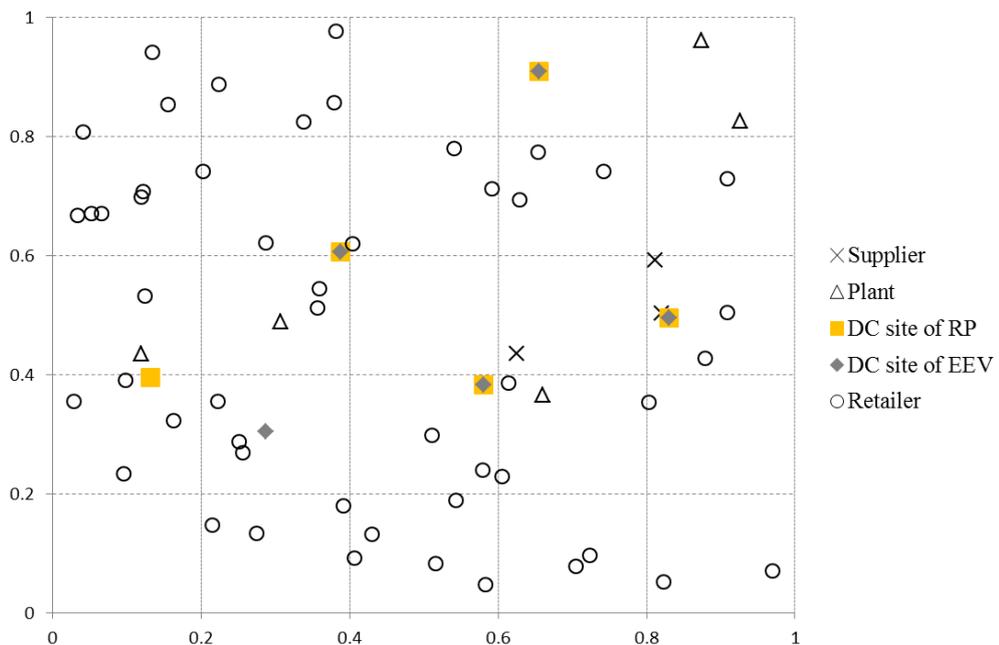


圖 4-6 小型測試例題之題組 8 結果示意圖

例題 13 中以同樣的圖例代表供應鏈中各角色之座標位置，如圖 4-7 所示，RP 選擇建置 6 座物流中心、而 EEV 建置 5 座，雖然 RP 建置的數量較 EEV 多一座，但 RP 節省下大量的運輸成本使得隨機規劃求得之結果仍優於 EEV，隨機規劃的價值(VSS)有 332.2，故可發現若將需求之隨機性納入考量，在多數的例題中可提升選址決策的效益。

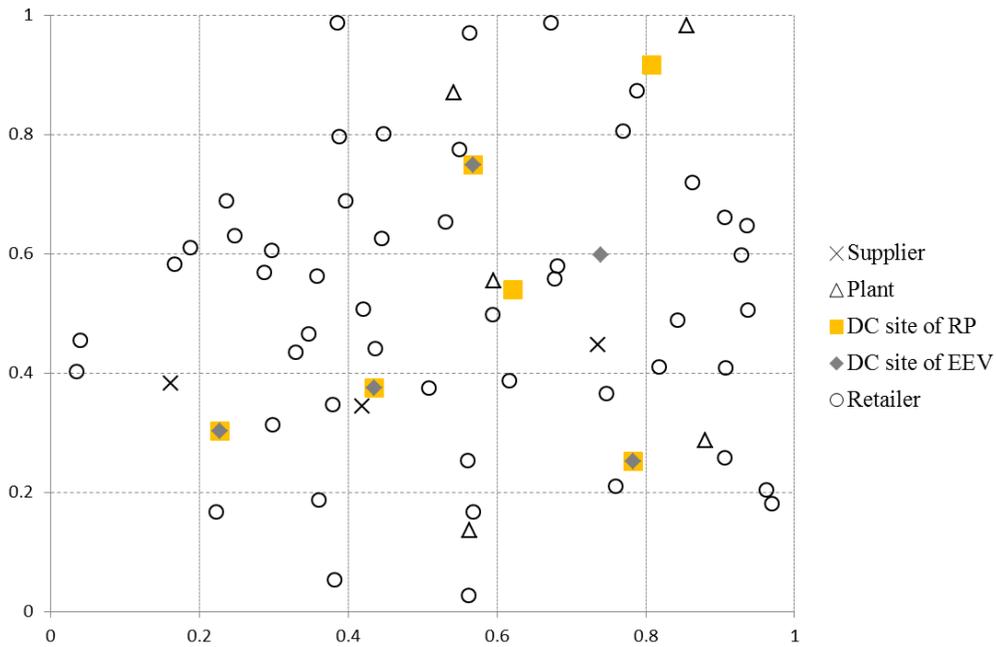


圖 4-7 小型測試例題之題組 13 結果示意圖

此規模之例題中，共有三萬多個變數、三萬多條限制式，使用 Gurobi 與基因演算法(GA)之求解結果，呈現於表 4-6，其中四組例題有求得最佳解，整體演算法求得的結果與最佳解之間的差距平均為 0.2%。

表 4-6 小型測試例題使用基因演算法之求解結果

Instance	Optimal			GA			Solution
	Solution	Location	time(sec)	Solution	Location	time(sec)	Gap
1	69017.2	6	63.2	69065.1	6	189.4	0.1%
2	70824.2	5	41.7	70957.9	5	181.2	0.2%
3	67751.8	5	44.4	67976.3	6	187.8	0.3%
4	60672.5	4	44.0	60672.5	4	172.9	0.0%
5	77159.9	7	54.0	77219.5	6	178.8	0.1%
6	63596.1	5	49.4	63852.9	5	185.7	0.4%
7	74429.4	6	36.4	74429.4	6	187.1	0.0%
8	62373.8	5	24.8	62373.8	5	177.8	0.0%
9	66557.7	6	38.8	66658.4	7	171.0	0.2%
10	61931.8	5	50.0	62004.1	5	170.9	0.1%
11	73518.3	6	37.4	73823.0	6	184.6	0.4%
12	66728.3	5	31.8	66764.2	5	179.4	0.1%
13	61389.5	6	46.1	61654.6	5	182.6	0.4%
14	54626.7	6	37.7	54626.7	6	168.1	0.0%
15	76882.5	6	44.8	77206.7	6	191.1	0.4%
Average		6	43.0		6	180.6	0.2%

4.3 大型測試例題

在大型測試例題中，同樣透過產生介於(0,1)的亂數座標，代表供應鏈中四個角色的相對位置，包含 10 個供應商、5 座工廠、40 處物流中心候選位置及 80 個零售商需求點，擴增為 10 種需求情境，例題設計的方式與小規模例題相同，其中情境一至情境十之總需求量分別為 10,000、20,000、30,000 依序增加至 100,000，而各情境發生之機率如表 4-7 所示。

表 4-7 大型測試例題之各情境參數設定

Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Total Supply	11	21	31	41	51	61	71	81	91	101
Total Demand	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Probability(%)	6	9	13	18	24	12	9	6	3	1

(總供給量與總需求量單位：千)

隨機產生十組大型測試例題，利用 Gurobi 求解各例題之 WS 值、RP 值及 EEV 值並計算其完整資訊價值(EVPI)與隨機規劃價值(VSS)，十組例題之結果如表 4-8 所示，EVPI 平均為 364.7、而 VSS 平均則為 101.7，故本研究將下游需求不確定性納入考量後，有助於拉近隨機規劃模型與完整資訊(WS)之差距、降低總成本，並提升選址決策長時間下的適用性。

表 4-8 大型測試例題之測試結果

Instance	WS	RP	EEV	EVPI	VSS
1	71573.7	72024.7	72096.6	451.0	71.9
2	72469.1	72876.1	73110.9	407.0	234.8
3	64127.4	64566.3	64667.5	438.9	101.2
4	67844.7	68113.7	68157.2	269.0	43.5
5	67797.1	68084.3	68205.0	287.2	120.7
6	77307.7	77865.9	78107.1	558.2	241.2
7	65491.0	65764.3	65776.2	273.3	11.9
8	64029.0	64316.6	64335.1	287.6	18.5
9	79806.0	80274.3	80374.0	468.3	99.7
10	68380.6	68586.6	68660.2	206.0	73.6
Average				364.7	101.7

然而，利用 Gurobi 之平均求解時間超過兩小時（7482.8 秒），過程相當耗時，若改採基因演算法來求解，可在短時間內（約 1415.9 秒）求出近似最佳解，雖然演算法與最佳解之間存在約 0.7% 之差距，但使用演算法僅花費不到兩成的求解時間，故本研究所使用之基因演算法仍存在其價值，結果整理如表 4-9 所示。

表 4-9 大型測試例題使用基因演算法之求解結果

Instance	Optimal			GA			Solution
	Solution	Location	time(sec)	Solution	Location	time(sec)	Gap
1	72024.7	6	8805.2	72540.1	8	1523.4	0.7%
2	72876.1	7	11397.4	73111.8	7	1501.1	0.3%
3	64566.3	7	7137.0	65003.7	8	1551.4	0.7%
4	68113.7	7	2620.5	68616.8	6	1603.5	0.7%
5	68084.3	7	5331.9	69073.7	7	1237.6	1.5%
6	77865.9	8	12208.7	78056.5	9	1382.0	0.2%
7	65764.3	8	4119.4	66599	6	1439.3	1.3%
8	64316.6	5	4320.8	64710.7	6	1181.7	0.6%
9	80274.3	7	16314.7	80577.9	8	1444.4	0.4%
10	68586.6	7	2572.4	69212.7	7	1294.8	0.9%
Average		7	7482.8		7	1415.9	0.7%

此外，若將物流中心之建置成本由 500 調整至 800 與 1000，可發現物流中心建置數量將逐漸減少，而隨機規劃之價值也逐漸降低，取例題 6 為測試題組，其結果如表 4-10 所示，代表當建置成本過高時，多設置一座物流中心所節省的運輸成本無法超過建置成本，故模型僅建議設置較少的物流中心來服務整體供應鏈的需求。然而，完整資訊之價

值(EVPI)在不同的建置成本下，皆維持於 550 至 600 之間，故可發現此考量下游需求不確定性之物流中心選址問題中，完整資訊的價值並不會受到建置成本增減而有影響。

表 4-10 取大型例題題組 6 調整建置成本之數據結果

Fixed Cost	EVPI	VSS	RP Location
500	558.2	241.2	8
800	558.8	41.9	6
1000	570.3	14.0	5

五、結論與建議

本研究問題背景建立在企業進入新興市場後，已知供應商、工廠與零售商位置的前提下，決策物流中心的選址議題，並同時考量兩項因素：一為透過整合與上游供應商及工廠之間的運輸流程，降低空車回程的趟次，二為探討下游零售商之需求不確定性，以減少在使用物流中心期間，因需求浮動帶來的決策誤差。

本研究分別透過最佳化軟體 Gurobi 建立一混合整數規劃的數學模型求解例題，惟當問題規模擴大時，最佳化軟體之求解效率不彰，故針對大規模例題建立基因演算法協助加快求解時間，利用染色體交配、突變之機制來增加求解的廣度與深度，並在短時間內求得一近似最佳解。第四章之例題測試中，考量供應鏈各階層角色數量與下游零售商需求情境之變化，設計三種不同規模的例題，並利用演算法求解，藉此檢視隨機規劃之價值與演算法之求解效益。

數值測試之結果可以歸納出以下三項結論：

- (一).當物流中心建置成本相對於總需求量所產生之運輸成本比例提高時，會導致隨機規劃的價值(VSS 值)降低，因為本研究之隨機規劃價值多建立於運輸成本的節省值超出一座物流中心之建置成本，故當物流中心的建置成本提高時，會愈難透過節省運輸成本補足建置成本的開銷，故隨機規劃的價值會逐漸降低。
- (二).透過 EVPI 與 VSS 兩項指標佐證，物流中心的選址問題若加入考量下游需求之不確定性，可以有效減少成本、提升決策效益。
- (三).當供應鏈網路中各角色數量增加，或需求隨機之情境數量提升，即問題規模擴大時，使用基因演算法可減少約 80% 的求解時間，提升運算效率

針對此一研究議題，給予以下三點建議：

- (一).當建置成本相對運輸成本之比重提高時，模型建議的物流中心建置數量會漸減，針對剛進入新興市場且市場需求尚未穩定前，企業可先嘗試與第三方物流業者(3rd Party Logistics, 3PL)合作，由業者提供倉儲服務，而非建置全新的物流中心。
- (二).企業可利用過往的歷史資料作為不同需求情境設計的基礎，並預測需求潛在的成長趨勢，若能更清楚掌握需求浮動的情況，便可使隨機規劃的求解結果更貼近 WS 值。
- (三).本研究所使用的基因演算法求解時間仍有改善空間，未來可考慮將隨機規劃模型中第二階段的決策變數新增成染色體的編碼依據，雖會提升演算法的複雜性，但有望大幅降低演算法的求解時間。

參考資料

- Albareda-Sambola, M., Fernández, E., & Saldanha-da-Gama, F. (2011). The facility location problem with Bernoulli demands. *Omega*, 39(3), 335-345.
- Alizadeh, M., Mahdavi, I., Mahdavi-Amiri, N., & Shiripour, S. (2015). A capacitated location-allocation problem with stochastic demands using sub-sources: An empirical study. *Applied Soft Computing*, 34, 551-571.
- Alp, O., Erkut, E., & Drezner, Z. (2003). An efficient genetic algorithm for the p-median problem. *Annals of Operations research*, 122(1-4), 21-42.
- Amin, S. H., & Zhang, G. (2013). A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. *Applied Mathematical Modelling*, 37(6), 4165-4176.
- Birge, J. R. (1982). The value of the stochastic solution in stochastic linear programs with fixed recourse. *Mathematical programming*, 24(1), 314-325.
- Bottani, E., Rizzi, A., & Vignali, G. (2015). Improving logistics efficiency of industrial districts: a framework and case study in the food sector. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 18(5), 402-423.
- Correia, I., Nickel, S., & Saldanha-da-Gama, F. (2018). A stochastic multi-period capacitated multiple allocation hub location problem: Formulation and inequalities. *Omega*, 74, 122-134.
- Correia, I., & Saldanha da Gama, F. (2015). Facility Location Under Uncertainty. In Laporte, G., Nickel, S., & Saldanha da Gama, F. (Eds.). *Location Science*, (8), 177–200. New York: Springer.
- Cunha, C. B., & Silva, M. R. (2007). A genetic algorithm for the problem of configuring a hub-and-spoke network for a LTL trucking company in Brazil. *European Journal of*

- Operational Research*, 179(3), 747-758.
- Daskin, M. S. (1995). *Network and discrete location: models, algorithms, and applications*. Wiley-Interscience, USA.
- Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2004). *Introduction to logistics systems planning and control*. John Wiley & Sons.
- Hassanzadeh, A., Mohseninezhad, L., Tirdad, A., Dadgostari, F., & Zolfagharinia, H. (2009). Location-routing problem. In *Facility Location* (pp. 395-417). Physica, Heidelberg.
- Huang, Kuancheng & Chen, Yen-Jung. (2018). A Distribution Center Location Problem with the Integration of Upstream Transportation. *Asian Transport Studies*, 5(2).
- Johanson, J., Wiedersheim-Paul, F. (1975). The internationalization of the firm - Four Swedish cases. *Journal of Management Studies*, 12: 305–323.
- Klibi, W., Martel, A., & Guitouni, A. (2010). The design of robust value-creating supply chain networks: a critical review. *European Journal of Operational Research*, 203(2), 283-293.
- Ko, H. J., & Evans, G. W. (2007). A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs. *Computers & Operations Research*, 34(2), 346-366.
- Kratica, J., Tošić, D., Filipović, V., & Ljubić, I. (2001). Solving the simple plant location problem by genetic algorithm. *RAIRO-Operations Research*, 35(1), 127-142.
- Meepetchdee, Y., & Shah, N. (2007). Logistical network design with robustness and complexity considerations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(3), 201-222.
- 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.
- Meraklı, M., & Yaman, H. (2016). Robust intermodal hub location under polyhedral demand uncertainty. *Transportation Research Part B: Methodological*, 86, 66-85.
- Min, H., Ko, H. J., & Ko, C. S. (2006). A genetic algorithm approach to developing the

- multi-echelon reverse logistics network for product returns. *Omega*, 34(1), 56-69.
- Owen, S.H., & Daskin, M.S. (1998). Strategic facility location: a review. *European Journal of Operational Research*, (111), 423–447.
- Pishvaei, M. S., Rabbani, M., & Torabi, S. A. (2011). A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*, 35(2), 637-649.
- Ramezani, R., & Behboodi, Z. (2017). Blood supply chain network design under uncertainties in supply and demand considering social aspects. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 104, 69-82.
- Sadjadi, S. J., Makui, A., Dehghani, E., & Pourmohammad, M. (2016). Applying queuing approach for a stochastic location-inventory problem with two different mean inventory considerations. *Applied Mathematical Modelling*, 40(1), 578-596.
- Salema, M. I. G., Barbosa-Povoa, A. P., & Novais, A. Q. (2007). An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 179(3), 1063-1077.
- Sim, A. B. (2006). Internationalization strategies of emerging Asian MNEs - Case study evidence on Singaporean and Malaysian firms. *Asia Pacific Business Review*, 12: 487–505.
- Snyder, L. V. (2006). Facility location under uncertainty: a review. *IIE transactions*, 38(7), 547-564.
- Topcuoglu, H., Corut, F., Ermis, M., & Yilmaz, G. (2005). Solving the uncapacitated hub location problem using genetic algorithms. *Computers & Operations Research*, 32(4), 967-984.
- Wen, M., Qin, Z., Kang, R., & Yang, Y. (2015). The capacitated facility location-allocation problem under uncertain environment. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 29(5), 2217-2226.

- 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.
- Zhuge, D., Yu, S., Zhen, L., & Wang, W. (2016). Multi-period distribution center location and scale decision in supply chain network. *Computers & Industrial Engineering*, (101), 216-226.
- 陳彥蓉(民國 103 年)，**考量上游運輸整合之物流中心區位設置問題**，國立交通大學運輸與物流管理研究所碩士論文，臺灣新竹。

附錄一 設施容量限制

參考 Ghiani et al.(2004)一書中的說明，將設施的建構成本分成設施固定成本(F_k)及設施變動成本(g_k)，如下圖 A-1 圖 A-1 所示。固定成本(F_k)與該設施之使用頻率無關，而變動成本(g_k)則與該設施之使用頻率高低(運輸流量大小)成正比，如當有較高流量會經過該設施時，代表需建構較大的設施廠房，此時購地成本會隨之增加，可視為變動成本的提升。

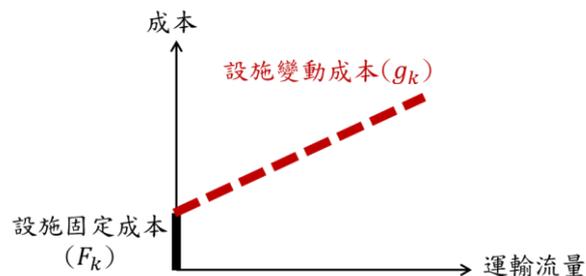


圖 A-1 設施建構成本示意圖

本研究第三章介紹之數學模型中，參數使用的設施建置成本(F_k)即為書中所提之設施固定成本，與經過該設施之運輸流量大小(使用頻率)無關；而本研究將書中提及的設施變動成本融入物流中心至零售商之單位運輸成本(C_{kl})中，如式(A.1)所示，其中 C'_{kl} 代表原始運輸成本，當經過物流中心 k 的運輸流量愈高，表示該物流中心潛在的容量需求愈大時，目標式(3.3)的第四項成本項(貨車由物流中心將產品送至各零售商位置的運輸成本)便會愈高，透過此計算方式，便可將物流中心容量大小對成本的影響一併考量至目標式中。

$$C_{kl} = g_k + C'_{kl} \quad (\text{A.1})$$

附錄二 基因演算法參數設定

本附錄針對第三章所使用之基因演算法，說明終止條件之設定、交配率與突變率的設定依據，並將每個世代進行選擇、交配、突變後的群體(population)之目標式值記錄下來，計算求得各步驟執行後之群體平均目標式值(AveObj)、及演算法迄今之最佳目標式值(BestObj)，故每個世代會有三筆平均目標式值與最佳目標式值之紀錄，依此作為評斷基因演算法求解效益與收斂程度的指標。

- 終止條件設定

本研究將基因演算法之終止條件設定為達到特定迴圈數，分別記錄 50 迴圈、100 迴圈、200 迴圈的求解結果，由圖 A-2 及圖 A-3 可發現，三種迴圈數的目標式值皆在第 30 個迴圈後(第 90 筆紀錄)開始收斂，故為節省求解時間，本研究選擇設定終止條件為 50 個迴圈。

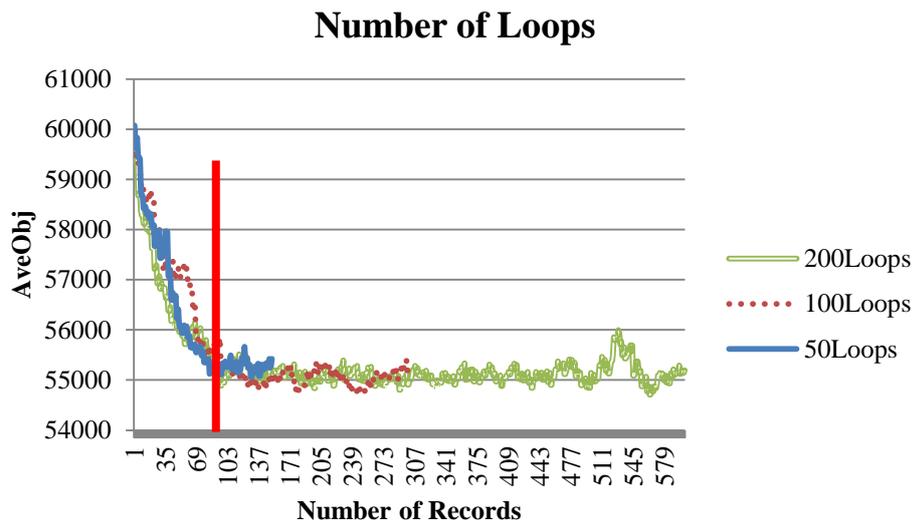


圖 A-2 不同迴圈數下基因演算法之平均目標式值

Number of Loops

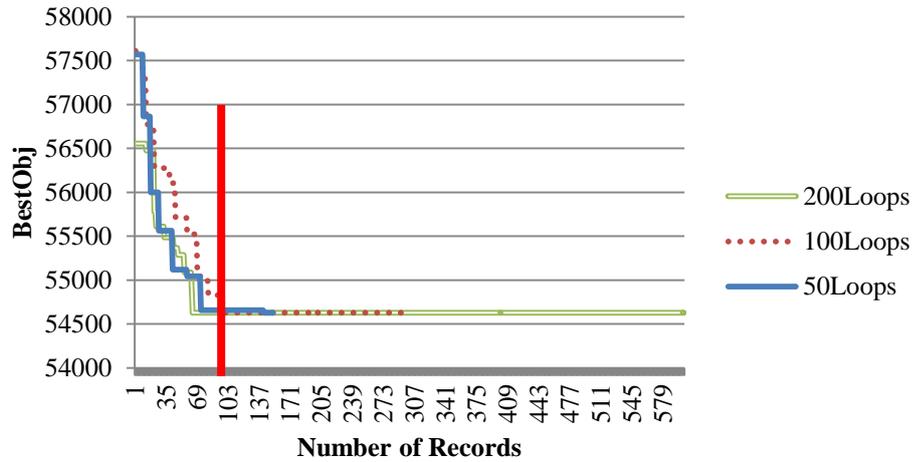


圖 A-3 不同迴圈數下基因演算法之最佳目標式值

- 交配率(Crossover Rate)

圖 A-4 與圖 A-5 記錄交配率分別為 30%、50%、70% 下之演算法求解結果，可發現於演算法終止時，三種交配率的求解趨勢十分相似，然而隨著交配率的增加，演算法的求解時間也會隨之增加，故為增加求解效率，本研究選擇將交配率設定為 30%。

Crossover Rate

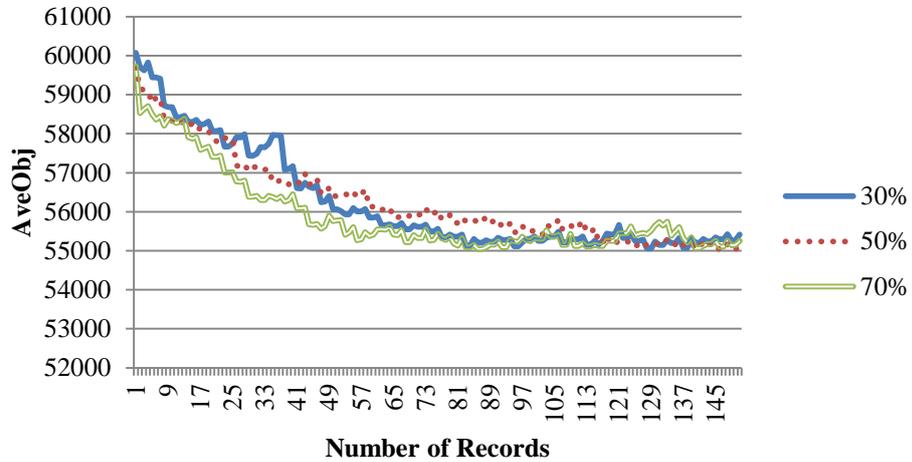


圖 A-4 不同交配率下基因演算法之平均目標式值

Crossover Rate

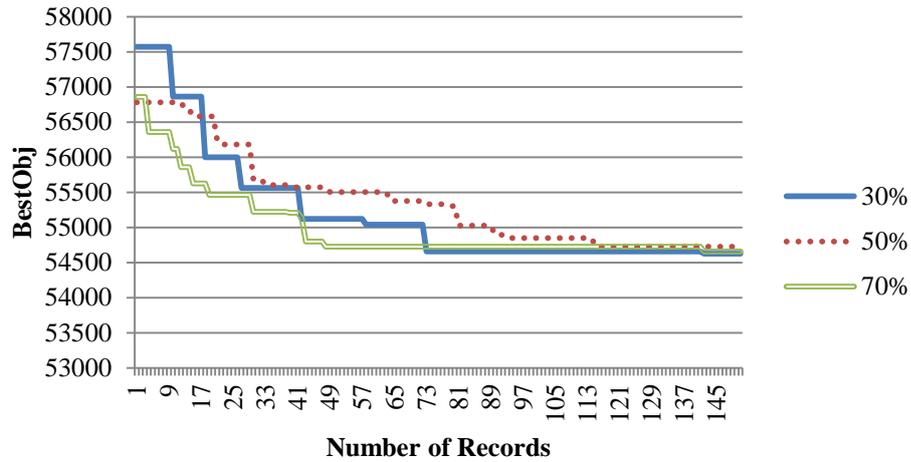


圖 A-5 不同交配率下基因演算法之最佳目標式值

- 突變率(Mutation Rate)

圖 A-6 與圖 A-7 記錄突變率分別為 1%、3%、5% 下之演算法求解結果，可發現三種突變率的求解趨勢不同，突變率設定為 1% 時的整體求解效益最高，可得到較佳的平均目標式值，而 5% 時的求解結果最差，故以演算法求解效益上之考量，本研究選擇將突變率設定為 1%，以增加演算法靠近最佳解的機會。

Mutation Rate

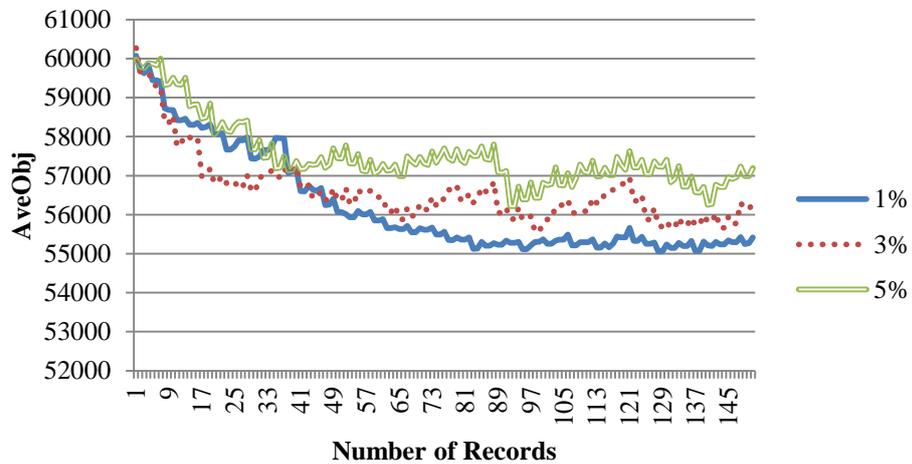


圖 A-6 不同突變率下基因演算法之平均目標式值

Mutation Rate

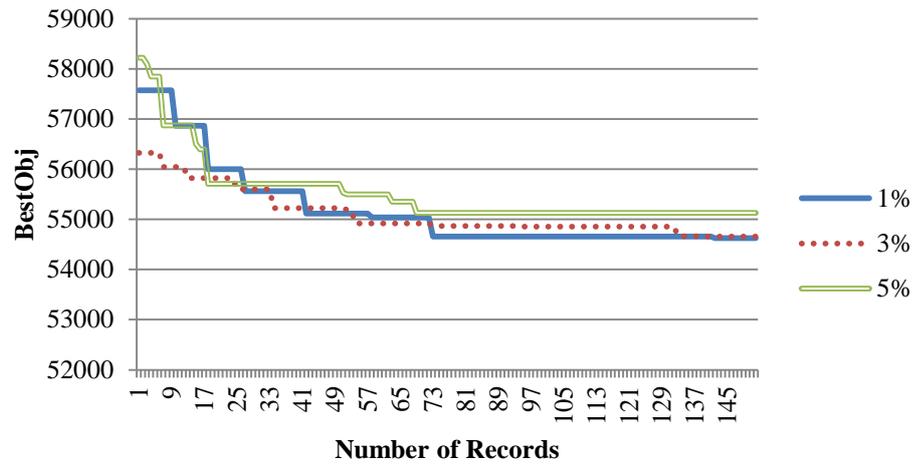


圖 A-7 不同突變率下基因演算法之最佳目標式值

簡歷



中文姓名：吳宇晴

英文姓名：Yu-Ching Wu

出生日期：民國 83 年 2 月 17 日

聯絡電話：0961-021783

E-mail : wuyc217@gmail.com

簡歷：

民國 107 年 7 月 國立交通大學 運輸與物流管理學系 碩士班 畢業

民國 105 年 6 月 國立成功大學 交通管理科學系 學士班 畢業