

國立交通大學
運輸與物流管理學系

碩士論文

考量運輸整合之隨機性物流中心
選址與容量規劃問題

A Stochastics Model of the Distribution Center
Location and Sizing Problem
with Transportation Integration

研究生：陳建任

指導教授：黃寬丞

中華民國一〇八年八月

考量運輸整合之隨機性物流中心選址與容量規劃問題
A Stochastics Model of the Distribution Center Location and
Sizing Problem with Transportation Integration

研 究 生：陳建任 Student：Jan-Ren 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

August 2019

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中 華 民 國 一 〇 八 年 八 月

考量運輸整合之隨機性物流中心選址與容量規劃問題

學生：陳建任

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

企業剛進入市場時，首先建置工廠生產商品，再來尋求供給原料的上游供應商，此時物流作業和客源開發則交給合作通路商。供需穩定後，便會思考是否需著手建立自身物流系統，包括車隊和物流中心，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和容量規劃的問題。

在貨物運送過程中，貨車回程時會產生空車回程成本，空車回程會降低運輸效率，為了減少其影響，本研究擬整合「供應商－工廠」及「工廠－物流中心」兩段運輸流程，此外，由於物流中心設置決策屬於長期規劃，若不考量零售商需求量的不確定性，將導致物流中心使用後期效果不彰。基於上述考量，本研究擬整合運輸流程，並同時考量下游零售商的需求不確定性，希望藉此提升運輸效率並對於隨機需求做出完善的決策。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)此兩項指標來評估隨機規劃之相關價值，另外對外包成本進行敏感度分析。

根據數值測試的結果，發現若在決策物流中心地點和容量的同時，能整合運輸並考量下游需求的不確定性，便能大幅降低總成本且做出完善的決策；而隨著外包成本的變動，會影響各項目標值和隨機規劃之數值；此外，基因演算法的近似解與最佳解間的差距平均為 0.2%，且能節省超過 50%的求解時間，當問題規模大到最佳化軟體無法求解時，可以藉由基因演算法來幫助求解近似解。

關鍵字：選址問題、物流中心、運輸整合、隨機規劃、需求不確定性、基因演算法

A Stochastics Model of the Distribution Center Location and Sizing Problem with Transportation Integration

Student : Jan-Ren Chen

Advisor : Dr. Kuancheng Huang

Department of Transportation and Logistics Management
National Chiao Tung University

ABSTRACT

When entering a new market, a company may first focus on securing upstream suppliers and establishing production factories. At the same time, agents are used to handle the distribution and develop customers. However, when demand continues to grow, the company can further consider setting up its own distribution system to improve service level and increase profit. Based on the market-entry approach, this study aims to optimize the location and sizing decision of the distribution centers (DCs), given the fixed locations of the suppliers, plants, and retailers.

In particular, the supplier-plant and plant-DC transportation operations are integrated into the decision model to alleviate the potential impact of empty backhauls. In addition, demand uncertainty is taken into consideration to generate a robust decision. A stochastic programming (SP) problem has been defined in the form of a mixed-integer programming (MIP) model, and the problem is solved by a genetic algorithm (GA).

Based on the numerical experiments, the total supply chain cost in general can be efficiently decreased after considering transportation integration and uncertain demand. In addition, the quality gap of the GA solution is less than 0.2% with respect to the optimal solution, and more than 50% of the computational time can be saved.

Keywords: Location problem, Distribution center, Transportation integration
, Stochastic programming, Demand uncertainty, Genetic algorithm

誌謝

首先，感謝爸媽的養育之恩，耐心地扶養我長大，因為他們無怨無悔的付出，讓我在求學過程中不用擔心任何事，可以無憂無慮做自己想做的事，並且無條件地支持我做的任何決定，從遠到成大念書，再到交大就讀研究所。

很慶幸可以來到交大學習與物流相關的知識，這也是當初選擇交大運管所物流組就讀的原因，在這兩年內，感謝運管所教授的諄諄教誨，慶幸能上到韓復華教授最後一屆的網路模式分析，從中學習到許多，此外，也在不同的課程中學習到不同的知識，也學習報告能力的技巧，在英語授課的過程中，提升我的英文相關能力；在 seminar 中，感謝教授用心地尋找各方面的專業人士以幫助我們長見識，拓展我們的視野，也從中了解物流業界的工作內容，感謝運管所所有的一切。

特別感謝我的論文指導教授黃寬丞教授，在指導論文的過程中，學習到邏輯思考能力、寫作能力、報告能力，每次討論的過程中，教授都會耐心地解答問題，或是給予提示幫助我思考，有時也會給予對於外來在職場的建議，也很樂於幫助且鼓勵學生往其他方面的發展，像是出國交換或實習，再次感謝寬丞教授。

再來感謝運管所碩二的各位，感謝大家的陪伴，透過吃飯、跑步、打嘴砲等等讓我們度過了難熬的研究生生活，也因為如此艱難的環境使我們更加熟悉，尤其是 11 樓的大家，感謝大家不厭其煩地讓我串門子，且聽我說很多廢話，當然我也是聽了不少，總之，很高興在這兩年認識大家，往後的人生各自努力加油！

最後，感謝交大，不管是行政、學術、研究等等，皆感謝交大職員們的付出，使我有足夠的資源能夠運用，能在交大安穩地度過研究生生涯。

交大運管所 陳建任 謹致

108 年 8 月

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
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 研究方法與架構	4
第二章 文獻回顧	5
2.1 考量運輸整合之設施選址問題	5
2.2 考量需求隨機性之設施選址問題	7
2.3 隨機規劃之相關理論	9
第三章 數學模型建構與說明	11
3.1 數學模型架構	11
3.2 模型使用之符號及參變數定義	12
3.3 數學模型說明	13
第四章 演算法建立與說明	15
4.1 基因演算法	15
4.2 整數 L-Shaped 演算法	19
第五章 數值測試	23
5.1 例示性例題	23
5.2 小型測試例題	29
5.3 中型測試例題	40
第六章 結論與建議	44
參考資料	45

圖目錄

圖 1-1 供應鏈階層示意圖	3
圖 1-2 研究架構圖	4
圖 2-1 供應商-工廠-顧客三方之物流情形(A)整合前(B)整合後	6
圖 2-2 隨機規劃模型指標關係圖	10
圖 3-1 模型說明示意圖	11
圖 4-1 本研究之染色體編碼示意圖	16
圖 4-2 本研究之染色體交配示意圖	17
圖 4-3 本研究基因演算法之流程圖	18
圖 4-4 INTEGER L-SHAPED METHOD 之流程圖	21
圖 4-5 本研究設計之收斂方法	22
圖 5-1 三種需求情境下計算 WS 值之求解結果	25
圖 5-2 三種需求情境下計算 RP 值之求解結果	26
圖 5-3 三種需求情境下計算 EEV 值之求解結果	26
圖 5-4 小型測試例題之例題三各階層分布位置圖	29
圖 5-5 例題三之 RP 與 EEV 決策結果	32
圖 5-6 例題五之 RP 與 EEV 決策結果	33
圖 5-7 整合效益之例題測試結果	36
圖 5-8 外包成本之敏感度分析	39
圖 5-9 中型測試例題之例題一各階層分布位置圖	41

表目錄

表 1-1 設施選址問題之四項指標	2
表 2-1 考量運輸整合選址問題研究之比較圖	7
表 2-2 考量需求隨機性選址問題研究之比較圖	9
表 5-1 例示性問題之地點與編號	23
表 5-2 三種需求情境之參數設定	24
表 5-3 例示性問題之求解結果統整表	28
表 5-4 小型測試例題之情境設定	30
表 5-5 小型測試例題之測試結果	31
表 5-6 小型測試例題之 RP 與 EEV 決策結果	34
表 5-7 物流整合效益之數值測試結果	37
表 5-8 整數 L-SHAPED 演算法之測試結果	40
表 5-9 中型測試例題之情境設定	41
表 5-10 中型測試例題之測試結果	42
表 5-11 中型測試例題之基因演算法成效	43

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

「鏈」為許多環節所組成，而「供應鏈」則為最初的原料到最終的產品之中的各個過程，其中各環節串在一起而形成供應鏈，由許多工廠、公司所組成，在供應鏈當中會產生許多成本，包括原料成本、設施建置成本、人力成本、存貨成本、物流運輸成本等，各成本之間的關係也相當密切，互相影響，而在供應鏈網路設計(Supply Chain Network Design)的相關文獻中討論許多各式各樣的問題，包括最小化營運成本、最大化服務覆蓋率等，而在這些問題當中，物流問題常被提及討論和研究，而物流成本在供應鏈中也占據很大的比例，Watson et al. (2013) 提到設施建置成本與物流運輸成本占據整條供應鏈成本的百分之八十，因此設施位置的選擇相當重要，其選擇會影響運輸成本，而設施建置成本大都不是小數目，建置的數量和位置是需要謹慎思考的，其選址問題可以簡單也可以複雜，為供應鏈設計中廣泛被研究的問題。

對於一個剛進入市場的企業來說，第一步就是要拓展客源、打開知名度，利用降價、促銷等其他行銷方式來吸引顧客，而在製造業方面也是如此，一開始工廠致力於產品製造和行銷，除了開拓下游客源外，也需要找到穩定配合的上游原料供應商，因此在產業前期的任務為開拓市場和找到長期配合的原料供應商，而在這階段的物流大都委託給第三方物流公司處理，等到該企業在市場的地位穩定後，就能開始建立自身的物流系統，藉由系統來掌握物流資訊並將資料透明化，一方面可以提升服務水準，清楚地讓下游零售商知道產品當下物流的階段，由於物流成本在供應鏈中占據很大的比例，因此也可以透過完善的物流系統來減少物流成本，而物流中心為建立完善物流系統的條件之一，在上游原料供應商、自身工廠、下游零售商位置皆確定的狀況下，如何建立物流中心為本研究欲探討的問題。

在供應鏈網路設計的許多問題中，本研究探討物流中心的選址問題，此問題屬於設施選址問題(Facility Location Problem)，由於設施地點的選擇會影響往後的運送路線，進而影響物流運輸成本，設施建置成本和運輸成本是互相牽制的，故在文獻中，常看到選址問題與車輛路線問題(Vehicle Routing Problem, VRP)共同納入考量，在建立數學模型時，除了考慮設施建置成本外，也需要將各階層間產生的運輸成本同時納入考量，將其設計放入數學模型中，另外，建置物流中心為一個長期的決策，除了決定設施位置外，設施規模同時會影響設置成本和日後的服務品質，故確保決策的完整性，本研究亦將設施規模放入數學模型中。

在設施選址問題中，空車回程成本往往會提升物流成本進而增加企業的支出，也會降低車輛的使用率進而影響運輸效率，故多數文獻透過不同的運輸整合方法來減少空車

回程所帶來的成本，舉例來說，Huang & Chen (2018) 在其研究下之供應鏈(供應商－工廠－物流中心－零售商)進行物流整合之操作，透過整合「供應商－工廠－物流中心」之兩階供應鏈，在原本「供應商－工廠」及「工廠－物流中心」兩段運輸各自獨立運作下會產生兩段的空車回程成本，而其研究在利用同一台車來運送原料和產品的前提下來進行整合，將運送方式更改為「供應商－工廠－物流中心－供應商」，雖然依舊有空車回程成本，但相比整合前的狀況，不但有效地減少空車回程所帶來的影響，也藉此提升運輸效率和增加營運收益，故本研究嘗試利用整合運輸的方式來減少運輸成本以增加效益。

在這數十年當中，各式各樣的選址問題在確定性環境下被廣泛討論和研究，而考量到現實狀況帶來的不確定性，像是天災、金融風暴等內外部變動因子皆會影響供應鏈上的決策和運作，因此近十年許多文獻利用隨機規劃來求解在不確定性環境下的問題，在本研究的設施選址問題中，將下游零售商的需求納入不確定因子以貼近現實，而設施規模大小的決策會被產品需求多寡來影響，故須把各種需求發生的情境納入考量，利用隨機規劃來做出完善的決策，選址及容量規劃之決策屬於長期之決策，本研究期望做出兼具降低成本及維持良好服務品質的決策，故將運輸整合及考量下游零售商的需求不確定性這兩個議題一起作為長期決策的考量。

1.2 研究範圍與目的

本研究所探討之物流中心選址問題屬於長期的策略性決策，因為物流中心設置後，就是要使用數十年，所以需要審慎評估後再進行決策，選址決策影響著未來公司長期的運作。Melo et al. (2009) 將設施選址問題分作四個指標，依序為供應鏈階層數、商品種類、研究期間、參數性質，如圖 1-1 所示。大多數文獻分別研究較少階層數、單一品項、單一期間、確定性的問題，而本研究之範圍為多供應鏈階層、商品多樣(multiple commodities)、單期間、需求隨機性，目的為考量運輸整合和下游需求不確定性的物流中心選址和容量規劃問題。

表 1-1 設施選址問題之四項指標

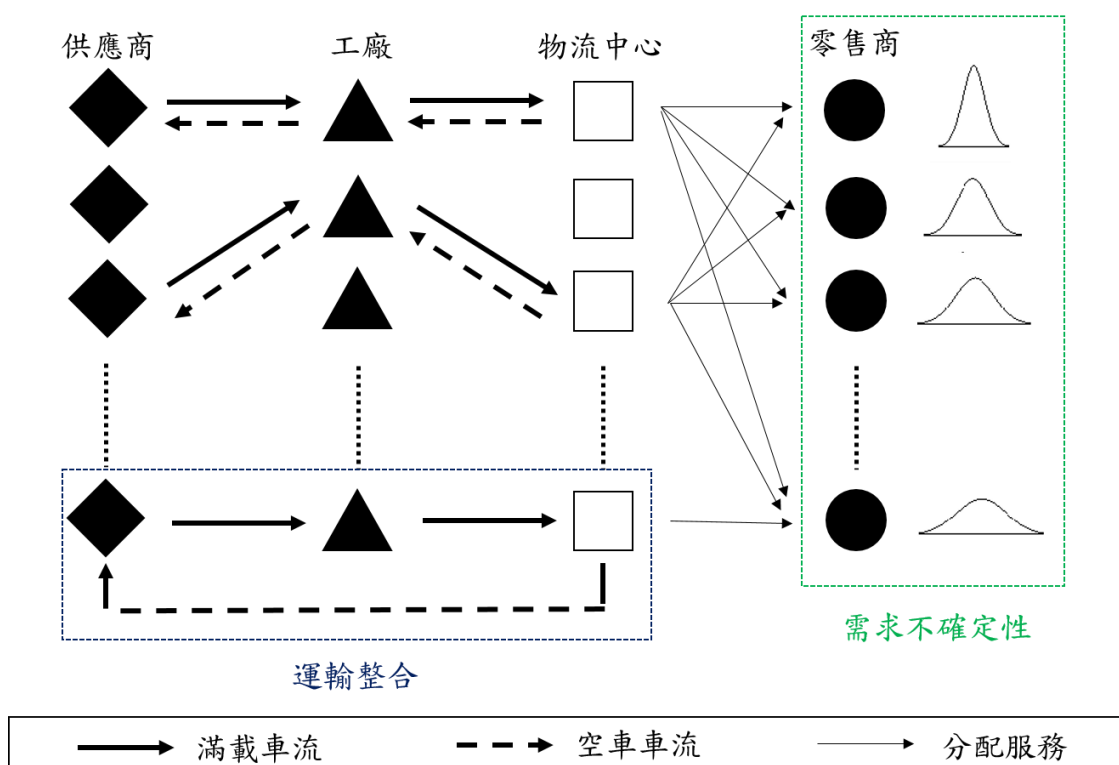
供應鏈階層數	階層數 ≤ 2	階層數 ≥ 3
商品種類	單一品項	多品項
研究期間	單期間	多期間
參數性質	確定性	隨機性

資料來源: Melo et al. (2009)

本研究欲解決之供應鏈階層範圍以圖 1-2 所示，企業在市場穩定的狀況下，供應商、工廠、零售商之位置皆為已知之情況下來決策物流中心之選址與容量，空的方形為物流中心之候選點，此供應鏈階層分為兩個部分，一為「供應商－工廠－物流中心」之部分，二為「物流中心－零售商」之部分，由於運輸成本在物流系統中占了極大的比例，因此

盡可能避免不必要的成本產生，在市場穩定下，企業可以與供應商協調且在車輛皆由企業來調度的情況下進行運輸整合之動作，在運輸整合前，「供應商－工廠」和「工廠－物流中心」這兩段運輸各自運送，因此皆有空車回程的狀況發生，若將供應鏈部份整合，可以減少空車回程所造成的運輸成本。

下游部分則需考量零售商需求的變動，本研究藉由情境來模擬需求發生的狀況，而各需求量對照其發生機率。欲解決需求不確定性之問題，本研究採取二階段決策來進行，在需求發生前進行第一階段決策，決定好設施位置和容量，完成第一階段決策後，在各零售商需求量確定後進行服務指派，若進入物流中心的貨物量超出其容量限制，則進行外包，委託第三方物流業，而外包成本即視為懲罰成本，此為第二階段決策，進行服務指派和考量是否需要外包。故在第一階段決策中，對於設施容量的考量極為重要，設施一旦建置好就難以在短時間內改變其規模。本研究希望透過模擬需求隨機的狀況已隨機規劃來解決問題，因為現實狀況中，不確定因素太多，像是油價、產業狀況等，利用需求隨機來貼近現實狀況，另外，需求雖然會變動，但現今可以透過數據分析來掌握未來需求的變化，若能精準掌握顧客需求，根據所有可能出現需求的狀況以做出完善的決策，進而幫助公司增加收益，本研究欲利用隨機規劃探討數據分析之價值，也說明隨機規劃在決策上之重要性。



1.3 研究方法與架構

本研究的架構為圖 1-3 所示，第二章為文獻回顧，第三章為數學模型建構與說明，第四章為演算法建立與說明，第五章為數值測試，第六章則為結論與建議。

文獻回顧部分，先從設施選址問題文獻進行閱讀與理解，了解選址問題的類型，再來分別對運輸整合和考量需求不確定性兩部分進行文獻回顧。運輸整合的部分，了解學者之前所使用的不同整合方式後，參考其方式並分析，採取一個適合本研究的整合方式；考量需求不確定性的部分，研究各文獻的不同參數設定和需求不確定性表示的方法，來找出適合本研究的設定。

研究方法的部分，對於本研究之混合整數規劃進行模型的建立，利用建立的數學模型來求解小型及中型的問題；針對大型問題，本研究欲使用基因演算法和整數 L-shaped 演算法來求解。數值測試的部分，求解例示性問題和自身設計的問題來測試模型和演算法，透過不同的參數設計來測試，來比較結果。最後，根據研究結果來分析本研究的貢獻和觀察到的結果和發現，並給予未來研究方向的建議。

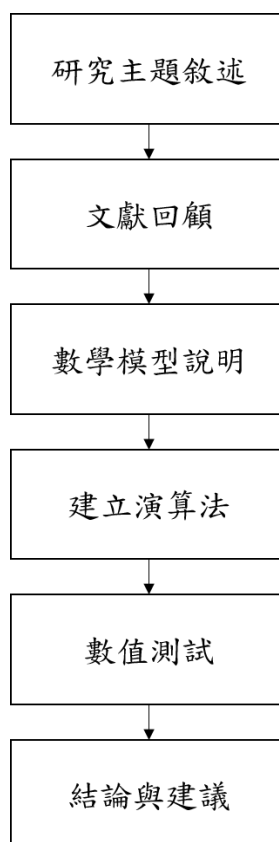


圖 1-2 研究架構圖

第二章 文獻回顧

本章節針對設施選址問題相關的文獻進行探討，先對設施選址問題做個簡單的文獻回顧，再將設施選址問題分為兩部分進行文獻回顧，分別為考量運輸整合和考量需求不確定性的設施選址問題。

設施選址問題(Facility location problem)最早被 Weber 學者於 1909 年提出及研究，其研究為單一倉庫的設施選址問題，目標為最小化顧客到倉庫的總距離，即為 P-中位問題。而後續設施選址問題依其目標不同，Sharma et al.(2015)整理出六種選址問題，為 P-中位問題 (p-median problems)、P-中心問題 (p-center problems)、最大覆蓋選址問題 (maximal covering location problems)、無容量限制設施選址問題(uncapacitated facility location problem)、有容量限制設施選址問題(capacitated facility location problem)、中繼站選址問題(hub location problem)。而本研究除了決定設施位置外，也要將貨車進行路線分配和指派，即為設施選址指派問題(Facility location-allocation problem)，此問題於 1963 年被 Cooper 學者提出，其研究問題為最小化成本以選定兩個設施來滿足多個需求點之需求，而隔年也提出演算法來求解大規模問題並且找出最佳的起始解。

設施選址問題之後被廣泛研究與延伸，像是與運輸路線整合、需求隨機性等議題共同納入研究，本章針對此兩種議題的選址問題做文獻回顧，2.1 小節探討運輸路線整合與選址問題的應用，2.2 小節探討隨機性因子與選址問題的應用，2.3 小節介紹隨機規劃之相關理論。

2.1 考量運輸整合之設施選址問題

Yildiz et al.(2010) 提出運輸整合來解決實際案例，其研究背景為美國某家大型汽車零件工廠原先以不同車輛來運送原料和產品，運送路線分為「供應商-工廠」和「工廠-顧客」，此兩種路線皆為滿車去，空車回，空車回程不但增加運輸成本且降低運輸使用的效率，為各企業都想避免的問題。Yildiz et al.在此案例中發現供應商和顧客位於同個區域範圍，但皆離工廠很遠，故 Yildiz et al.提出運輸整合的想法以提升貨車的使用效率，設置越庫中心來解決空車回程的問題，貨車從工廠將產品運到越庫中心卸貨，之後再將供應商的原料裝載到貨車上，最後載著原料返回工廠，運送期間並無空車行駛的狀況，雖然設置越庫中心需付出設施建置成本，但卻能避免空車回程所造成的浪費，長期下來此整合方式對於公司是相當有利的。幫忙企業解決此問題後，Yildiz et al.在其研究中提到往後可以針對需求不確定下的環境進行延伸探討，更符合現實狀況。

Zhu et al.(2010) 則提出不同於上述的運輸整合概念，不另外加蓋設施，單純透過協調上下游廠商來整合運輸路線，其三個階層的設施位置分布為三角形狀，故提出一個適

合此狀況的整合方式，如圖 2-1 所示，左圖為整合前，供應商和工廠分別指派車輛運送原料和產品送到目的地，而回程則產生空車行駛的狀況；右圖為整合後，藉由媒合上游供應商和下游顧客，利用同一台車輛來運送原料和產品，以整合後的路線進行運送，根據幾何學的性質，三角形兩邊之和大於第三邊，因此可以明顯看出空車來回路線縮短，也代表著行駛時間減少，進而降低運輸成本，減少空車回程所帶來的影響。

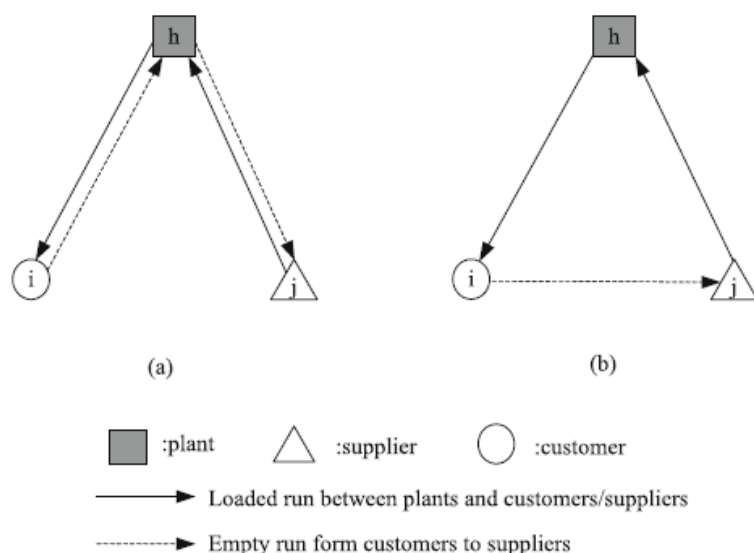


圖 2-1 供應商-工廠-顧客三方之物流情形(a)整合前(b)整合後

Huang & Chen (2018)之研究背景為跨國企業在市場穩定後，將原先交給代理商的服務轉由透過自身設置之物流中心來服務，故其問題為物流中心之選址問題，而在供應鏈為「供應商—工廠—物流中心—零售商」之狀態下，其研究欲透過運輸整合來節省空車回程成本，利用與 Zhu et al. (2010)相同的概念進行運輸整合，以基本的幾何原理將「供應商—工廠」和「工廠—物流中心」此兩段運輸路線進行整合，在藉由大型例題測試後，發現透過運輸整合可以節省 25%之成本，表示藉由運輸整合可以有效地節省成本。

吳宇晴(2018)在與 Huang & Chen(2018)之研究相同背景下加入需求不確定性的因素，將運輸整合和需求隨機性兩種議題共同納入物流中心選址之決策，希望透過運輸整合和隨機規劃來幫助決策者做出完善的決策。

綜合以上文獻，如表 2-1 所示，本研究之供應鏈階層雖為「供應商—工廠—物流中心—零售商」，但考量原料供給和商品需求出貨頻率之差異，故本研究未將下游零售商納入運輸整合的考量，僅針對「供應商—工廠—物流中心」此段進行三角狀運輸整合。

表 2-1 考量運輸整合選址問題研究之比較圖

	Yildiz et al. (2010)	Zhu et al. (2010)	Huang & Chen (2018)、 吳宇晴(2018)、本研究
整合之供應鏈	供應商－工廠 －顧客	供應商－工廠 －顧客	供應商－工廠 －物流中心
整合方式	建立越庫中心	三角狀整合運輸	三角狀整合運輸

以上部分文獻之背景皆在確定性環境下進行求解，若將參數設為隨機性，則會大幅提升解題難度和複雜度，由於錯誤的決策會造成龐大的成本損失，故需要利用隨機規劃來求解不確定性問題，在 2.2 小節對需求不確定下之選址問題進行文獻回顧，在 2.3 小節介紹隨機規劃之相關理論

2.2 考量需求隨機性之設施選址問題

近十年餘來，在供應鏈網路設計的文獻中，越來越多文獻針對參數隨機性做深入探討和延伸，Snyder (2006)提到成本、需求、旅行時間等參數都可視為不確定性，而根據這些隨機參數也衍生許多問題且被廣泛研究及討論，在參數隨機下如何做設施位置的決策是非常困難的，由於設施選址問題為長期的決策問題，設施位置一旦確定並設置好之後，已付出龐大的設施固定成本，因此後續難以改變設施位置和規模，故需要利用隨機規劃來求解參數隨機性的問題，以幫助做出良好且完善的決策。

本小節對考量下游需求隨機性之選址問題來進行文獻回顧。設施選址問題中常見的參數有需求量、旅行時間、營運成本、商品價格等，這些參數都可能成為隨機性的因子，對於求解增添複雜度和難度，Correia & Saldanha da Gama (2015)在 Facility Location Under Uncertainty 一書提到在求解選址問題中，隨機參數大致為顧客需求量、運送時間、運送成本、供應商分布位置、顧客分布位置，若為需求不確定性，則以兩種方式來表示，一為需求的機率分配，二為以情境(scenario)來表示參數隨機的狀況，利用各情境來描述其需求狀況，且對應該情境出現的機率。

根據Correia & Saldanha da Gama (2015)在Location Science一書所述，設施選址問題屬於長期的策略性決策，一旦設置就難以改變，故須將不確定性(uncertainty)納入考量，以降低不確定性所帶來的影響；另外，求解隨機性的設施選址問題，大都使用兩階段決策來求解，第一階段為設施位置之決策，根據不同情境再來做第二階段決策，像是服務指派、路線指派，Snyder (2006)提到若決策都在第一階段完成，則此問題就可以被視為確定性問題。

Cooper (1974)將 Weber 於 1909 年所提出之最小化總需求旅行距離之單一倉庫選址問題加入需求隨機因子，需求隨機已機率分配方呈現，最後用其提出的演算法解決此問題；而 Sheppard (1974)則首度利用情境方式於選址問題，後續許多學者也利用情境方式來表示需求不確定性。

針對兩階層以上之供應鏈，Mitra et al. (2000)以兩階層供應鏈(工廠—配送中心—顧客)在需求不確定下來決策設施位置，其中提出”wait-and-see”及兩階段決策來求解此問題，在兩階段決策中，於第一階段決策工廠和配送中心位置及設施容量，在需求確定後，於第二階段決策各工廠所需生產的產品數量，再進行指派，最後由從配送中心將產品送至顧客手中；Pantelides et al (2001)以兩階段決策方法解決商品多樣、多階層供應鏈問題，其供應鏈為工廠-倉庫-配送中心-顧客，其要決定倉庫和物流中心的位置及設施容量，之後再於第二階段進行指派的工作；Ahmed et al. (2005)欲解決作業成本、運輸成本、需求、供給為隨機性之現實大規模問題，由於情境過多，因此作者使用樣本平均近似法加上班德氏演算法來求解此真實案例；Chang et al. (2007)研究關於洪水氾濫後的人道物流問題，其提出在災難發生前，必須先將各行政區域分類，再規劃各等級的救援中心，找出最佳的候選點，此為第一階段決策，等災難發生後，再從受災區建設救援中心以及指派救援物資的發送。

Albareda-Sambola et al. (2010)在需求隨機為白努力分配下進行決策，其背景為在設施有容量限制下，在服務及設施建置成本已知下滿足顧客需求，目標為最小化總成本，即為服務成本、設施建置成本與第二階段的處理成本，而其中假設需求量並不會受設施容量影響，因此設施可能會有無法負荷需求量的狀況發生。此篇作者利用隨機規劃中的兩階段決策來進行求解，第一階段為決定設施位置，此時並不知道需求量多寡，設施建立後，根據需求量的已知，再進行第二階段的決策，此時若需求超過設施容量上限，則以外包方式來解決此問題。

吳宇晴(2018)在「供應商—工廠—物流中心—零售商」之供應鏈中探討物流中心之選址問題，並將下游零售商之需求設為隨機性參數，故其研究中也使用兩階段決策方法，在供應商、工廠、零售商的位置皆為已知，下游零售商需求不確定下，假設無容量限制，利用兩階段決策來求解物流中心選址問題，第一階段選定物流中心之位址，第二階段進行運輸服務之指派，並利用基因演算法來求解大型問題以大幅縮短求解時間。

表 2-2 考量需求隨機性選址問題研究之比較圖

	Sambola et al. (2010)	黃寬丞、吳宇晴 (2018)	本研究
供應鏈階層	工廠－顧客	供應商－工廠－物流中心－零售商	供應商－工廠－物流中心－零售商
設施規模	有限制， 為參數	無限制	有限制，為變數
第一階段決策	工廠設置地點	物流中心設置地點	物流中心設置地點和容量
第二階段決策	顧客指派、 是否外包	零售商指派、 貨車運送方式	零售商指派、 貨車運送方式、 是否外包

在此小節中回顧兩種需求隨機的表示方式，分別為情境基礎和機率分配，本研究擬採取情境基礎作為需求隨機的表示方式。在以上大多數文獻中，除了決定設施位址外，也需決定設施容量，在隨機規劃中，容量決策的好壞會影響企業未來的發展，設置太大，會付出過高的設置成本，設置太小，則會付出極大的外包成本，故本研究參考以上文獻，將選址和容量決策同時納入考量，在考量運輸整合和需求不確定下進行兩階段決策，第一階段在需求出現前先行決策設施位址和容量，第二階段進行運輸與服務指派並考量外包與否，其中，運輸指派中考量整合與否。部分文獻中也使用不同演算法來解決大規模問題，其結果也驗證演算法之成效，故本研究欲使用演算法來求解大規模問題。

2.3 隨機規劃之相關理論

隨機規劃是否有價值?在問題環境設定下，是否需要利用隨機規劃?衡量以上問題極為重要，在隨機規劃中，使用完整資訊之期望價值(EVPI)與隨機解價值(VSS)來評估隨機規劃模型的可行性，而此兩種指標計算方式參考Birge於1982年所提出的算法，算法會在以下說明，其關係圖如圖2-2所示，首先說明WS、RP、EEV三個數值：

(一) WS值(wait and see solution)

Wait and see言下之意即為情境出現後再進行求解，故其解之值可視為求解確定性問題之值，先依不同情境來依序求解，最後乘上對應的情境出現機率，加權平均後得出WS值，由於WS值為知道情境後所得出的值，且企業也希望能確切掌握市場動向，若其解之值越接近WS值，則代表越能掌握現今市場狀況。

(二) RP值(recourse problem solution)

RP值為找出一個適合所有情境的解，考慮所有隨機狀況來求解，本研究模型求的值即為RP值，RP值不會比WS值好，因為WS值是在確定下環境來求解，不過在需求不確定

下，考量所有情境和其發生機率是相當重要的，能避免意想外的狀況發生。

(三) EEV值(expected result of using the EV solution)

在說明EEV值之前，需先說明EV值(expected value problem or mean value problem)，將各種出現情境的需求，加權平均得到一個平均需求，利用此需求來進行求解，而EEV值為將EV求出來的第一階段解帶入問題中，這時原先第一階段變數這時為參數，之後根據不同情境來求解第二階段決策，求解出的值即為EEV值，由於EEV值是以平均需求來做第一階段決策，未將所有情境考慮進去，因此其值不會比WS值和RP值來的好。

在了解以上三種數值的涵義和求解方式後，藉由這三種數值兩兩相減來得到隨機規劃的兩大重要指標，為完整資訊之期望價值和隨機解價值，以下為其指標之計算方式和意義來做解釋：

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

在現實環境中，需求隨機讓人無法完全掌握，因此最多只能考慮所有隨機狀況來做決策，而EVPI為WS值和RP值之差，若其值偏大，代表完整資訊價值極為重要，建議企業在資訊分析及預測方面進行投資；若其值偏小，則代表其決策方式已經相當接近確定性環境下所做的決策，代表企業較為了解市場狀況，但可以更進一步來分析，掌握確切的資訊以幫助企業獲利。

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

以往企業的決策會以平均的需求來求解確定性問題，但此方式並沒有考量所有情境狀況，故VSS為RP值和EEV值的差，若其值偏大，代表有必要進行隨機規劃，也彰顯隨機規劃之價值，若其值偏小，代表沒有做隨機規劃的必要性，利用原先方式即能求出相近的值，並無隨機價值。

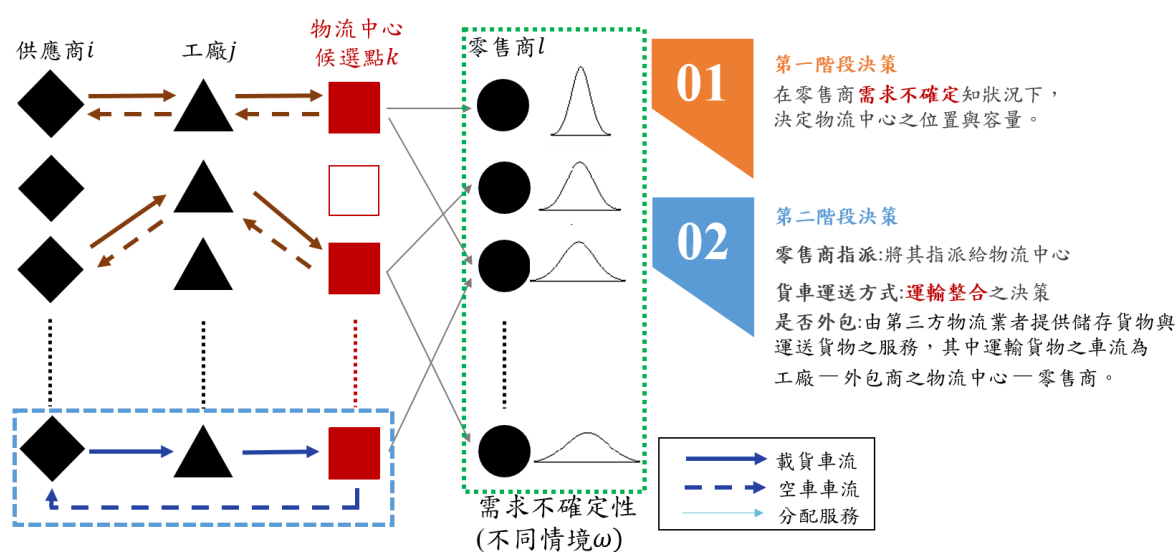


圖 2-2 隨機規劃模型指標關係圖

第三章 數學模型建構與說明

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，數學模型以吳宇晴(2018)所使用之模型為基礎，另將設施容量限制和外包成本納入考量，3.1 小節介紹問題之架構，3.2 小節介紹數學模型中使用之符號與參變數定義，3.3 小節詳細說明目標式、限制式之意義。

3.1 數學模型架構



本研究為三階層供應鏈架構(供應商—工廠—物流中心—零售商)，在供應商、工廠及零售商位置確定的前提下，來進行兩階段之決策，在第一階段中決定物流中心的設施地點與設施容量，第二階段則是利用自身車隊來進行貨物運送與服務，若設施容量不夠大，則尋求第三方物流業者進行儲存貨物與運送貨物之外包服務，而在兩階段決策中考量兩個因素，一為考量「供應商—工廠」與「工廠—物流中心」之運輸整合，二為考量零售商對多種產品之需求不確定性，考量設施容量限制下以多種產品、單一期間作為問題背景，而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)。
- 在市場環境穩定下，供應商、工廠及零售商位置皆為已知。
- 供應鏈各階層間，運送路線依序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。
- 商品需求量設定在工廠產能範圍內。

- 原料供給量會隨零售商之需求量變動，供給量以整車為單位。
- 原料與商品可以使用同一台貨車運送，運送時皆以整車運送。

◆與物流中心相關之假設

- 物流中心設置成本分為固定成本和容量成本。
- 設定物流中心之使用其為十年，而此決策背景之需求為一年的量，故在模型中，物流中心之設置成本攤為十年，以一年為單位作計算。

◆與零售商相關之假設

- 需滿足各零售商之需求，不得發生缺貨情形。
- 模型中所使用之需求量設定為零售商對該產品之整車需求量。
- 零售商可由多個物流中心服務。
- 各零售商之需求為隨機參數。

3.2 模型使用之符號及參變數定義

◆符號說明

i : 供應商	$i \in I$ (I: 所有供應商之集合)
j : 工廠	$j \in J$ (J: 所有工廠之集合)
k : 物流中心	$k \in K$ (K: 所有物流中心候選點之集合)
l : 零售商	$l \in L$ (L: 所有零售商之集合)
ω : 需求情境	$\omega \in \Omega$ (Ω : 所有需求情境之集合)

◆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。

X_k : 物流中心 k 之最大容量。

y_{jkl}^ω : ω 情境下，工廠 j 滿足零售商 l 的需求有多少比例是經由物流中心 k 。

E_{jl}^ω : ω 情境下，工廠 j 滿足零售商 l 的需求有多少數量是外包給第三方物流業者。

s_{ij}^ω : ω 情境下，零件由供應商 i 運送到工廠 j 的車流量。

s_{jk}^ω : ω 情境下，商品由工廠 j 運送到物流中心 k 的車流量。

s_{ijk}^ω : ω 情境下，零件由供應商 i 運送到工廠 j 卸貨後，再運送商品到物流中心 k 之車流量。

◆參數

D_{jl}^ω : ω 情境下，零售商 l 對工廠 j 所生產商品之需求量，以整車計算。

U_{ij}^ω : ω 情境下，供應商 i 運送零件到工廠 j 之供應量，以整車計算。

C_{ij} : 貨車從供應商 i 運送零件到工廠 j 之每車成本

(包含空車回到供應商*i*之成本和其他操作成本)。

C_{jk} :貨車從工廠*j*運送商品到物流中心*k*之每車成本

(包含空車回到工廠*j*之成本和其他操作成本)。

C_{ijk} :貨車從供應商*i*運送零件到工廠*j*後再運送商品到物流中心*k*之每車成本

(包含空車回到供應商*i*之成本和其他操作成本)。

C_{kl} :商品從物流中心*k*送到零售商*l*之服務成本。

FC_k :設置物流中心*k*之固定成本。

VC_k :設置物流中心*k*之容量成本。

OC :每單位需求之外包成本(可視為懲罰成本)。

3.3 數學模型說明

本研究之數學模型為兩階段隨機規劃問題，第一階段為零售商需求確定前，在第一階段需要決定物流中心之位置和規模，到零售商需求確定後，進行第二階段，將第一階段求解出結果帶入第二階段，也代表此時物流中心之位置和規模皆已確定，在第二階段進行車輛和服務的指派，若物流中心容量無法負荷貨物量，則採取外包，數學模型如下所示。

min

$$\sum_K z_k FC_k + \sum_K X_k VC_k + \sum_{\omega} P^{\omega} Q(z, \omega) \quad (3.1)$$

s.t.

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

$$X_k \geq 0 \quad \forall k \in K \quad (3.3)$$

目標式(3.1)為最小化總期望成本，包含物流中心設置成本(含固定成本和容量成本)與第二階段的期望服務成本(含配送成本及外包成本)，前兩項為物流中心設置成本，第一項為設施建置之固定成本，第二項成本取決於容量大小，第三項中 ω 代表隨機模型中的不同需求情境，而 P^{ω} 為其情境的發生機率， $Q(z, \omega)$ 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，式(3.3)設定物流中心之容量為非負整數，而第二階段的物流模型如下所示。

$$\begin{aligned} \min Q(z, \omega) = & \sum_I \sum_J s_{ij}^\omega C_{ij} + \sum_J \sum_K s_{jk}^\omega C_{jk} + \sum_I \sum_J \sum_K s_{ijk}^\omega C_{ijk} \\ & + \sum_J \sum_K \sum_L D_{jl}^\omega y_{jkl}^\omega C_{kl} + \sum_J \sum_L E_{jl}^\omega OC \end{aligned} \quad (3.4)$$

s.t.

$$\sum_K y_{jkl}^\omega * D_{jl}^\omega + E_{jl}^\omega \geq D_{jl}^\omega \quad \forall j \in J, l \in L, \omega \in \Omega \quad (3.5)$$

$$\sum_K s_{ijk}^\omega + s_{ij}^\omega \geq U_{ij}^\omega \quad \forall i \in I, j \in J, \omega \in \Omega \quad (3.6)$$

$$\sum_I s_{ijk}^\omega + s_{jk}^\omega \geq \sum_L y_{jkl}^\omega D_{jl}^\omega \quad \forall j \in J, k \in K, \omega \in \Omega \quad (3.7)$$

$$\sum_I \sum_J s_{ijk}^\omega + \sum_J s_{jk}^\omega \leq X_k \quad \forall k \in K, \omega \in \Omega \quad (3.8)$$

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

$$s_{ij}^\omega, s_{jk}^\omega, s_{ijk}^\omega \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, \omega \in \Omega \quad (3.10)$$

$$0 \leq y_{jkl}^\omega \leq 1 \quad \forall j \in J, k \in K, l \in L, \omega \in \Omega \quad (3.11)$$

$$E_{jl}^\omega \geq 0 \quad \forall j \in J, l \in L, \omega \in \Omega \quad (3.12)$$

目標式(3.4)代表供應鏈各階層間的配送成本、服務成本、外包成本之總和，第一、二項分別代表貨車於「供應商－工廠」和「工廠－物流中心」階層運送時所產生的運輸配送成本，而第三項代表整合「供應商－工廠－物流中心」此供應鏈之運輸配送成本，而第四項則代表產品由物流中心送到各零售商位置的服務成本，由於一個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，前三項所使用的運輸成本皆包含貨車空車回程的成本，第五項則代表設施外包成本，外包數量即為物流中心無法負荷之數量。

式(3.5)代表各零售商可由多個物流中心服務和外包物流業者來滿足，但須保證其需求皆被滿足，式(3.6)要求需要足夠的貨車流量來將零件送到工廠，式(3.7)要求需要足夠的貨車流量來滿足物流中心送至零售商之產品需求量，式(3.5)到式(3.7)在確保零售商的需求須被滿足，不能有缺貨的情形發生。式(3.8)為設施容量限制，其送到該物流中心的貨物量不能超過該物流中心的最大容量，式(3.9)限制當該處有設置物流中心時，才可以有流量經過，式(3.10)設定供應鏈各階層間所使用的貨車數量為非負變數，式(3.11)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，式(3.12)限定外包數量為非負變數。

第四章 演算法建立與說明

隨著問題規模擴大，求解複雜度和時間也跟著增加，在選址問題中，許多文獻使用基因演算法(genetic algorithm)來求解大規模問題；在隨機規劃中，L-Shaped 演算法(L-shaped algorithm)為典型用來求解隨機性之問題，而對於隨機性之選址問題，則使用整數 L-Shaped 演算法(Integer L-shaped algorithm)來求解第一階段為二元變數之問題，故本章節介紹此兩種演算法來嘗試求解大規模問題以提升求解效率，4.1 小節介紹基因演算法之架構與流程，4.2 小節介紹整數 L-Shaped 演算法之架構與流程。

4.1 基因演算法

基因演算法(genetic algorithm)於 1970 年被 John Holland 所提出，其概念起源於達爾文之進化論，「適者生存，不適者淘汰」，將每組解化為一組染色體，其各個變數解則為染色體上的基因，其染色體的好壞取決於適配值(fitness value)，透過不斷繁衍、變異，適配值高的染色體有較高的機率存活在下一世代，反之，適配值低的染色體則較難存活，此方法被廣泛使用在解決最佳化的問題，透過基因演算法來提升求解效率，在較短的時間內找到不錯的近似最佳解。

基因演算法也被廣泛使用來求解選址問題，Kratika et al. (2001)求解上千個顧客點和設施點之設施選址問題，Jaramillo et al. (2002)求解各類型大規模選址問題，像是最大覆蓋選址問題和競爭性選址問題，Kratika et al. (2011)利用混合整數規劃模型求解容量限制下的選址問題，在以上三篇當中皆將候選點放入編碼，以二元變數形式來當作編碼的依據，而在 Topcuoglu et al. (2005)的研究中，由於其問題為選址和指派問題，因此 Topcuoglu et al. 也將指派變數放入編碼來進行求解，回顧此四篇文獻的結果皆可發現利用基因演算法可以在大規模問題中有效率地求出近似最佳解的結果，故本研究利用基因演算法來協助求解大規模的最佳化問題，其演算法主要架構如下所述：

- (一) 隨機產生數個初始解：每一世代的個體數量大多文獻為常數，而少數文獻則利用一個函數來產生，其數量會隨某些參數而改變，Alp et al. (2003)在 p-median 問題中使用需求點總數/選址總數以決定個體總數。
- (二) 計算所有個體之適配值：求解最大化問題，適配值為目標值；求解最小化問題，適配值為目標值之倒數。
- (三) 從現有世代中挑選(select)個體出來繁衍，較常使用為輪盤式選擇法(roulette-wheel selection)和競爭式選擇法(tournament selection)，前者透過相對機率來挑選個體，其機率為個體適配值/所有適配值之和，並非直接淘汰式配度較低的個體，其目的希望能增加物種多樣性；後者為挑選出前幾個優秀個體來進行交配。
- (四) 將挑出的個體進行交配(crossover)，其方式有單點交配、兩點交配、均勻交配，而

Ordóñez et al. (2007) 則將兩個體之選址變數加在一起，在利用貪婪演算法來輔助，去除較不好的選址地點，以產生子代。

(五) 設定一定機率使子代變異(mutation)，以增加物種多樣性，突變率過高，較難收斂；突變率過低，則可能只找到區域最佳解，無法跳脫尋找全域最佳解。

(六) 產生下一世代，計算每個個體的適配值。

參考以上文獻的編碼方式，本研究將第一階段選址決策變數放入編碼，其編碼如下圖 4-1 所示，每一格代表者各個第一階段決策變數，以 0、1 的方式來做為編碼依據，舉例來說，以下圖 4-3 來說明，此染色體體所代表的意思為決定在候選點 1、5、8 設置設施。

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

圖 4-1 本研究之染色體編碼示意圖

圖 4-3 為本研究基因演算法之流程圖，以下針對本研究基因演算法各步驟進行詳細說明。

- (一) 隨機產生起始解：產生 30 條染色體，即為產生 30 組解，其染色體上之各編碼數值以隨機亂數產生。
- (二) 計算個體適配值，更新當前最佳解：將各染色體的編碼數值代入相對的第一階段變數並使用最佳化軟體 gurobi 求解，其適配值為本研究問題目標式值的倒數，目標式值越小，適配值越大，代表此個體越優良，若此個體代入求出的解優於當前的解，則將其解取代當前的解，優化當前的解。
- (三) 選擇母代：本研究選擇母代的方法為混合競爭式選擇法和輪盤式選擇法，為確保優良的基因能有極高的機率保留至下一代，故將較好適配值前 20%之個體選擇到母代中，剩餘 80%則採用輪盤式選擇法，各個體被挑選的機率為其適配值/適配值總和，故適配值越高，越有機會被挑選到母代。
- (四) 交配：交配率設為 80%，亂數產生 30 個 0 到 1 之間的小數對應到 30 個母代染色體，若其對應數值小於 0.8，則放入交配候選清單中，否則，將此染色體放入下一世代，若候選清單中的數量為奇數，從清單中去除一染色體，最後在候選清單中，兩兩以單點方式進行交配，以圖 4-2 舉例，母代為有 5 個 DNA 的染色體，隨機亂數 1 到 5 之間的整數，若為 3，則在圖 4-2 紅線位置上切割，子代 1 繼承在母代 1 上 1、2、3 位置上的基因，其餘基因從母代 2 繼承，以此類推，產生子代 2。

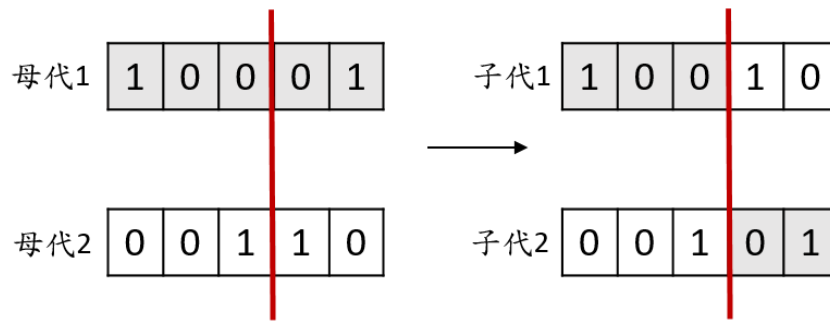


圖 4-2 本研究之染色體交配示意圖

- (五) 突變：突變率設為 1%，隨機亂數產生 0 到 1 之間的小數，若小於 0.01，改變該位置上的數值，將 1 改為 0，將 0 改為 1。
- (六) 進行選址數修復：為增加求解收斂速度和減少求解時間，故本研究利用限制選址數之方式來達到目的，在每個母代中，將適配值前十個好的個體挑出，觀察其對應之選址數，將選址最多的數列為下一世代的選址限制數量，若在下一世代中，發現個體之選址數超過限制之數量，則將選址數修復在上一世代最佳適配值個體之選址數和選址限制數量之中，隨機更改幾個 DNA 內的數值，將 1 改為 0。
- (七) 終止條件設定：終止條件設為 30 個迴圈數，即為產生 30 個世代後，演算法就停止搜尋，回傳當下得到的最佳解。

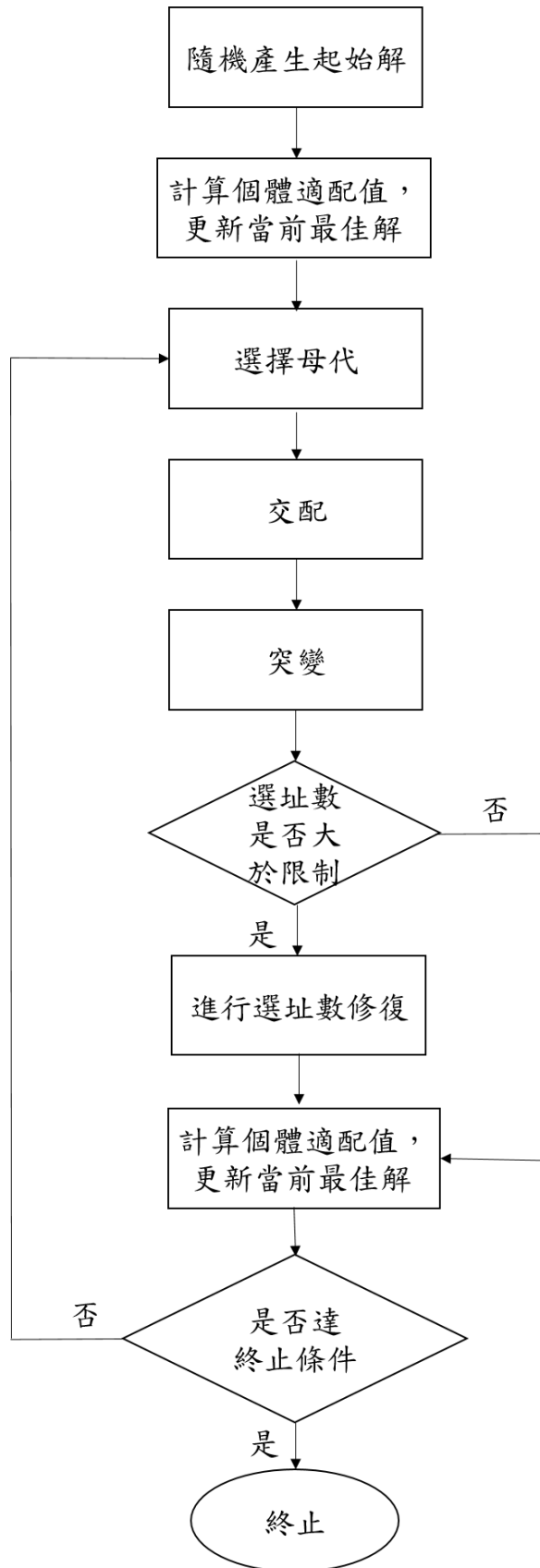


圖 4-3 本研究基因演算法之流程圖

4.2 整數 L-Shaped 演算法

Integer L-Shaped Method 為 L-Shaped Method 的衍生，L-Shaped Method 於 1969 年被 Van Slyke 和 Wets 兩人提出，此方法後來被廣泛用來解決隨機規劃之問題，此方法之核心概念為估計第二階段的目標值，加入限制式來加快求解速度，透過迴圈反覆計算來找出最佳解，將原先拓展形式(extensive form)模型分為主問題和子問題，主問題如下列模型所示，其第二階段目標值被 θ 取代，雖為主問題，但其目的還是再求解第二階段目標值，藉由求解子問題來決定是否要加入限制式，其限制式使得 θ 漸漸收斂，最終找到最佳解。

$$(EF): \min c^T x + \sum_{k=1}^K p_k q_k^T y_k$$

$$\text{s. t. } Ax = b$$

$$T_k x + W y_k = h_k, k = 1, \dots, K$$

$$x \geq 0, y_k \geq 0, k = 1, \dots, K$$

$$\text{Mater Problem: } \min z = c^T x + \theta \quad (1)$$

$$\text{s. t. } Ax = b$$

$$D_l x \geq d_l, l = 1, \dots, r \quad (2)$$

$$E_l x + \theta \geq e_l, l = 1, \dots, s \quad (3)$$

$$x \geq 0, \theta \in \mathbb{R}$$

L-Shaped Method 求解步驟主要為三個部分，以下為求解步驟做詳細解釋。

- 步驟 0: 起初將 r 、 s 、 v 設為 0， r 為加入可行解限制式之個數， s 為加入最佳解限制式之個數， v 為迴圈數。
- 步驟 1: 設 $v = v+1$ ，求解主問題得 (x^v, θ^v) ，若沒新的限制式加入，則將 θ^v 設為負無限大，而忽略 θ^v ，直接求解 x^v 。
- 步驟 2: 確認求出的解是否為可行解，若為不可行解，則加入主問題中的第二條限制式，然後回到步驟 1 重新求解；若為可行解，則進入步驟 3。
- 步驟 3: 求解第二階段問題，利用對偶(dual)來求解目標值 w^v ， $w^v = e_{s+1} - E_{s+1} x^v$ ，若 $\theta^v \geq w^v$ ，則終止，即為找到最佳解；若無，則加入主問題中的第三條限制式，回到步驟 1 重新求解。

$$E_{s+1} = \sum_{k=1}^K p_k \cdot (\pi_k^v)^T T_k \quad (4)$$

$$e_{s+1} = \sum_{k=1}^K p_k \cdot (\pi_k^v)^T h_k \quad (5)$$

而 Integer L-Shaped Method 為在第一階段變數為整數的情況下來被使用，由於變數為整數，無法使用對偶(dual)來求解，因此就將原先 L-Shaped Method 的概念和精神結合分支定限法(branch and bound method)，主要分為兩大部分，以分支定限法為主體，藉由新加入的限制式來縮小可行解範圍，第一部分為找到可行解，其中利用分支定限法來產生節點，若非可行解或其目標值較差則可以直接除掉節點，加快收斂速度；第二部分為求解第二階段，判斷是否要加入新的限制式。

以下說明 Birge et.al 所提出之演算法步驟，其流程圖以圖 4-4 來解說。

- 步驟 0: 初始化，將迴圈數設為 0，最佳解 $\bar{z}$ 為 ∞ ， θ 為 $-\infty$ ，節點清單內僅有一節點。
- 步驟 1: 從清單中，選擇一節點來求解第一階段問題，若當中無節點，則終止。
- 步驟 2: 迴圈數 v 加一，求解當節點下之問題，得第一階段變數 x^v 和 θ 。
- 步驟 3: 確定此解為可行解，未違反其限制式；若違反，則回步驟 1。
- 步驟 4: 判斷當下的目標值是否大於 $\bar{z}$ ，若大於 $\bar{z}$ ，回步驟 1。
- 步驟 5: 判斷第一階段變數 x^v 之解是否為二元解，若為否，則對該變數進行分支，增加新節點到清單中，回步驟 1。
- 步驟 6: 將第一階段變數 x^v 之解帶入目標式中求解，若 z^v 小於 $\bar{z}$ ，則更新 $\bar{z}(\bar{z}=z^v)$ 。
- 步驟 7: 若 $D(x^v)$ 小於 θ ，回步驟 1；否則加入新的限制式，

$$\theta \geq (q_s - L)(\sum_{i \in S} x_i - \sum_{i \notin S} x_i) - (q_s - L)(|S| - 1) + L, s \text{ 加一。}$$
- 步驟 8: 若新加入的限制式已存在，則回步驟 1；否則，進步驟 3。

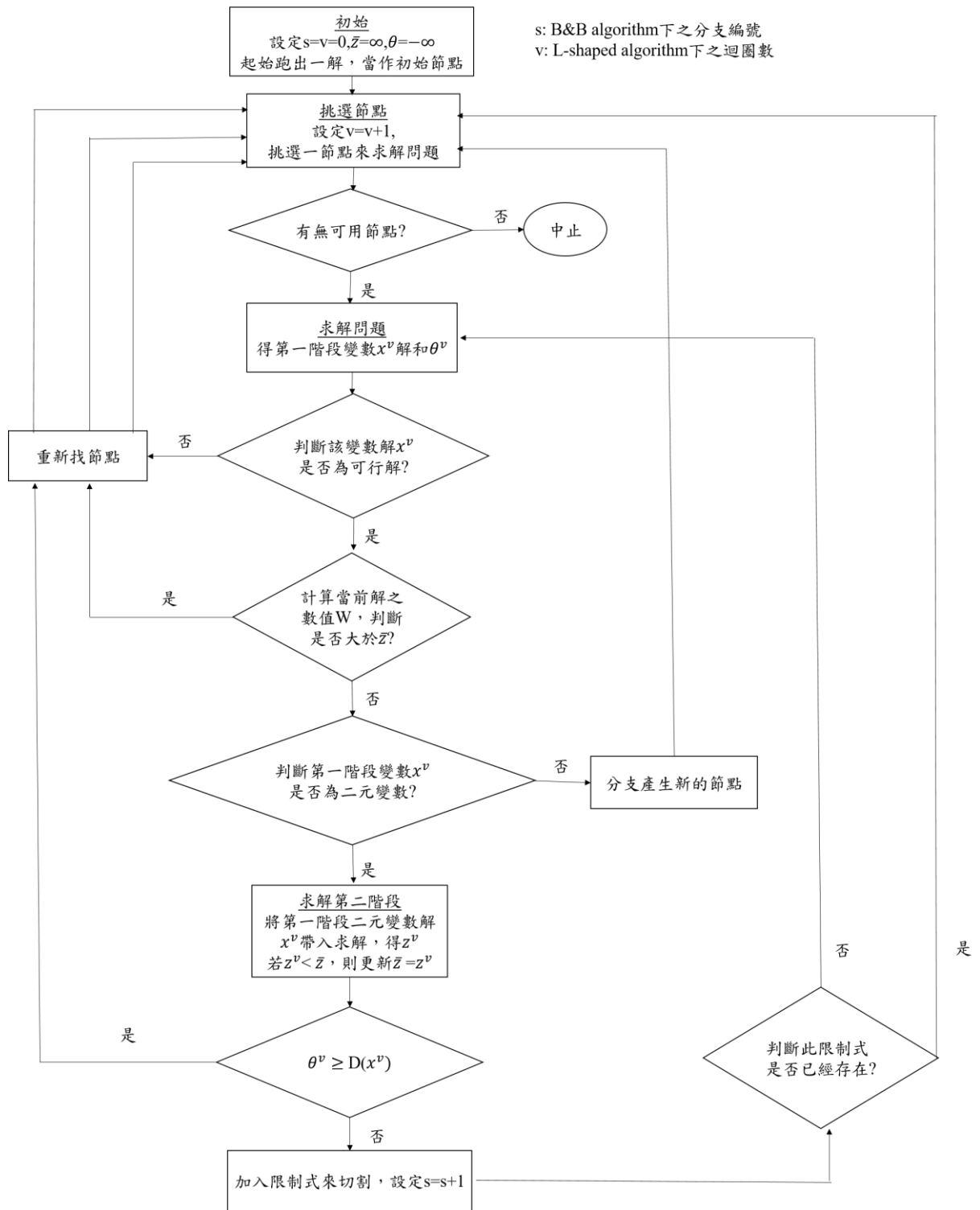


圖 4-4 Integer L-Shaped Method 之流程圖

資料來源：Birge, J. R., & Louveaux, F. (2011)

以下說明對本研究問題所設計改良演算法的部分，分為兩個部分，第一部分為在步驟 0 求初始解的部分，本研究利用貪婪演算法(greedy algorithm)求解的結果當作初始解，之後再回溯尋找其他解，若遇到非整數解，再進行分支，經過回溯、分支的循環，直到最後回到所有分支的頂部，也就代表清單中並無節點，演算法即可終止，舉例來說，經過貪婪演算法得到的初始解為依序在點 2、4、5 建立設施，之後從 $z_5=0$ 之節點開始回溯，依據貪婪演算法的結果，故沒繼續往 $z_5=1$ 之節點往下尋找可行解，如圖 4-5 所示，經過反覆的回溯和分支，最後回到頂點，即可終止演算法。

第二部分為在步驟 5 中，若第一階段變數並非二元變數，則將解為非零之數皆改為 1，帶入第二階段求解，並藉此加入新的限制式後再進行分支，此作法目的為增加限制式以加快收斂速度，因為在第一階段中需要一些好的限制式來加快收斂，故需要盡可能加入新的限制式來達到目的。

本研究透過以上兩個部份的設計，希望透過貪婪演算法可以先找到極好的解，如此一來，可以迅速地去掉較不好的可行解，而第二部分，即為多加入新的限制式來縮小可行解範圍，這兩個部份都是為了提升演算法效率而迅速找到最佳解而設計。

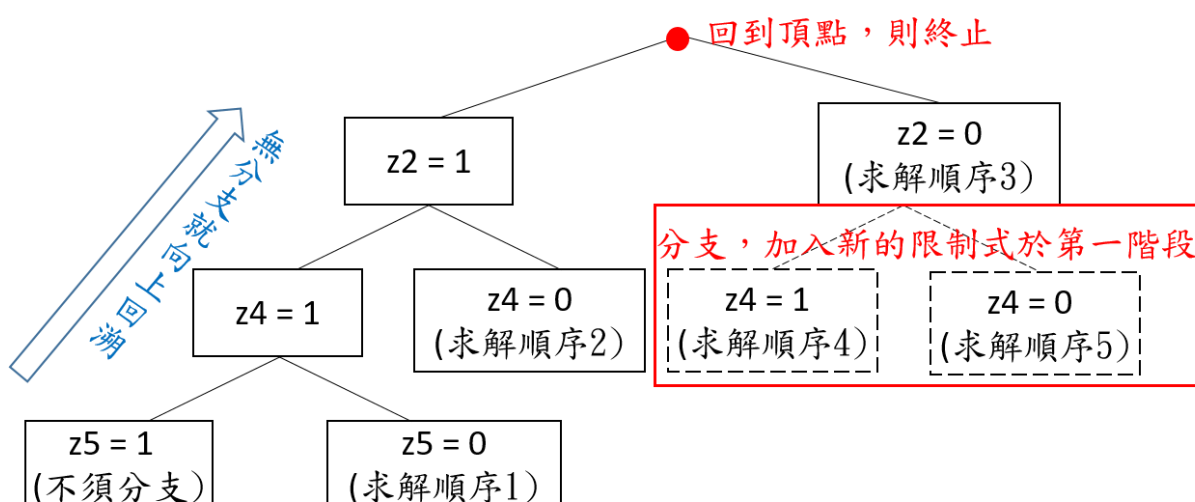


圖 4-5 本研究設計之收斂方法

在整數 L-Shaped 演算法中，透過不斷加入限制式來縮小可行解之範圍，不過隨著問題規模的增加，導致需要繁複加入許多限制式，使得收斂速度會不如預期。

第五章 數值測試

5.1 小節中透過美國西部地區的例示性問題說明隨機規劃之價值；5.2 小節中設計 30 組小型例題來說明隨機規劃之價值、不同產品性質之運輸整合成效、外包成本之敏感度分析、整數 L-shaped 演算法之測試結果；5.3 小節將供應鏈角色個數和需求情境擴大，藉由測試 30 組例題來說明隨機規劃之價值，也比較最佳化軟體 Gurobi 與基因演算法之求解效能。

5.1 例示性例題

在本小節中，本研究採用 Huang & Chen (2018) 研究之例示性例題來進行數值測試，其問題背景發生在美加西岸，其供應鏈組成包含 3 個供應商、5 座工廠、17 個零售商需求點，其中零售商的位置同時也是設置物流中心的候選點，物流中心除了可以滿足其他零售商之需求外，也可以滿足與自己同一地區零售商之需求，詳細位置如表 5-1 所示。

表 5-1 例示性問題之地點與編號

供 應 商	州	地 點	物 流 中 心 候 選 地 點 和 需 求 點	州	地 點	編號
	WA	Tacoma		BC	Vancouver	1
	CA	Long Beach		WA	Seattle	2
Spokane					3	
工 廠	OR	Portland		CA	Sacramento	7
					San Francisco	8
	CA	Bakersfield		Fresno	Los Angeles	9
						San Diego
	OR	Eugene		NV	Reno	6
					Las Vegas	12
	NM	Roswell		AZ	Phoenix	14
					Tucson	15
	NV	Elko		NM	Albuquerque	17
					UT	Salt Lake City
	AZ	Kingman		ID	Boise	5
					CO	Denver

資料來源：Huang & Chen (2018)

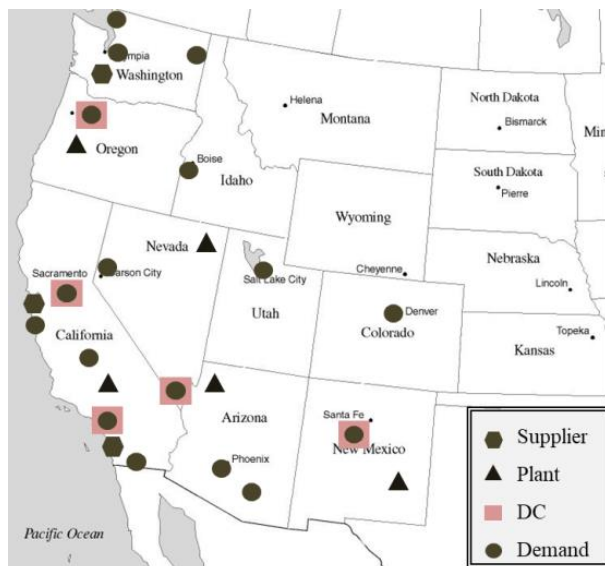
隨機參數設計部分，參考吳宇晴(2018)的設計，下游零售商的需求不確定性分為三種情境，分別為高、中、低需求，其發生對應機率為 40%、50%、10%，考慮到貨物性質，將供應商之總供給量與零售商之總需求量設為相同，供給量隨需求量做變動，以確保所有需求皆能被滿足，與需求隨機性相關之參數設定整理於表 5-2 中。供應商地點選擇位於美加西岸三個接近港口的地點，而三個情境中設定總供給量為 300,000、150,000、50,000 單位，不同情境中供應商個別的供給量參考 2011 年北美港口標準貨櫃(TEU)數量做比例分配(資料來源：American Association of Port Authorities)，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、150,000、50,000 單位，17 個零售商之需求量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_{jl}^{ω} 同樣也以亂數產生之比例隨機分配。此外，假設物流中心固定成本為 600,000，物流中心容量成本為每單位 200，每單位外包成本為 1,000，而供應鏈中各設施間的運輸成本以各地點間的直線距離來代表。

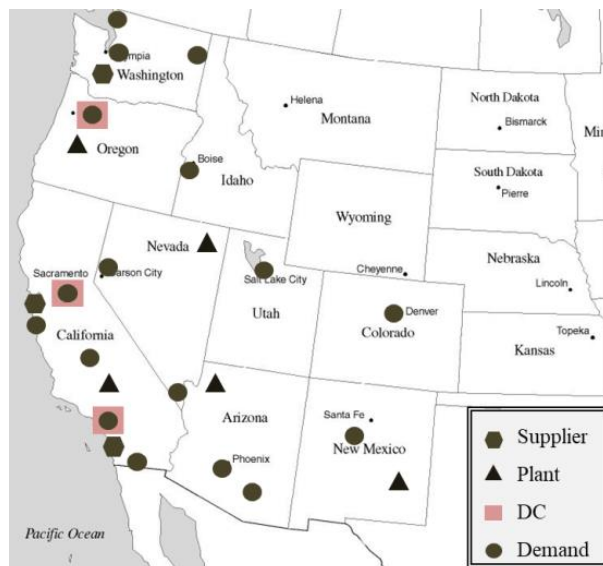
表 5-2 三種需求情境之參數設定

參數 \ 情境	高需求	中需求	低需求
總供給量	300000	150000	50000
總需求量	300000	150000	50000
發生機率	40%	50%	10%

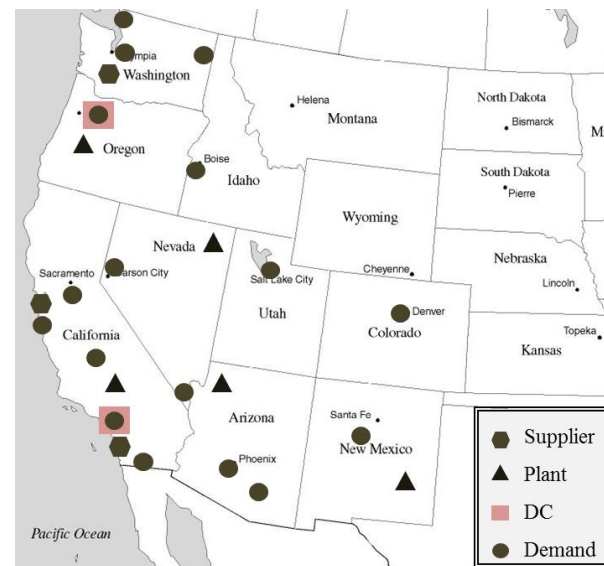
將上述數據利用最佳化軟體 Gurobi 分別計算 WS、RP 與 EEV 的值，其中發現 WS 值為 73,527,339，根據高中低三種不同情境之需求量，物流中心之設置數目為 2 到 5 座不等，依需求量大小來決定是否需要多設置物流中心，若達到計算之臨界值，就會設立新的物流中心，以結果來看，隨者需求量增加，物流中心設置地點也隨之提升，結果如圖 5-1 所示。



(a) 高需求



(b) 中需求



(c) 低需求

圖 5-1 三種需求情境下計算 WS 值之求解結果

考量下游需求不確定性後所得之最佳解目標式值(RP)為 93,666,054，其中設置 4 座物流中心，分別位於 Portland、Sacramento、Los Angeles、Las Vegas，如圖 5-2 所示。

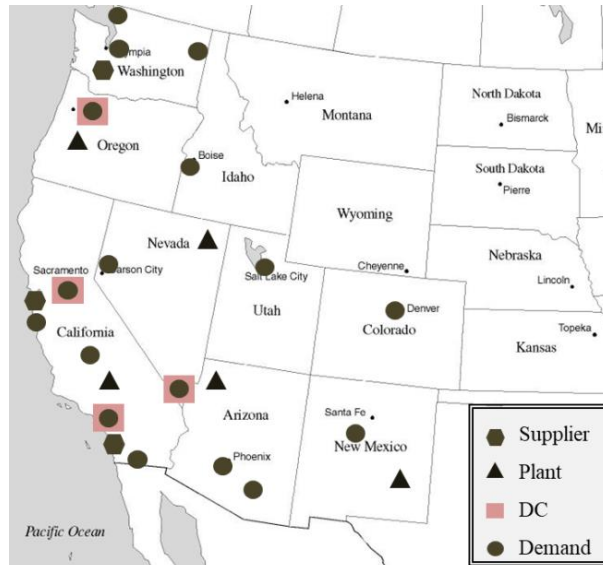


圖 5-2 三種需求情境下計算 RP 值之求解結果

然而，若忽略下游需求不確定性，直接將各情境發生的需求量取期望值作為決策依據，放入確定性(deterministic)數學模型中求解，得到第一階段的決策，之後再將其結果(即物流中心的設置位置和設施容量)帶入不同情境來求解，得到第二階段的期望成本，以此計算出此例示性問題之 EEV 值為 117,180,086，需建置 3 座物流中心，位置分別設於 Portland、Sacramento、Los Angeles，如圖 5-3 所示。

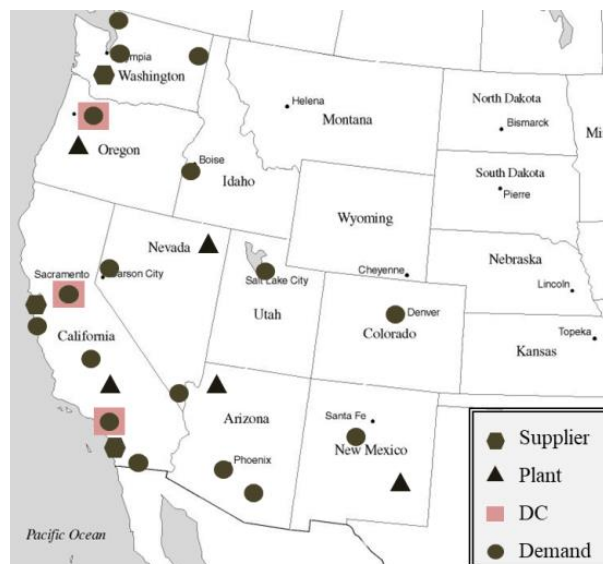


圖 5-3 三種需求情境下計算 EEV 值之求解結果

因此，我們可以透過上述求得之三項數據來計算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 20,138,715，而隨機規劃的價值($VSS = EEV - RP$)為 23,514,032，可以發現雖然 RP 的決策結果下之設施建置數量比 EEV 的決策多了一座，但 RP 值仍比 EEV 值減少許多，原因為在 RP 的策略下有考慮到所有情境去做決策，EEV 則是以期望值來當作需求量去做決策，因此會有考慮不周全的地方，進而產生較高的外包成本，因此導致 EEV 值高上許多。

透過以上的數據測試與分析，在此例題中可以發現若能掌握完整的資訊，則可以減少不少的成本，且企業若能將隨機性考慮進去來做決策，則能少去不少成本，針對此問題，建立系統準確預測需求是相當值得的。各數據之統計結果如

表 5-3 所示。此小節利用例示性例題做數值測試，之後在 5.2、5.3 小節分別為自己設計的小型和大型問題，在 5.3 小節，除了模型求解外，也利用演算法來求解大型問題，希望能藉由演算法來增加求解效率和得知其解決較複雜問題的成效。

表 5-3 例示性問題之求解結果統整表

情境	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	150,000	50,000
發生機率	40%	50%	10%
總目標值	109,213,064	55,783,945	19,501,413
設置位置	4,7,10,12,17	4,7,10	4,10
設施容量	50727,43629, 142220,55871,7551	25991,22922,101087	11398,38602
WS 值	73,527,339		
情境	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	150,000	50,000
發生機率	40%	50%	10%
總目標值	-	-	-
設置位置	4,7,10,12		
設施容量	50727,43629,142220,63422		
RP 值	93,666,054		
情境	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	150,000	50,000
發生機率	40%	50%	10%
總目標值	208271521	59117345	43128048
設置位置	4,7,10		
設施容量	28879,25469,112319		
EEV 值	117,180,086		

5.2 小型測試例題

在本節中，測試 30 組例題，每個例題中，在供應鏈端上分別有 3 個供應商、5 個工廠、25 個物流中心候選點、50 個零售商，而各個角色的分布位置以亂數產生在縱橫軸 0-1 之平面上，圖 5-6 以例題三之亂數產生的結果來舉例，◇代表供應商，△代表工廠，□代表物流中心候選點，○為零售商，以下說明關於成本的參數設計，運輸成本為各點間之直線距離乘以 150，外包成本為每單位貨櫃 300 元，至於物流中心之設置成本，由於需求量和供給量是針對每年來做計算，因此這裡的物流中心設置成本攤成以一年來計算，物流中心固定成本為 200000 元/年，物流中心變動成本為每單位貨櫃 200 元/年。

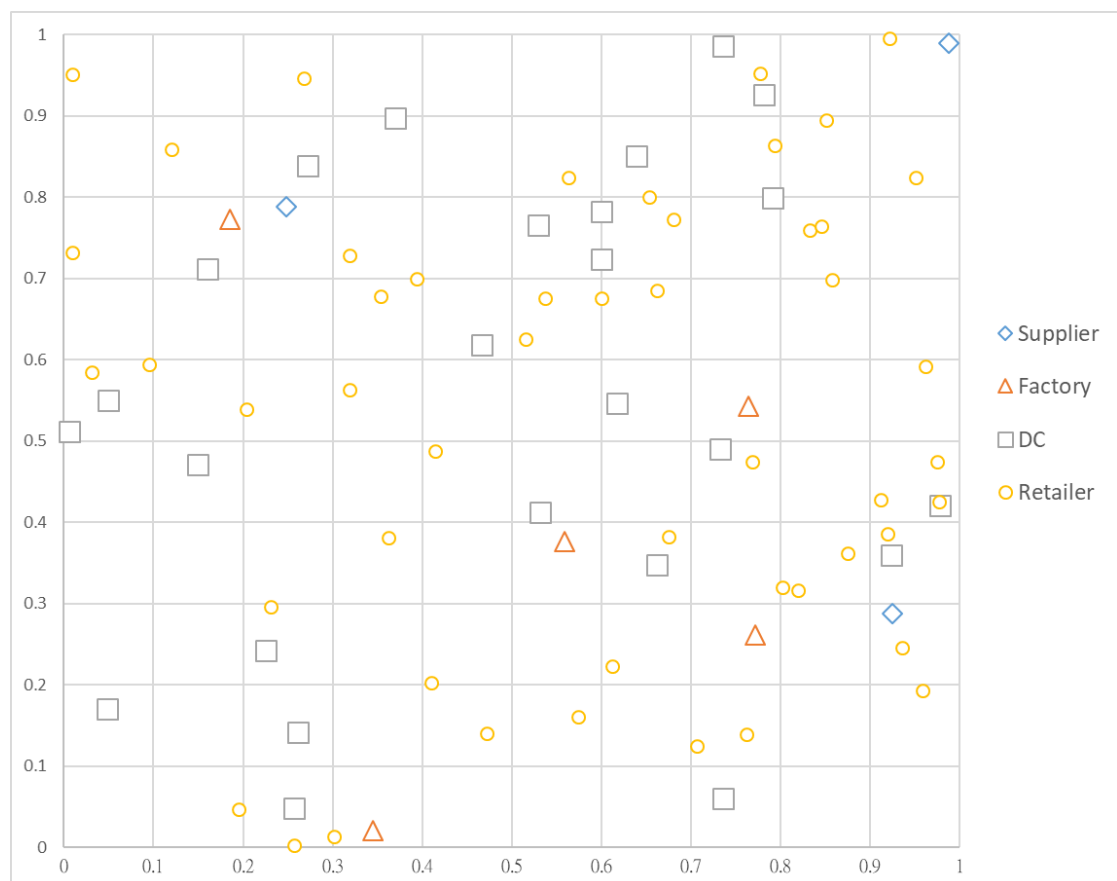


圖 5-4 小型測試例題之例題三各階層分布位置圖

關於供給量需求量之參數設計，小例題設定有 5 個情境，情境狀況與該情境發生機率如表 5-4 所示，此部分供給量與需求量之比例設定為 1:1，後續會針對商品型態來調整比例，藉此探究不同比例所帶來的影響。

表 5-4 小型測試例題之情境設定

情境	1	2	3	4	5
總需求量	60000	80000	100000	120000	150000
總供給量	60000	80000	100000	120000	150000
發生機率	0.05	0.2	0.35	0.25	0.15

在本節中，分別往四個方面來進行數值測試與分析，一為 WS 值、RP 值、EEV 值之測試與分析，並從中透過 EVPI 值和 VSS 值來知道完整資訊之期望價值和隨機解之價值，二為透過總需求量和總供給量不同比比例的設定，來計算物流整合效益的變化，三為外包成本之敏感度分析，四為整數 L-shaped 演算法之測試結果。

從表 5-5 中明顯發現，平均而言，完整資訊之期望價值之效能為 704964，使用 WS 解可節省 1.56% 之成本，以此價值可以建議企業主建立準確的需求預測系統，以提升服務品質和效率；隨機解之價值為 417460，使用 RP 解可節省 0.92% 之成本，可以得知若企業主僅以需求之期望值來假定未來需求而做決策，會因此增加許多成本，而加上設置物流中心為長期之決策，故若能將各情境狀況皆考慮進去，則可以做出完好良善的決策，以下針對兩個例題，來說明做隨機規劃之價值和必要性。

表 5-5 小型測試例題之測試結果

例題	WS	RP	EEV	EVPI (%)	VSS (%)
1	43623347	44175051	44349933	1.25	0.39
2	44892426	45381975	45631901	1.08	0.55
3	46540887	47418103	48157645	1.85	1.54
4	47459940	48246688	48628292	1.63	0.78
5	45574472	46208931	46561377	1.37	0.76
6	43476117	44353141	44641008	1.98	0.64
7	41415622	42102344	42596809	1.63	1.16
8	49834355	50711886	51285627	1.73	1.12
9	42465605	43029085	43186847	1.31	0.37
10	45510972	46287559	46847795	1.68	1.20
11	42294209	42859010	43400513	1.32	1.25
12	45950090	46411924	46710736	1.00	0.64
13	44236831	45052063	45389675	1.81	0.74
14	42491232	43080304	43669810	1.37	1.35
15	51323045	52211026	52807660	1.70	1.13
16	46528014	47203027	47619521	1.43	0.87
17	46606016	47175276	47273243	1.21	0.21
18	42655011	43327315	43547957	1.55	0.51
19	41984673	42659238	42981588	1.58	0.75
20	43640655	44225633	44662179	1.32	0.98
21	41591808	42247461	42975560	1.55	1.69
22	43736026	44504218	45099503	1.73	1.32
23	45091712	45881449	46307727	1.72	0.92
24	43917943	45103850	45539018	2.63	0.96
25	50193317	50960589	51339522	1.51	0.74
26	43080063	43954363	44625018	1.99	1.50
27	45822675	46443279	46733363	1.34	0.62
28	41564652	42268141	42832007	1.66	1.32
29	39286184	39736315	39969771	1.13	0.58
30	39580827	40298396	40669827	1.78	0.91
平均				1.56	0.92

圖 5-5 為例題三測試後的結果，發現 RP 解與 EEV 解所設置物流中心之數量分別為 4 座和 5 座，隨機解之價值為 739542，透過隨機規劃所減少的成本不只一座物流中心之成本，除了少蓋一座物流中心外，還能在更低的成本支出下有效地滿足需求。

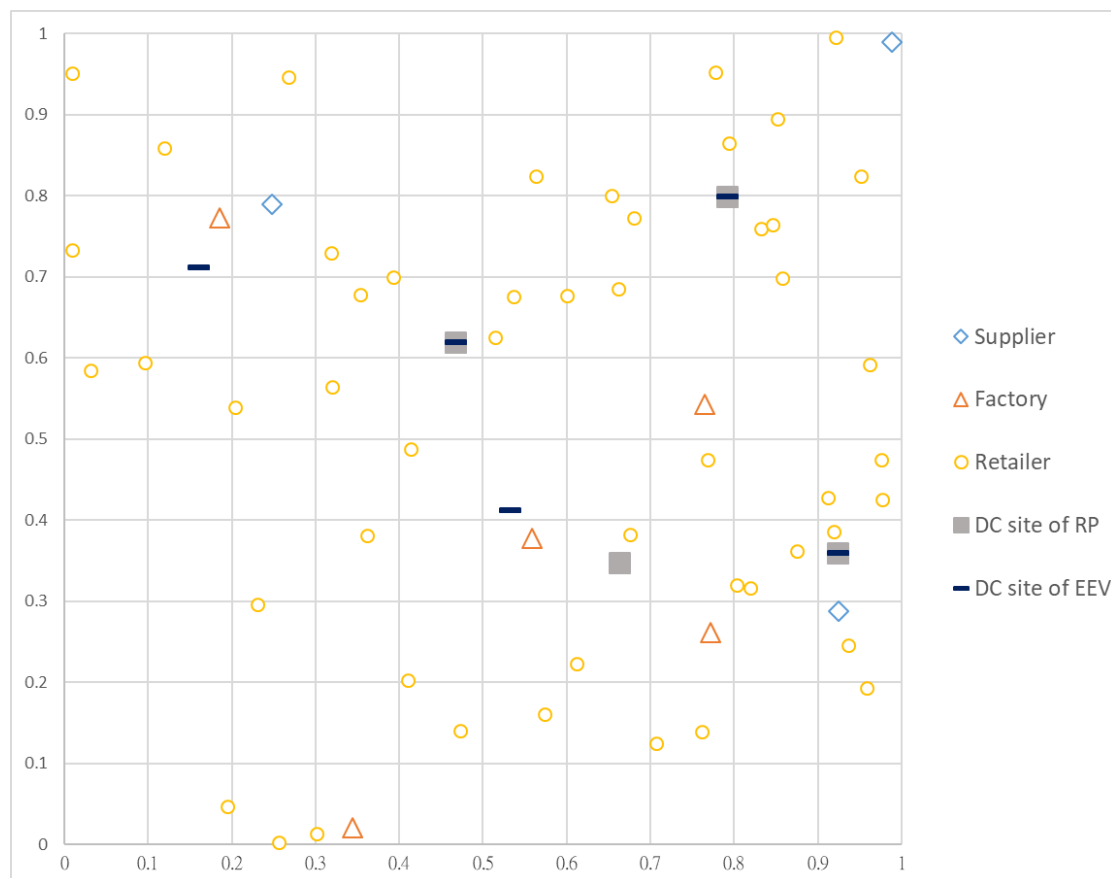


圖 5-5 例題三之 RP 與 EEV 決策結果

圖 5-6 為例題五測試後的結果，雖然 RP 解與 EEV 解所設置之物流中心數量相同，但設置的位置有一個不同，雖然兩點位置鄰近，但因為設置的地點不同而相差了 352446 之成本，在表 5-6 中，可以發現一些例題中雖然 RP 解和 EEV 解得出的物流中心數量和設置位置相同，但由於容量決策的不同，普遍 EEV 解的容量設定大於 RP 解所設定的，導致耗費高成本來建立較大的物流中心，但卻沒在第二階段之成本減少至預期的值，故並不是物流中心蓋越大越好，而需要考慮到第一階段和第二階段成本之間的權衡關係，從例題測試中，VSS 值平均為 417460，使用 RP 解可節省 0.92% 之成本，可以得知使用隨機規劃能提升選址決策的效益。

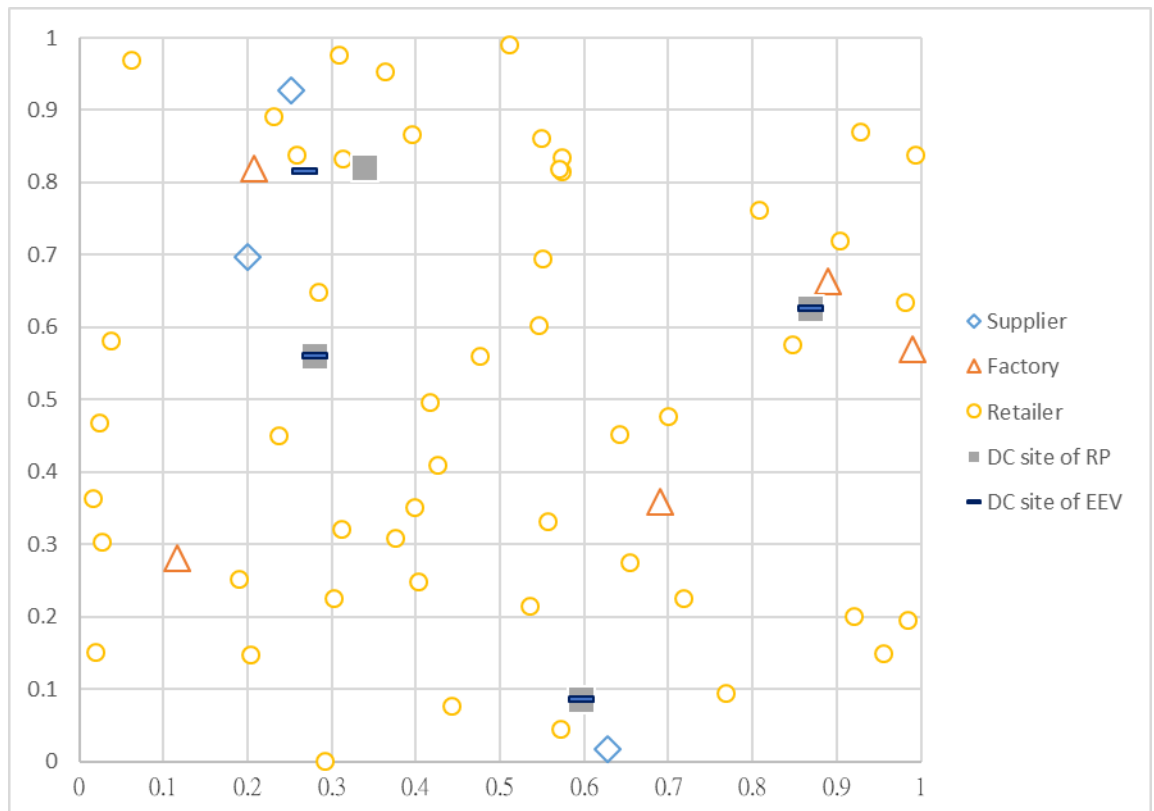


圖 5-6 例題五之 RP 與 EEV 決策結果

表 5-6 小型測試例題之 RP 與 EEV 決策結果

例題	RP 設廠位址	RP 設施容量	EEV 設廠位址	EEV 設施容量
1	6,9,10,11	14394、28736、7285、26460	6,9,10,11	16786、32340、7568、27283
2	12,14,19,24	22388、13483、14905、22340	12,14,19,24	27748、16482、16810、23850
3	5,12,17,20	12231、22014、26911、18844	5,7,12,13,17	12408、25424、32339、11732、18255
4	6,16,17,25	7986、24266、17737、29335	6,14,16,19,25	9068、17438、31134、6561、26716
5	4,15,16,22,	13061、27242、11364、19935	4,8,16,22	16257、33755、12777、23518
6	5,11,13,21	24195、11688、19953、23728	5,11,13,21	26741、13736、21250、28338
7	13,15,19	22159、35277、19184	11,13,15,19	10594、24677、37281、18960
8	3,5,15,17,20	25458、11480、7637、22122、13304	3,5,9,17,18,24	24494、10680、12803、27450、9072、14218
9	11,14,20,22	28939、7826、20164、19451	11,15,20,22	31501、8563、21516、21442
10	1,2,11,24	10540、27648、15387、26361	1,2,11,24	13159、27545、20327、35639
11	8,9,12	15205、44645、15650	8,9,12,16	14498、43668、13513、20820
12	6,7,10,24	13534、6876、19098、35332	6,7,10,24	14814、7686、23789、40415
13	3,8,13	23606、24621、31170	3,8,13	26729、25927、37430
14	1,4,5,8,21	17310、7716、24079、17379、13046	4,5,8,20,25	8149、34881、19734、19640、12838
15	9,19,23	33240、19845、26915	6,9,12,19	23908、36179、19269、19926
16	15,17,24	25785、33712、14148	15,17,24	32614、41209、16198
17	7,13,16,20	26495、20771、13550、14508	7,14,15,18,20	26448、17609、15602、10266、10838
18	8,9,14,22	8011、28200、18864、17712	1,8,9,14	19795、8865、29784、22775
19	1,15,20	41562、20866、12571	1,2,15,20	41206、10246、23239、12705

20	13,17,18,23	28432 、 9289 、 24331 、 16360	13,17,18,23	34821 、 10535 、 26923 、 19111
21	3,10,13,19	28167 、 13438 、 16279 、 22116	3,10,14,19	24066 、 20041 、 21486 、 34194
22	1,2,6,13	19705 、 22589 、 16919 、 19665	2,3,6,10	27564 、 22844 、 20220 、 26033
23	3,4,9	17098 、 35202 、 25235	3,4,9,25	19929 、 37898 、 25082 、 10833
24	5,9,10,14	19194 、 18844 、 22505 、 19457	5,9,10,16,18	17621 、 20877 、 22390 、 27127 、 11150
25	6,10,21,24	24903 、 10358 、 31225 、 12222	6,10,21,24	30516 、 11373 、 36726 、 12178
26	3,5,10,12	9493 、 11272 、 15035 、 42620	3,5,10,12	11709 、 12770 、 21020 、 52129
27	4,8,15,20	17264 、 28618 、 15860 、 13306	4,8,15,20	21368 、 32185 、 17893 、 14769
28	2,5,10,24	14205 、 16163 、 15922 、 31411	2,5,10,24	18633 、 19142 、 18581 、 38142
29	1,11,14,15	22908 、 21035 、 12745 、 14593	1,11,14,15	30565 、 23346 、 15629 、 13670
30	5,21,24	20444 、 34010 、 25173	5,21,24	20785 、 37655 、 32637

隨著商品型態不同，原料和成品的比重也隨之不同，供給量會依不同比例來跟著需求量來做變動，在小型測試例題中，分別設定 0.8:1、1:1、1.2:1 之供給需求比例來進行數值測試，測試結果如表 5-7 所示，整合效益為透過物流整合所節省之成本/供應商、工廠、物流中心間之總運輸成本，結果發現平均而言，在供給量等於需求量的狀況下，整合效益最大，因為貨物量相同的關係，導致能整合的部分較多，故整合效益較其他兩種狀況還大，另外，從圖 5-7 來看，測試 30 個例題，發現供給量=需求量*0.8 和供給量=需求量*1.2 的兩種狀況，兩者之整合效益的趨勢雷同，但供給量大的狀況明顯效益優於供給量小的狀況。

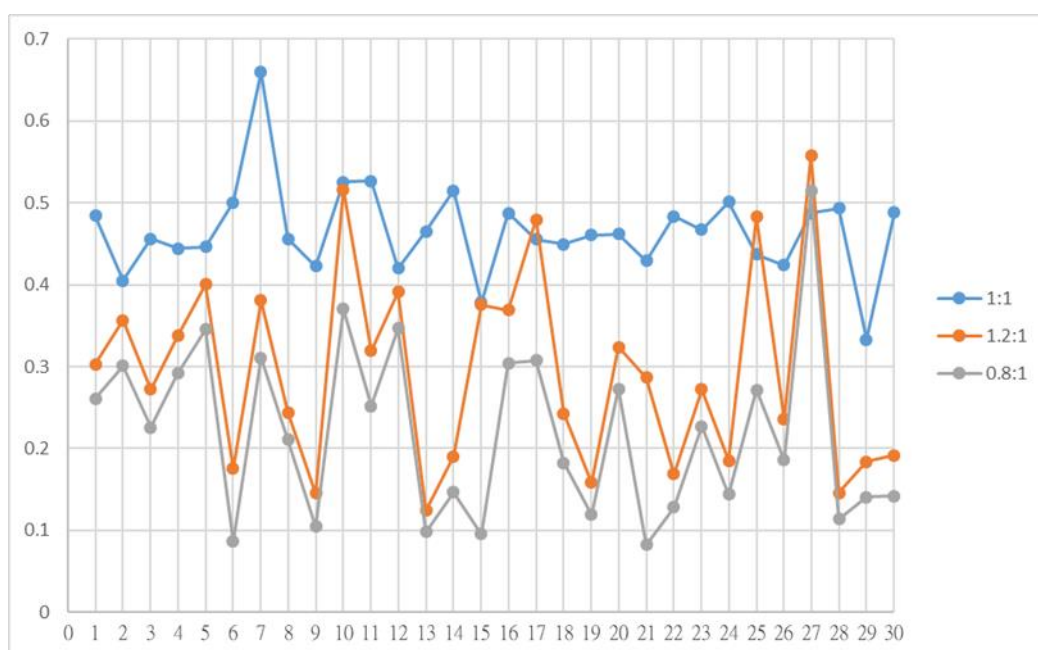
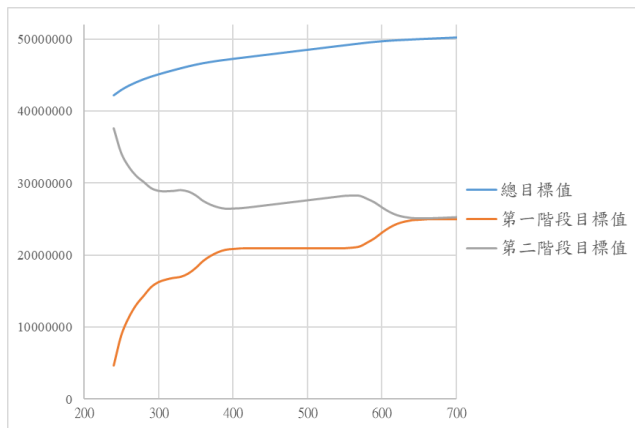


圖 5-7 整合效益之例題測試結果

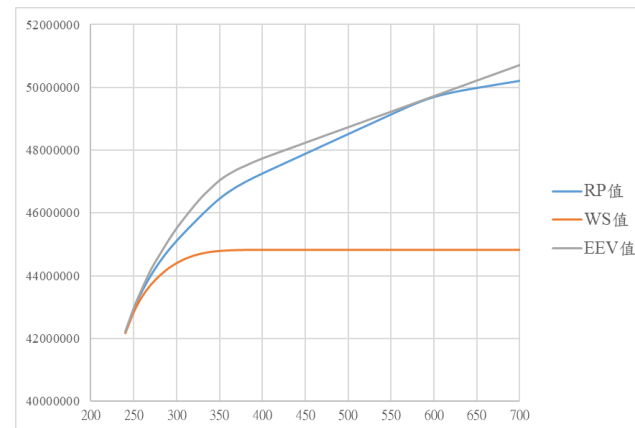
表 5-7 物流整合效益之數值測試結果

例題	供給量=需求量*0.8		供給量=需求量		供給量=需求量*1.2	
	節省成本	整合效益	節省成本	整合效益	節省成本	整合效益
1	336026	0.26	7929928	0.48	503813	0.30
2	550213	0.30	6917417	0.41	843850	0.36
3	412209	0.23	9292548	0.46	610778	0.27
4	594461	0.29	9192445	0.44	861484	0.34
5	588352	0.35	8134606	0.45	864576	0.40
6	162213	0.09	8592558	0.50	303871	0.18
7	528331	0.31	9628061	0.66	792130	0.38
8	334624	0.21	10556625	0.46	477720	0.24
9	214697	0.10	6229487	0.42	322018	0.15
10	727320	0.37	9879376	0.53	1409075	0.52
11	396671	0.25	7796522	0.53	595006	0.32
12	583080	0.35	7629353	0.42	863525	0.39
13	187190	0.10	8159949	0.46	273994	0.12
14	149928	0.15	7838009	0.51	224892	0.19
15	195028	0.10	9631017	0.38	908975	0.38
16	556697	0.30	9281848	0.49	835046	0.37
17	736635	0.31	8905230	0.46	1410799	0.48
18	282807	0.18	7014851	0.45	423472	0.24
19	213437	0.12	6818294	0.46	318191	0.16
20	380257	0.27	7514761	0.46	541808	0.32
21	147582	0.08	6286406	0.43	590131	0.29
22	191796	0.13	8238745	0.48	287738	0.17
23	449719	0.23	8609388	0.47	645155	0.27
24	261171	0.14	9058120	0.50	390059	0.19
25	656082	0.27	10219408	0.44	1501583	0.48
26	336673	0.19	6897627	0.42	497147	0.24
27	788195	0.51	9130599	0.49	1134774	0.56
28	224794	0.11	7244658	0.49	328935	0.15
29	311354	0.14	3797295	0.33	454016	0.18
30	338664	0.14	6163172	0.49	507074	0.19
平均	394540	0.22	8086277	0.47	657388	0.29

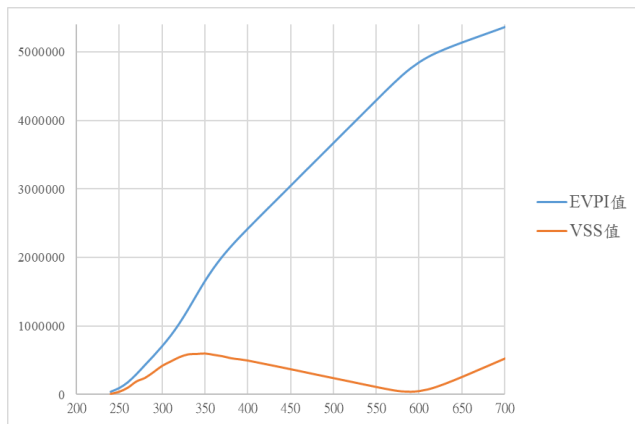
外包成本的高低會影響設施選址的決策，也會對各項成本產生影響，若外包成本過高，會導致多蓋設施和擴大設施容量以避免外包，若外包成本過低，會導致配送服務大都直接交給第三方物流業者以減少龐大的設施建置成本。以圖 5-8 來看，針對外包成本從 240 元到 700 元的變化，可以發現隨著外包成本的增加，為避免外包成本之支出，因此會多蓋物流中心或擴大容量，故第一階段目標值和設廠總數會隨之上升，另外在外包成本為 240 到 360 之間，設廠數較為敏感，從 1 個變動到 4 個，此資訊顯示市場環境狀況，提供決策者設廠數較為敏感的資訊；相反地，第二階段目標值會隨之下降，而下降的幅度沒第一階段目標值增加的大，故總目標值會隨外包成本增加而緩緩增加，而 RP 值與 EEV 值會隨著外包成本增加而增加，由於 WS 值為在確定性環境求解，在外包成本超過 300 後，為避免支付更多的費用，物流中心就會蓋得足夠滿足需求，WS 值漸漸成一定值，故 EVPI 值會跟著外包成本上升，完整資訊價值越顯重要，VSS 值則變動不大，大致維持在一個範圍內，顯示外包成本的變動對 VSS 值影響不大。



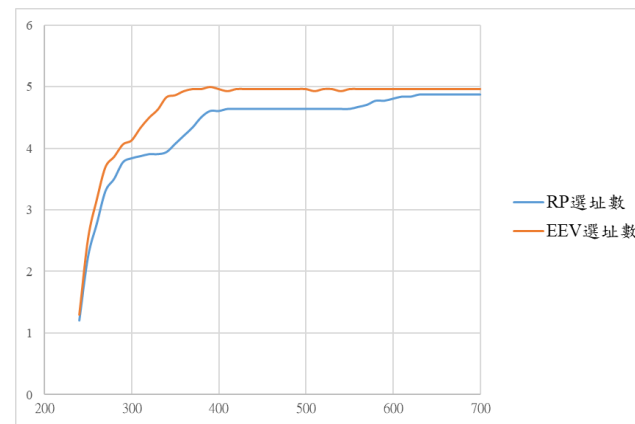
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 5-8 外包成本之敏感度分析

表 5-8 為使用整數 L-shaped 演算法之結果，在求解時間設定在 1000 秒，其演算法並無法找到最佳解，當前最佳解仍然為當初經過貪婪法所得到之初始解，且與最佳化軟體 Gurobi 相比，求解時間相差甚大，其中原因為在此演算法當中，需要在第一階段主問題內大量加入限制式來求解，會增加許多計算時間，故在 5.3 大型測試例題中使用基因演算法來求解。

表 5-8 整數 L-shaped 演算法之測試結果

例題	Integer L-shaped algorithm		Greedy		Gurobi	
	目標值	求解時間	目標值	求解時間	目標值	求解時間
1	44189951	1000	44189951	42	44175051	23
2	45382245	1000	45382245	18	45382245	4
3	47580796	1000	47580796	36	47418503	3
4	48246689	1000	48246689	47	48246689	26
5	46217888	1000	46217888	44	46208933	12
6	44353599	1000	44353599	24	44353142	8
7	42102717	1000	42102717	25	42102345	6
8	50708861	1000	50708861	74	50708861	24
9	43029086	1000	43029086	24	43029086	9
10	46353020	1000	46353020	55	46287559	29

5.3 中型測試例題

在本節中，測試 30 組例題，每組例題中，在供應鏈端上分別有 10 個供應商、5 個工廠、40 個物流中心候選點、80 個零售商，而各個角色的分布位置以亂數產生在縱橫軸 0-1 之平面上，圖 5-9 以例題一之亂數產生的結果來舉例，◇代表供應商，△代表工廠，□代表物流中心候選點，○為零售商，以下說明關於成本的參數設計，運輸成本為各點間之直線距離乘以 150，外包成本為每單位貨櫃 300 元，至於物流中心之設置成本，由於需求量和供給量是針對每年來做計算，因此這裡的物流中心設置成本攤成以一年來計算，物流中心固定成本為 200000 元/年，物流中心變動成本為每單位貨櫃 200 元/年。

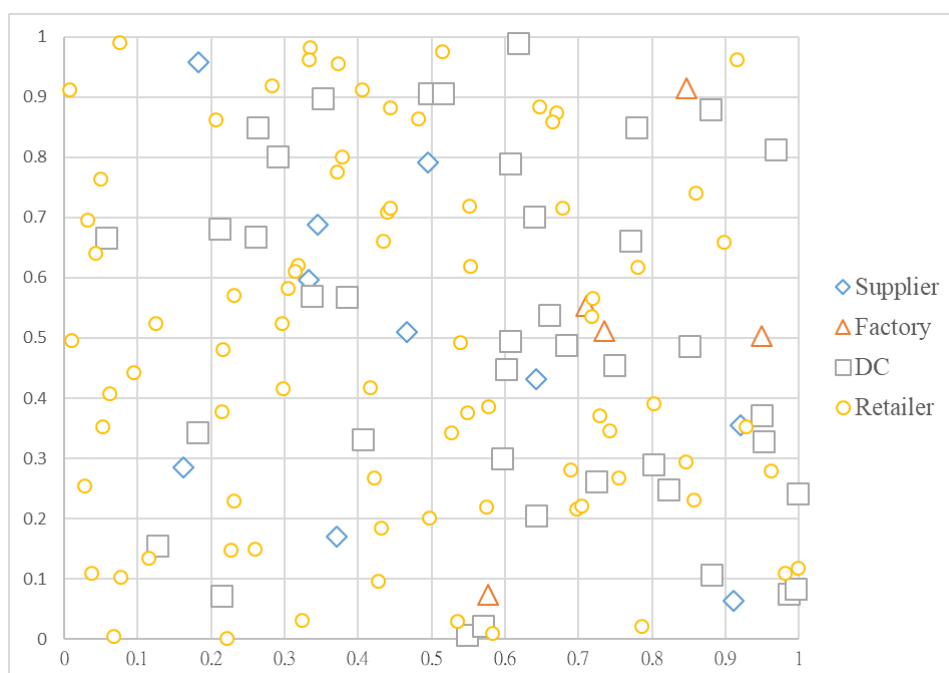


圖 5-9 中型測試例題之例題一各階層分布位置圖

關於供給量需求量之參數設計，中例題設定有 10 個情境，情境狀況與該情境發生機率如表 5-9 所示，情境發生機率為亂數產生，此部分供給量與需求量之比例設定為 1:1。

表 5-9 中型測試例題之情境設定

情境	1	2	3	4	5
總需求量	80000	100000	120000	150000	180000
總供給量	80000	100000	120000	150000	180000
發生機率	0.17	0.12	0.02	0.01	0.19
情境	6	7	8	9	10
總需求量	200000	220000	250000	270000	300000
總供給量	200000	220000	250000	270000	300000
發生機率	0.01	0.23	0.09	0.075	0.085

分別測試 30 組相同問題規模的不同例題，藉由算出 WS 值、RP 值、EEV 值，進而推算 EVPI 值(完整資訊之期望價值)和 VSS 值(隨機解之價值)，測試結果如表 5-10 所示，平均而言，EVPI 值為 4389273，使用 WS 解可節省 5.55%之成本，可讓決策者評估是否要開發需求預測系統，做出更良好的決策以節少成本，而 VSS 值為 1812500，使用 RP 解可節省 2.25%之成本，則顯示使用隨機規劃來做決策可以節省不少成本，對於做大規模決策來說，是相當有益的，效果會更加顯著。

表 5-10 中型測試例題之測試結果

例題	WS	RP	EEV	EVPI (%)	VSS (%)
1	72812951	77361213	78939106	5.88	2.00
2	69464297	73906743	75810403	6.01	2.51
3	71731430	76004289	78055393	5.62	2.63
4	76376278	81489012	83223341	6.27	2.08
5	74095550	78943502	80616647	6.14	2.08
6	72942914	77250770	79045810	5.58	2.27
7	77093869	82268294	83980789	6.29	2.04
8	75886118	80517268	82194441	5.75	2.04
9	78144970	82545279	84599122	5.33	2.43
10	69870663	74099701	76131575	5.71	2.67
11	73279619	76225127	77992397	3.86	2.27
12	77772258	81728441	83895799	4.84	2.58
13	73177572	77488420	79001896	5.56	1.92
14	74515628	79000008	80822948	5.68	2.26
15	77919580	82665120	84605522	5.74	2.29
16	74227371	78672648	80612506	5.65	2.41
17	74760537	78707640	80516163	5.01	2.25
18	73304534	77527164	79513927	5.45	2.50
19	74488157	78858217	80703380	5.54	2.29
20	74924331	79790065	81969291	6.10	2.66
21	79270543	83566713	85047574	5.14	1.74
22	73814036	78359770	79996102	5.80	2.05
23	73744429	77941988	79950764	5.39	2.51
24	74408530	78454404	80106123	5.16	2.06
25	71308143	75307987	76793608	5.31	1.93
26	77763772	82481377	84055502	5.72	1.87
27	75037313	79491683	81418104	5.60	2.37
28	74370416	78217682	80222482	4.92	2.50
29	73701417	78142117	80004572	5.68	2.33
30	77840250	82713015	84275369	5.89	1.85
平均				5.55	2.25

利用最佳化軟體 Gurobi 求解中規模問題，從表 5-11 來看，平均時間為 2212 秒，而本研究使用 GA 求解，平均時間為 936 秒，相較而言，節省一半以上之時間，且 gap 平均維持在 0.2%，可以彰顯本研究基因演算法之成效。

表 5-11 中型測試例題之基因演算法成效

例題	GA			Gurobi			gap(%)
	目標值	選址數	求解時間	最終解	選址數	求解時間	
1	77427078	5	824	77361213	5	3240	0.1
2	74168031	6	957	73906743	5	1233	0.4
3	76224950	7	945	76004289	6	1680	0.3
4	81742250	5	859	81489012	5	1229	0.3
5	79067090	6	887	78943502	5	1899	0.2
6	77358213	6	872	77250770	6	2149	0.1
7	82433189	6	911	82268294	5	1923	0.2
8	80604734	5	881	80517268	4	1328	0.1
9	82782343	3	916	82545279	5	1432	0.3
10	74254733	5	1000	74099701	5	1226	0.2
11	76605156	7	1051	76225127	4	1692	0.5
12	81931418	5	1025	81728441	6	1353	0.2
13	77554539	6	1060	77488420	5	2704	0.1
14	79258960	6	935	79000008	6	4748	0.3
15	82783149	4	932	82665120	5	3868	0.1
16	78818830	6	919	78672648	5	2709	0.2
17	78946603	7	924	78707640	6	1597	0.3
18	77686821	4	934	77527164	5	1798	0.2
19	78938932	5	1029	78858217	6	4185	0.1
20	79945808	6	1002	79790065	5	1364	0.2
21	83649064	5	994	83566713	5	2544	0.1
22	78527970	6	1102	78359770	6	1487	0.2
23	78141482	5	864	77941988	5	2681	0.3
24	78581367	6	957	78454404	6	1540	0.2
25	75405170	5	785	75307987	4	1316	0.1
26	82581660	6	912	82481377	5	4970	0.1
27	79714221	5	870	79491683	6	3693	0.3
28	78436374	6	904	78217682	6	1331	0.3
29	78383233	6	938	78142117	5	1415	0.3
30	82771686	5	901	82713015	5	2025	0.1
平均			936			2212	0.2

第六章 結論與建議

本研究為考量運輸整合與下游零售商需求不確定性之物流中心設置問題，問題分為兩階段性決策，第一階段中，在供應商、工廠、物流中心位置皆已知下，決定物流中心之位址和容量，物流中心建立完成且下游零售商需求發生後，進行服務之指派和考量是否需委託第三方物流業者，同時在數學模型中，藉由運輸整合來增加車輛的使用效率和減少不必要的成本，並考量下游零售商需求的浮動以作出良好的物流中心設置決策，本研究除了考量隨機規劃之價值外，也探討商品性質不同之物流整合效益，並對外包成本進行敏感度分析。

隨著問題規模的提升，導致求解時間和求解複雜度的增加，因此本研究嘗試使用基因演算法和整數 L-shaped 演算法來提升求解效率，在基因演算法中，透過本研究設計之選址數修復方法、交配、突變之方式以在短時間內尋找近似最佳解之可行解，且經由數值測試後成效不錯。

透過第五章之數值測試的結果，本研究得出以下結論：

- (一) 決策者參考 EVPI 值，判斷是否需要建立需求預測系統以節省成本；決策者參考 VSS 值，讓決策者判斷是否使用隨機規劃來做決策。
- (二) 從 RP 解和 EEV 解之設施容量決策，更加可以看出隨機解之價值，由於設施建立後就無法再改變，故設施容量決策會大大影響往後成本之變動。
- (三) 隨著外包成本之增加，為避免龐大的外包成本，故第一階段之設施設置成本則隨之增加；相反地，第二階段之配送服務成本則微幅減少。
- (四) 在中型規模的數學模型中，使用基因演算法可以在短時間內有效地找出不錯的可行解，往後當問題規模大到最佳化軟體無法求解時，可以使用基因演算法找出近似解。

從本研究所遇到的困難和測試結果，給與建議及未來可以探討延伸的方向：

- (一) 除了外包成本外，針對其他參數來對總目標值、第一階段目標值、第二階段目標值、隨機規劃之相關數值來進行敏感度分析。
- (二) 若 EVPI 值高，則建議決策者建立需求預測系統以提升服務品質和減少成本；若 VSS 高，則說明隨機解之價值以做出良好的決策，避免成本上升。
- (三) 對於基因演算法，可利用編碼方式和調整演算法參數，甚至設計新的一套方法來更進一步加快求解速度和增加求解效率。
- (四) 針對整數 L-shaped 演算法，期望能設計一套方法以加快縮小最佳解範圍之速度，並在短時間內找到近似解，甚至是最佳解。

參考資料

- 黃寬丞、吳宇晴(2018)。考量需求不確定性與上游運輸整合之物流中心選址問題。中華民國運輸學會 2018 年會暨學術論文國際研討會。
- 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.
- Angulo, G., Ahmed, S., & Dey, S. S. (2016). Improving the integer L-shaped method. *INFORMS Journal on Computing*, 28(3), 483-499.
- Basu, S., Sharma, M., & Ghosh, P. S. (2015). Metaheuristic applications on discrete facility location problems: a survey. *Opsearch*, 52(3), 530-561.
- Birge, J. R., & Louveaux, F. (2011). *Introduction to Stochastic Programming*. New York: Springer.
- Chang, M. S., Tseng, Y. L., & Chen, J. W. (2007). A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 737-754.
- 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.
- 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.
- 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.
- Huang, K., & Chen, Y. J. (2018). A Distribution Center Location Problem with the Integration of Upstream Transportation. *Asian Transport Studies*, 5(2), 393-407.
- Jaramillo, J. H., Bhadury, J., & Batta, R. (2002). On the use of genetic algorithms to solve location problems. *Computers & Operations Research*, 29(6), 761-779.
- Jia, H., Ordóñez, F., & Dessouky, M. M. (2007). Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies. *Computers & Industrial Engineering*, 52(2), 257-276.
- Johanson, J., & Wiedersheim-Paul, F. (1975). The internationalization of the firm—four swedish cases 1. *Journal of Management Studies*, 12(3), 305-323.
- 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.
- Kratica, J., Milanović, M., Stanimirović, Z., & Tošić, D. (2011). An evolutionary-based approach for solving a capacitated hub location problem. *Applied Soft Computing*, 11(2), 1858-1866.

- Kumar, M., Husian, M., Upreti, N., & Gupta, D. (2010). Genetic algorithm: Review and application. *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*, 2(2), 451-454.
- Laporte, G., & Louveaux, F. V. (1993). The integer L-shaped method for stochastic integer programs with complete recourse. *Operations Research Letters*, 13(3), 133-142.
- Laporte, G., Louveaux, F. V., & Van Hamme, L. (2002). An integer L-shaped algorithm for the capacitated vehicle routing problem with stochastic demands. *Operations Research*, 50(3), 415-423.
- Melo, M. T., Nickel, S., & Saldanha-Da-Gama, F. (2009). Facility location and supply chain management—a review. *European Journal of Operational Research*, 196(2), 401-412.
- MirHassani, S. A., Lucas, C., Mitra, G., Messina, E., & Poojari, C. A. (2000). Computational solution of capacity planning models under uncertainty. *Parallel Computing*, 26(5), 511-538.
- Snyder, L. V. (2006). Facility location under uncertainty: a review. *IIE transactions*, 38(7), 547-564.
- Tsiakis, P., Shah, N., & Pantelides, C. C. (2001). Design of multi-echelon supply chain networks under demand uncertainty. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 40(16), 3585-3604.
- 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(1), 456-464.
- Zhou, J., & Liu, B. (2003). New stochastic models for capacitated location-allocation problem. *Computers & Industrial Engineering*, 45(1), 111-125.
- Zhu, Z., Chu, F., & Sun, L. (2010). The capacitated plant location problem with customers and suppliers matching. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(3), 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.