

東 海 大 學

工業工程與經營資訊學系

碩士論文

同時送取貨車輛之綠化模式建構與求解

研 究 生：吳鎬任

指 導 教 授：彭 泉 博 士

林水順 博 士

中 華 民 國 一 〇 四 年 六 月

**Constructing and Solving a Green Vehicle Routing
Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up**

By

Hao-Ren Wu

Advisors : Dr. Chyuan Perng

Dr. Shui-Shun Lin

A Thesis

Submitted to the Institute of Industrial Engineering and Enterprise
Information at Tunghai University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
in
Industrial Engineering and Enterprise Information

June 2015

Taichung, Taiwan

同時送取貨車輛之綠化模式建構與求解

學生：吳鎬任

指導教授：彭泉博士

林水順博士

東海大學工業工程與經營資訊學系

摘要

交通問題已成為城市中導致壅塞費時、以及廢氣排放和噪音等環境污染的主要原因。交通問題更是城市居住的重要指標，而廢氣排放被視為導致健康方面之一負面影響。民眾環保意識普遍抬頭，全球關注已久的二氧化碳排放問題更常在許多國際議題中出現。綠色運輸成為重要議題。

本研究根據商業物流之交通以及二氧化碳排放量之關係，擬定研究目的如下：(1) 由能源推估模式建構車輛同時取送貨問題數學模型。(2) 發展演算法以求解綠色物流之最佳路徑以及最小車輛使用成本。(3) 計算系統物流產生燃油消耗量、二氧化碳之實際數據。希望透過一套方法論進而達成物流節能減碳之目的。

本研究中針對車輛問題選定較符合實務之同時送取貨車輛問題，並根據車輛能源耗用推估模式以及多方考量車輛限制擬定數學模式，求解出最低車輛使用限制以及最小行駛里程數，並透過案例分析貼近實務和進行方法比較分析，最後得出燃油消耗量、二氧化碳排放量、求解品質、求解速率等。

關鍵字詞：綠色運輸、同時送取貨車輛問題、車輛能源耗用推估模式

Constructing and Solving a Green Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up

Student : Hao-Ren Wu

Advisors : Dr. Chyuan Peng

Dr. Shui-Shun Lin

Department of Industrial Engineering and Enterprise Information
Tunghai University

ABSTRACT

Transportation problem in modern cities is the main cause of congestion, as well as emissions and noise pollution. Transportation problem is an important indicator of urban living since emissions is considered as one of the negative impact of human health. Due to the rise of environmental awareness of people, global emissions of carbon dioxide has long been concerned problem, and is more often found in many international forum. Green transportation has become an important issue nowadays.

According to the relationship between transportation and carbon dioxide emissions of commercial logistics, this study aims to achieve the following objectives: (1) to construct a mathematical model of vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup. (2) to develop a suitable solution procedure for solving the model. (3) to analyze the impact of carbon dioxide emissions on the environment caused by business logistics. The methodology might build a systematic approach in handling carbon reduction from logistics point of view.

This study focuses on the practical issue of vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup. Multiple factors on routing, vehicles, energy consumption, and carbon dioxide emissions will be taking in consideration. It solved the model and the best vehicle routing and minimum cost can be found. Practical scenarios were further utilized and models were accordingly adjusted. In the end, we found the quantity of carbon dioxide and oil consumption of transportation and the difference with the solution of solving quality and speed.

Keywords: Green Transportation, Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up, Vehicle Energy Consumption Model

致謝詞

終於也盼到該我寫致謝詞的這一天，研究所兩年的時光似短非短，卻是我目前人生中最重要且有所成長的兩年，在論文指導方面，真的很感謝指導教授林水順老師、彭泉老師，以及共同指導蔡禎騰老師，沒有你們的耐心指導，我不可能順利完成我的學業，您的諄諄教誨更讓我學到除了課業以外更重要的東西，此外，也謝謝研究室歐宗殷老師、莊淑惠老師在論文上給予之指導意見。

在研究所生涯中，一直有同窗好友砥礪才能以歡笑度過這艱難時光，學長姐：宗遠、庭偉、宇翔、日豪、羣璉、盟發，是你們在我懵懵懂懂的碩一階段願意耐心引導我們熟悉新環境，學弟：昱仲、信東、寶文，謝謝你們在這一年的時間裡配合、幫忙我們處理大小事務，很開心在這最後剩下的學生時光有你們陪伴，同屆：士瑋、柏榕、代杰，很高興我們終於一起畢業了，很幸運能遇見你們，感謝我們互相砥礪成長，祝未來我們皆順利。

最後要感謝的是我最愛的家人，你們無怨無悔地提供我學習環境以及精神上最大的陪伴鼓勵，讓我得以完成學業，雖然這段期間不能常常回家陪家人，但你們永遠是我的避風港。

謹以此小小成果獻給我最愛的家人、朋友，以及所有關心幫助過我的人，謝謝你們。

吳鎬任 于東海大學工業工程與經營資訊學系 2015年6月

目錄

摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
致謝詞.....	iii
表目錄.....	iv
圖目錄.....	vi
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的與方法.....	4
1.3 研究流程.....	5
1.4 研究架構.....	6
第二章 文獻探討.....	7
2.1 綠色運輸.....	7
2.2 傳統車輛問題.....	10
2.3 啟發式演算法.....	16
第三章 問題描述與數學模型.....	20
3.1 問題描述與基本假設.....	20
3.2 數學模型參數及符號說明.....	22
3.3 蟻群演算法及 LINGO 求解方法與步驟.....	26
第四章 案例與實證分析.....	34
4.1 蟻群演算法求解.....	34
4.2 Lingo 套裝軟體求解.....	39
第五章 結論與建議.....	43
5.1 結論.....	43
5.2 未來研究方向與建議.....	43
參考文獻.....	45

表目錄

表 2.1 綠色運輸理念.....	9
表 2.2 傳統 VRR 問題及其變化延伸	12
表 2.3 延伸問題之需求點及資源限制.....	13
表 3.1 移動源 CO_2 排放係數.....	21
表 3.2 測試案例 1 測試結果.....	30
表 3.3 測試案例 2 測試結果.....	30
表 3.4 測試案例 3 測試結果.....	31
表 3.5 Lingo 求解之問題.....	32
表 4.1 Lingo 案例一結果	40
表 4.2 彙整案例 2.Lingo 求解結果	41
表 4.3 蟻群演算法與 Lingo 求解結果	42

圖目錄

圖 1.1 全球CO ₂ 逐年排放情形.....	2
圖 1.2 全球地表平均溫度上升趨勢.....	2
圖 1.3 國內各部門燃料燃燒CO ₂ 排放量成長率	3
圖 1.4 國內各部門燃料燃燒CO ₂ 排放量圓餅圖.....	3
圖 1.5 研究流程圖.....	5
圖 2.1 綠色交通發展概念之緣由架構.....	8
圖 2.2 綠色運輸層級性架構.....	10
圖 2.3 VRP 問題示意圖.....	11
圖 2.4 VRPSDP 問題研究趨勢	14
圖 2.5 蟻群演算法之邏輯.....	19
圖 3.1 綠色運輸規劃整體架構圖.....	20
圖 3.2 蟻群演算法流程圖.....	27
圖 4.1 車輛途徑 Matlab 繪圖(a).....	37
圖 4.2 車輛途徑 Matlab 繪圖(b).....	37
圖 4.3 k=3 情況下車輛路徑圖	38
圖 4.4 各疊代最短距離收斂曲線圖(k=3).....	39
圖 4.5 案例 1 車輛目標函式求解結果.....	40
圖 4.6 案例 2 車輛目標函式求解結果.....	41

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

在目前號稱地球村的世紀，全球經濟增長使貨物大量且多樣的生產並引起巨大消耗，同時全球化促使商品可流通全世界。而這些商品的生產、運輸、儲存和消費已經創造了大量的環境問題(Dekker, Bloemhof, & Nallidis, 2012)。現代運輸業或物流等有關運輸的產業，與我們的生活息息相關。而運輸更攸關一公司的營運成本問題，更何況現今環保意識的抬頭，運輸業所排放的二氧化碳氣體也逐漸受到關注。現今的交通水平增長為城市中導致壅塞和環境污染（廢氣排放和噪音），以及增加企業營運成本的主要原因。交通壅塞使該城市成為相對不佳的居住地，廢氣排放而導致對健康的負面影響更被視為一個特定議題(Cirovic, Pamucar, & Darko, 2014)。

在政府制定法規，對物流企業制定廢棄排放規範，影響一企業之成本情況下，所謂「綠色」概念即衍生出來，「綠色運輸」、「綠色消費」、「綠色生產」已成為世界潮流，歐美、日本等先進國家對都會地區交通工具空氣汙染及石油儲存量日益減少(燃油消耗量)相對重視，以綠色運輸來解決環境污染及交通壅塞的概念因應而生(葉日豪，2014)。

低碳永續經營概念持續發展中，關於近年來溫室氣體之元兇二氧化碳之排放情形與地表平均溫度等資料，可由全球(圖 1.1 及圖 1.2)聚焦到國內(圖 1.3 及圖 1.4)之情形窺其端倪。由圖中趨勢與分配更可以看出環境與運輸問題日益嚴重。

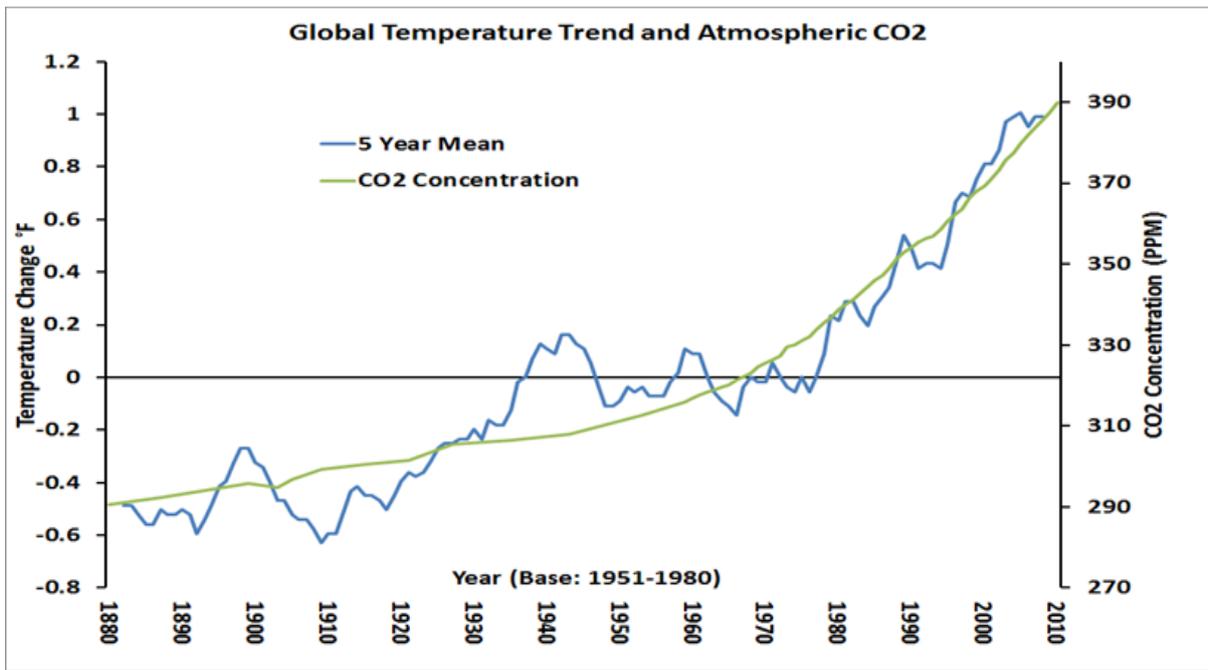


圖 1.1 全球 CO_2 逐年排放情形

資料來源: NASA-GISS, CDIAC, NOAA ESRL, 2012

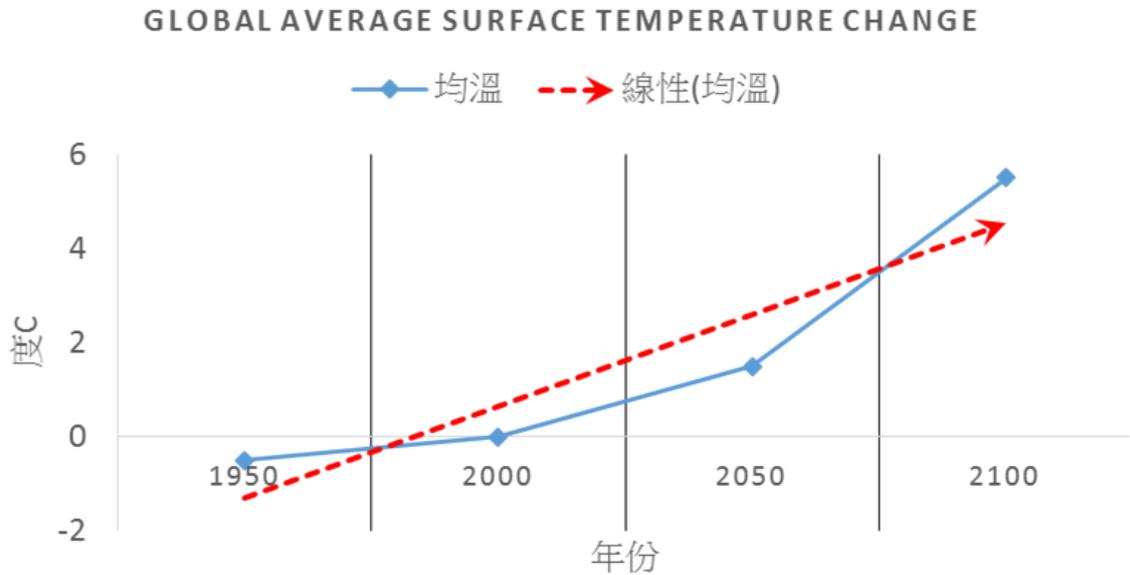


圖 1.2 全球地表平均溫度上升趨勢

資料來源: IPCC, Near-term Climate Change: Projection and Predictability, 2013

各部門燃料燃燒CO₂排放量成長率(不包括電力消費排放)

單位:%

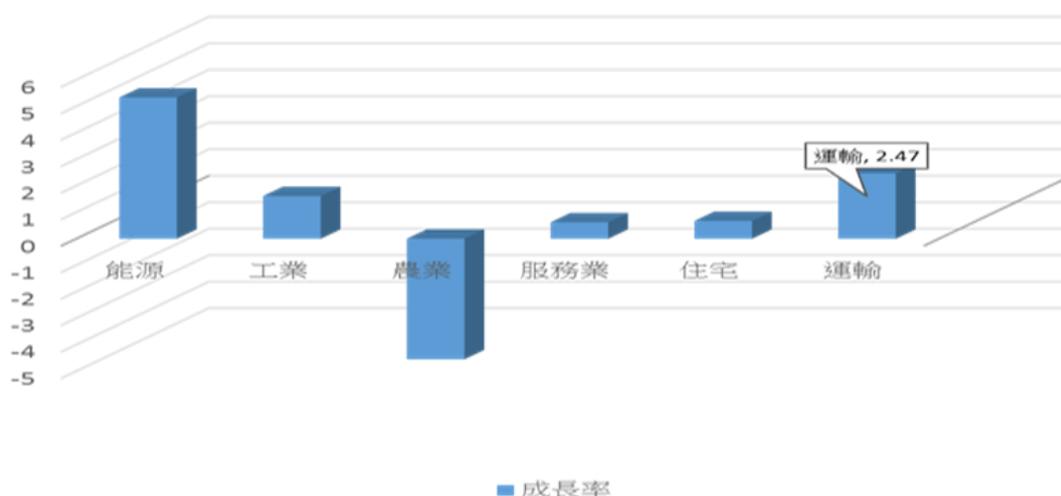


圖 1.3 國內各部門燃料燃燒CO₂排放量成長率

資料來源:經濟部能源局(2013a)

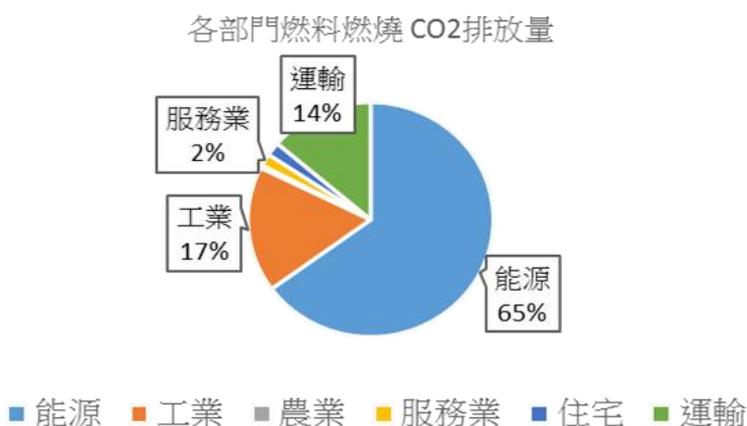


圖 1.4 國內各部門燃料燃燒CO₂排放量圓餅圖

資料來源:經濟部能源局(2013b)

而關於運輸，其基本來源不外乎就是車輛配送，車輛配送問題既是一城市經濟發展和消費生活多樣性的支柱，同時它的發展也會對城市環境帶來不利影響。為此新世紀對車輛配送提出新的發展要求，稱為綠色運輸，其中又為逆向物流發展最為重視(殷佳林、蔣泰，2009)。

1.2 研究目的與方法

根據上述研究背景與動機，本研究將以車輛逆物流問題、二氧化碳排放以及燃油消耗量為重點以發展一車輛逆物流數學模型，並探討如何結合綠化概念，並以啟發式演算法以及 Lingo 套裝軟體做為來解問題的方法，最後評選比較兩種求解方法，進而減少路徑量達到綠色運輸之目的。

具體而言，本研究期望能經由文獻探討及演算方法流程，以達成以下研究目的：

1. 由車輛逆物流問題、二氧化碳及燃油消耗量為基礎，建構車輛同時取送貨問題(VRPSDP)數學模型。
2. 解最佳路徑行駛距離以及最小車輛使用數量。
3. 計算系統物流產生燃油消耗量、二氧化碳之實際數據。

1.3 研究流程

本研究流程如圖 1.5 所示：

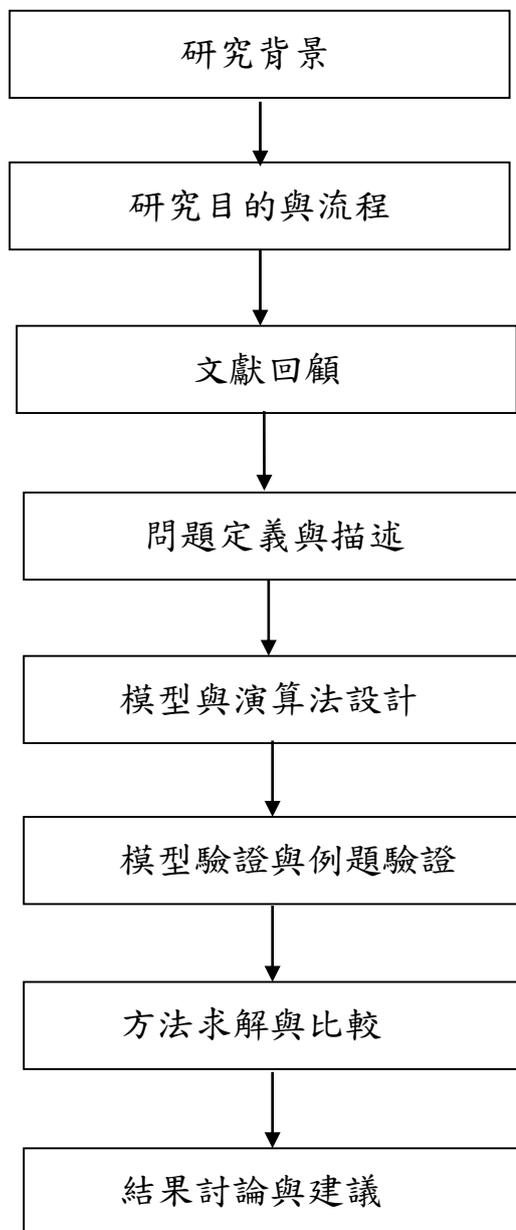


圖 1.5 研究流程圖

1.4 研究架構

本研究論文內容可分為五章，第一章敘述本研究之背景與動機並先簡單介紹研究目的與使用求解之方法；第二章為文獻探討，針對綠色運輸、車輛問題、使用之方法做深入文獻探討，並做為發展第三章數學模型之基礎；第三章則發展一數學模型並對其數學參數、數學模型加以說明，使用方法之步驟與發展之演算法進行驗證與說明；第四章則進行例題測試，在前面第三章明確列出研究方法之步驟後即為執行，用例題的方式去推導整個研究方法論與演算流程，並對兩種方法之比較結果進行分析探討；第五章提出一整體之歸納，提出建議與討論、後續研究發展。

第二章 文獻探討

本研究主要目的為探討二氧化碳排放量及燃油消耗量，因此在本章文獻探討中，將分成以下幾個部分來說明過去相關研究已作為本研究架構以及第三章發展其數學模式之基礎。第一節首先定義其綠色運輸；第二節整理關於車輛路徑問題其發展與最近幾年研究概況；第三節整理本研究求解使用的方法，啟發式演算法使用之情形。

2.1 綠色運輸

綠色運輸(green transportation)概念的出現，源於溫室效應造成地球暖化問題。全球暖化已經是無庸置疑的事實，國際能源總署(International Energy Agency; IEA) 預估，依目前二氧化碳排放速度，到了 2030 年的排放量將超出 2002 年整體排放量之 63%。消耗的化石燃料（汽油與柴油）之多，超乎我們的想像。而這些燃料裡的碳在燃燒過程中氧化成溫室氣體（絕大部分是CO₂），交通運輸產生的CO₂，佔全球溫室氣體排放量的 25%，運輸部門是僅次於工業部門的第二大排放部門，因此「綠色運輸」以環境保護為主要考量，主張對環境友善、低污染的運輸方式的概念於是應運而生（交通部研究所，2009）。

綠色物流最近受到越來越多各國政府和商業組織的密切關注，而綠色物流的重要性已被證實在目前的生產和銷售物流的策略上都是不可或缺的。除了傳統的經濟成本，制定物流政策時，環境、生態和社會影響都需考慮在內。基於環境因素上，物流政策本身需要改變運輸方案，並轉移到對環境和生態較少負面影響並可持續發展的銷售網絡。不可否認的是運輸為物流上重要組成部分。而更好地利用車輛和具有成本效益的車輛調度解決方案將更加直接地實現可持續發展的交通(Lin, Choy, Ho, Chung, & Lam, 2014)。

綠色運輸也意味著效率的使用運輸設備，通過運籌學創建成有效率並有助於減少溫室氣體排放，而運籌學方法更可以顯示成本和排放量之間的權衡(Dekker, Bloemhof, & Nallidis, 2012)。

綠色供應鏈強調環境特性，強調永續概念(高慧君，2011)。

陳煜學(2010)認為綠色運輸是以環境永續發展為基礎，使用低污染或零污染能源的運輸系統，其研究發現民眾在年齡、教育程度、居住地區等鄉一情況下對綠色運輸態度顯著程度不同且對於環境保護已經有了一定程度的認識與支持，並建議政府在對綠色運輸實施政策上更可依照情況不同而加以訂定策略。

許添本(2000)在「二十一世紀交通工程發展趨勢」中定義綠色運輸為採用低污染、適合都市環境、對於健康有益的運輸工具，來完成社會經濟活動的一種交通概念，研究中更定義綠色運輸架構(如圖 2.1)指出機車、小汽車或者大部分商業用車皆為環境破壞者。

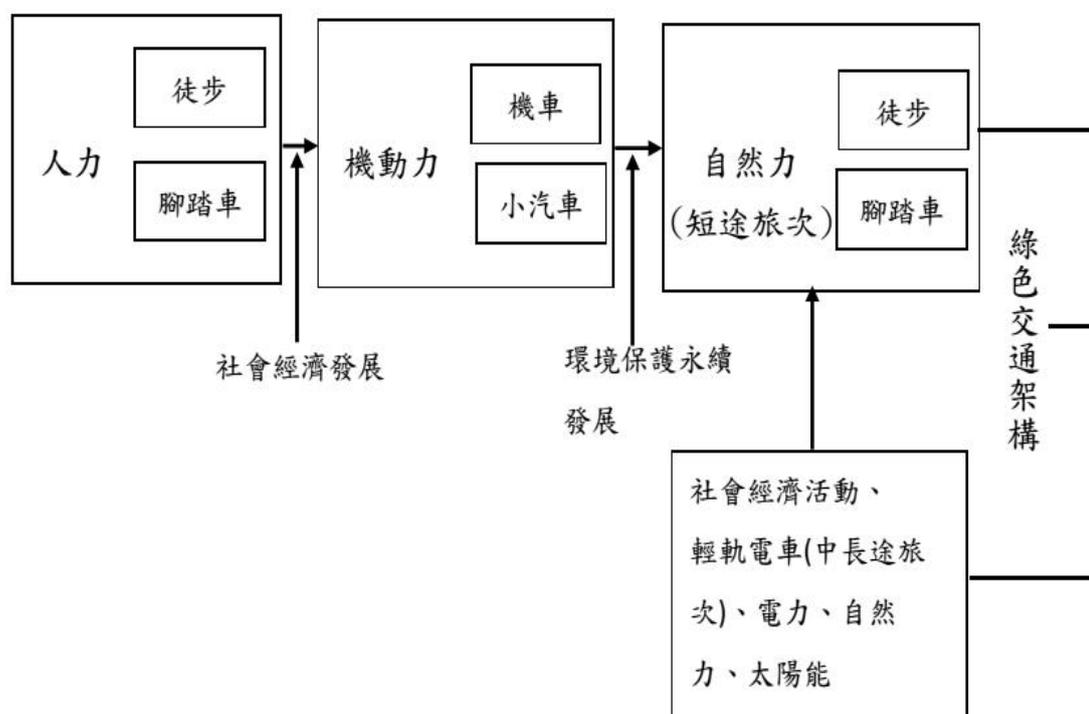


圖 2.1 綠色交通發展概念之緣由架構

資料來源：許添本，2000

目前不同國家，不同領域之研究提出關於綠色運輸之理念有所差異。本研究將不同學者所提出對綠色運輸定義加以彙整，如下表 2.1 所示。

表 2.1 綠色運輸理念

學者	年份	綠色運輸理念
許添本	2000	綠色運輸為：「採用低汙染、適合都市環境、對於健康有益的運輸工具，來完成社會經濟活動的一種交通概念。」
陳煜學	2010	綠色運輸：以環境永續發展為基礎，使用低汙染或零汙染能源的運輸系統。
高慧君	2011	綠色：綠色供應鏈強調環境特性，並強調永續概念。
Dekker et al.	2012	綠色運輸也意味著效率的使用運輸設備，通過運籌學創建成有效率並有助於減少溫室氣體排放。
Lin et al.	2014	綠色物流的重要性已被證實在目前的生產和銷售物流的策略上都是不可或缺的。除了傳統的經濟成本，制定物流政策時，環境、生態和社會影響都需考慮在內。

資料來源:本研究整理。

在 T.A.(Transportation Alternatives)更依據環境影響因素、成本、空間使用效率等...標準提出了綠色運輸層級架構(如圖 2.2)。從最上排依序為行人、腳踏車、大眾運輸工具、商用車輛、計程車、高乘載車輛、低乘載車輛，最上層(行人、腳踏車)為運輸中最符合綠色運輸理念，最下層則反之(高乘載車輛、低乘載車輛)。

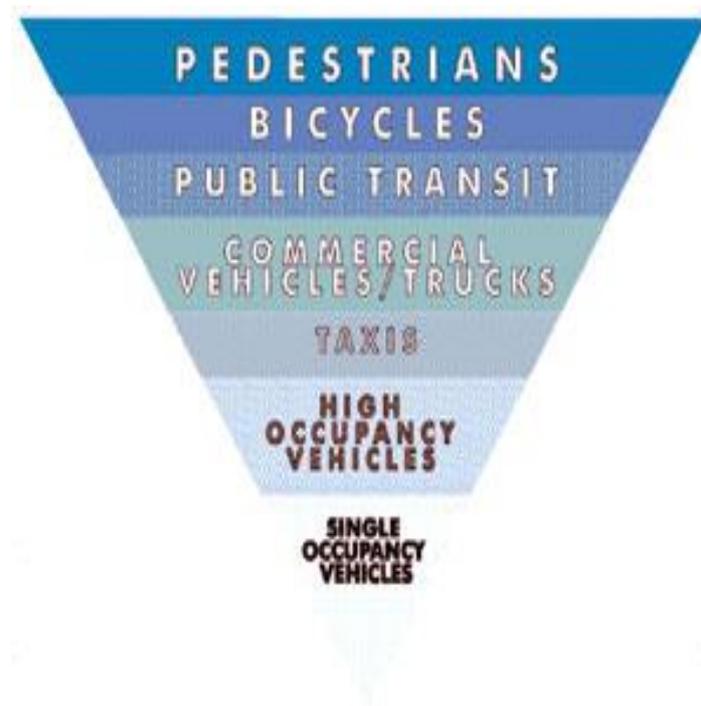


圖 2.2 綠色運輸層級性架構

資料來源:Transportation alternatives，2014，<http://www.transalt.org/>。

由上述關於本研究綠色運輸之探討可分為下列之重點：

1. 綠色運輸理念為低環境汙染且主要造成汙染之因素為二氧化碳(溫室效應)。
2. 綠色運輸可透過運籌學、轉換數學理念有效率達成其綠色理念並幫助減少氣體排放。
3. 綠色物流受到各國關注，政府或企業都須訂定其政策來達成減低排放廢氣達到綠色運輸之理念。

由上圖 2.1、圖 2.2 可知其運輸工具中最不符合其綠色理念之項目，有鑑於此本研究將從載重容量為著墨點，擬定其 VRPSDP 數學模型之基礎。

2.2 傳統車輛問題

2.2.1 車輛問題發展與其延伸

VRP(Vehicle Routing Problem)概念最早於 1959 年被 Dantzig 和 Ramser 所提出，用來探討貨車派遣問題，其問題一直以來被視為多組旅行推銷員問題(Traveling Salesman Problem)組合的最佳化問題，TSP 為一個封閉的漢

彌爾頓迴路，VRP 問題即可視為多個迴路，即在一個場站下，對需求點眾多的情形下進行單純的送貨或者是取貨動作，並找尋整體作業流程下之最短行駛途程距離(莊英群，2003)。車輛問題一直以來為物流配送中關鍵的一環，為提高經濟效益並實現物流科學化所不可缺少的，其問題在被提出之後經由各種實際情況之需求至今已延伸成許多種問題。

Fleet Size and mix Vehicle Routing Problem (FSVRP)為帶有車輛數量限制及容量限制之傳統 VRP 延伸，最早由 Gheysens, Golden, & Assad, 1984，基於其定義可知並概述：已知需求點位置且貨物需求量已知，配送中心應配送幾輛車輛，在已知資訊下完成各需求點繞境服務後，完成任務回到配送中心，並以簡單啟發式演算法進行求解。

Vehicle Routing Problem with Time Window(VRPTW)為帶有時間窗限制之車輛路徑問題，最早由 Desrosiers, & Solomon, 1986 以 VRP 為基礎加上各需求點進行服務的時間窗限制，即每一需求點被限制其允許服務開始最早時間以及最晚時間，車輛進行服務需被限制在這時間窗內，並進行所有需求點繞境服務後回到配送中心。

Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and pick-up(VRPSDP)為每一路線上需求點皆帶有送取貨需求之車輛問題，其問題最早由 Min (1989)所提出，用來解決兩圖書館間書籍分配與配送問題，文獻提到在傳統上，車輛調度被視為一個純粹發貨或取貨問題，但在實際情況下，車輛是經常需要同時進行取貨與送貨動作的，而在案例研究結果中顯示其經過數學模型規劃並透過其理念可大量節省時間及配送距離。基本 VRP 示意圖如下圖 2.3，並由本研究彙整其延伸問題如下表 2.2 所示。

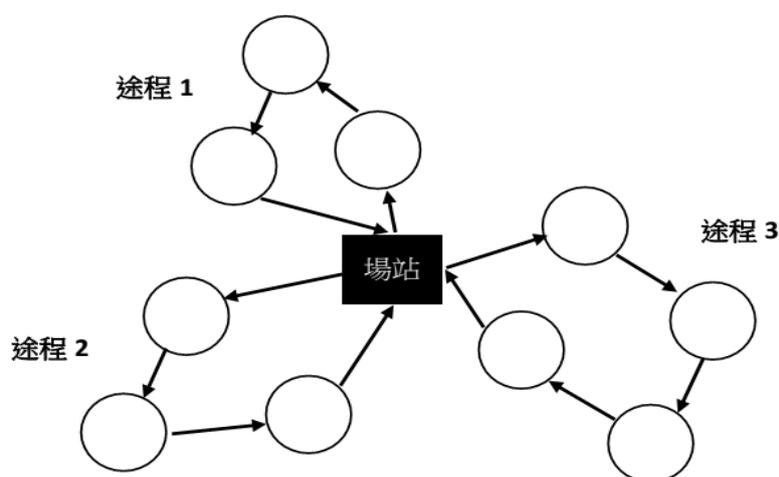


圖 2.3 VRP 問題示意圖

表 2.2 傳統 VRR 問題及其變化延伸

議題	作者&年分	內容
Vehicle Routing Problem (VRP)	Dantzig, & Ramser, 1959	為一定數量的客戶，各自有不同數量的貨物需求，配送中心向客戶提供貨物，由一個車隊負責分送貨物，組織適當的行車路線，並能在一定的約束下，達到諸如路程最短、成本最小、耗費時間最少等目的。
Fleet Size and mix Vehicle Routing Problem (FSVRP)	Gheysens, Golden, & Assad, 1984	建構在 VRP 基礎上，已知顧客和配送需求，考量不同容量之車輛，建構配送路徑。
Vehicle Routing Problem with Time Window (VRPTW)	Desrosiers, & Solomon, 1986	在傳統 VRP 中加入時窗限制，考量顧客允許的取貨、送貨時間，來決定其配送路
Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and pick-up (VRPSDP)	Min, 1989	傳統 VRP 問題之變化，每一節點會有同時收、取貨的情況，需考量同時收取貨之承載需求量。

資料來源:本研究整理。

在上表 2.2 彙整了各種車輛問題後，本研究再針對延伸問題其需求點限制及型態作探討，彙整如下表 2.3 所示。

表 2.3 延伸問題之需求點及資源限制

類型	需求點限制	資源限制
Vehicle Routing Problem (VRP)	單點固定收貨或送貨	單一種類車輛 無車容量限制
Fleet Size and mix Vehicle Routing Problem (FSVRP)	單點固定收貨或送貨	單一種類車輛 有車容量限制
Vehicle Routing Problem with Time Window(VRPTW)	單點固定收貨或送貨	單一種類車輛 有車容量限制
Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and pick-up(VRPSDP)	單點同時收送貨	單一種類車輛 有車容量限制

資料來源：莊英群(2003)

在上表 2.3 彙整了車輛延伸問題後，可發現一般 VRP 問題的延伸在需求點部分往往只有單點送貨或取貨，但在實際上單點送取貨的情況是常常發生的，因此本研究在 2.2.2 節針對 VRPSDP 再提出個別探討。

2.2.2 同時送取貨車輛路徑問題

傳統的流通路徑規劃問題，較常使用簡單的單程送貨問題，或者是加入時間窗概念，而少量考量到同時送取貨已達到多元運輸目的。跳脫以往路徑規劃問題，研究議題更加入逆物流概念，使用更具成本效益方法來創造價值，因而衍生了車輛同時送取貨車輛路徑問題(Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up, VRPSDP)。而此問題在最近已受到密切關注，其論點能有效減少車輛運輸距離，不論是在環保或者是經濟方面，均有效影響一企業之效益(Lin et al., 2014; Mavrovouniotis & Yang, 2013; 于雷、王東, 2013; 陸琳、譚清美, 2007; 朱經武、周偉禮, 2006)。

同時考量配送及收貨之車輛途程問題是探討實務因素之車輛排程問題，其在實務上有許多應用，尤其是在是物流業配送服務上的應用。在競爭市場中，物流業者在車輛的調派上如能同時考量收貨及配送，將使車隊產能有效率的被利用而提升競爭力及增加利潤，進而提升競爭力。傳統的車輛途徑問題中，常常只考量單純的收貨送貨，但在實務上，一個配送途程中，可能會有同時收貨或送貨的需求，為較符合實際情況以及經濟之一種車輛路徑問題，其問題已被證明為 NP-hard 問題(劉芸希, 2013; 李忠憲, 2011)。表 2 列示了傳統車輛途徑問題及其延伸議題。近年來關於 VRPSDP 研究之發展如圖 2.4 所示，由圖 2.4 中可看出本研究探討之議題自 2011 年起受到特別關注，表示其重要性上升。



圖 2.4 VRPSDP 問題研究趨勢

資料來源：<http://www.wanfangdata.com.cn/>

為了解決運輸問題並得出最適解，演算法概念即被設計應用，文獻部分，莊英群(2003)在探討混合送收貨車輛途徑問題中使用禁忌搜尋法結合節省法來進行問題求解，並使用國際例題進行求解品質測試，最後與相同背景之文獻進行比較，其結果證明研究所使用之萬用啟發式演算法在其求解品質及速度上均得到較好效果(39%)。

許哲斌(2008)在有需求變動並具有軟時時窗限制的收送貨車輛問題中先使用田口直交表參數實驗設計方法找出最佳組合參數再設計例題進行退火模擬法進行求解，結果證明其使用之啟發式演算法在求解相關車輛途程問題中皆能有效在短時間內得到不錯的近似最佳可行解，並在未來研究方向建議可針對需求點不同限制並發展不同演算法求解。

殷佳林、蔣泰(2009)於求解帶硬時窗之 VRPSDP 問題中使用蟻群最佳

化演算法，透過文獻中實例計算並作遺傳演算法跟蟻群演算法比較，其求解結果顯示蟻群演算法在行駛距離部分比遺傳演算法品質更好(144.2；153.8)。

楊進、馬良(2009)使用較新穎的蜂群演算法求解帶時間窗限制的車輛路徑問題並使用國際 Benchmark 專門研究車輛問題之網站擷取例題資料與其他演算法進行差異比較，其結果發現蜂群演算法雖能有效達到求解品質及速度但相較之下蟻群演算法因其螞蟻特性原理在求解車輛問題上效果還是較佳，遺傳演算法、禁忌收尋法、路由演算法皆劣於它，而在求解車輛數及車輛行駛路徑部分，情況可能為車輛數多，行駛路徑就短，相反，車輛數少，行駛路徑相對就長，決策者可依實際情況不同合理安排車輛數減少浪費。

其他文獻，同樣為解決車輛途程問題，包括于雷、王東(2013)運用蟻群演算法(Ant Colony Algorithm)、Lin et al.(2014)運用基因演算法(Genetic Algorithm)，不僅如此，也有許多學者提出混合演算法，如劉希芸(2014)在初始解部分先使用鄰近點法再混合使用禁忌搜尋法再進行求解最佳解。

總結上述 2.2 節相關文獻及本研究所探討文獻，可概括統整為下列重點：

1. 車輛途徑屬於 NP-hard 問題所以在使用啟發式演算法求解下往往能得到較佳求解品質及速度。
2. VRPSDP 相較於其他傳統車輛問題有較符合實際情況需求的特性，其逆物流概念更對商業組織來說更富有經濟效益。
3. 閱讀相關求解文獻中發現啟發式演算法在求解車輛問題中蟻群演算法相較於其他演算法有較佳求解效果。

在本小節得知啟發式演算法在求解車輛問題往往有較佳效果後，本研究在 2.3 節探討啟發式演算法使用情形，並對當中較適合之蟻群演算法作進行探討。

2.3 啟發式演算法

2.3.1 基因演算法介紹

基因演算法(Genetic Algorithm, GA)為 John Holland 在 1975 年所提出最佳化演算。其理論可追溯到自 1895 年達爾文(Charles Darwin)物種演化書中的「物競天擇，適者生存」之演化及淘汰觀念。藉由仿造自然界生物遺傳演化的特性，透過複製(reproduction)、交配(crossover)以及突變(mutation)等方式針對可行解進行運算，並根據適應函數(fitness function)進行績效評估，透過演化改善求解品質，以求得近似最佳解(葉日豪，2014)。

基因演算法能以多點方式搜尋最佳解，並非點對點的搜尋，對於多峰谷的函數而言，基因演算法相較其他傳統演算法能更快找出整體最佳解(global optimum)，並且能跳脫出區域最佳解(local optimum)。因此，基因演算法有下列優點：

1. 產生可解釋的結果
2. 結果易於應用
3. 可以處理的資料型範圍極大
4. 可以用在最佳化(optimization)問題上

以基因演算法來搜尋近似最佳解的問題時，已有眾多學者討論過，尤其是於基因演算法運作步驟也有許多學者進行探討，如：Vignaux and Michalewicz (1991)探討參數編碼(encode)之方式；Ishibuchi, et al. (1994)設定控制參數，如：交配率、突變率以及停止運算的條件等。

2.3.2 禁忌搜尋法介紹

禁忌搜尋法(Tabu Search, TS)最早由 Glover 於 1986 年所提出，利用紀錄先前進行搜尋過的結果以避免陷入局部最佳解，得到全域最佳解。Tabu Search 利用短期記憶的結構型態，記錄前幾次移動，以避免產生迴圈情況，而這短期記憶稱為禁忌串列(Tabu List)，串列越大，陷入局部解的機率就越小。

禁忌搜尋法在求解過程可分為 5 個部分，依序為起始解、停止條件、

禁忌名單、禁忌移動及超越條件。步驟可分為 3 步驟(許哲斌，2008)

1. 找出起始解，將此解作為當前最佳解。
2. 開始進行搜尋鄰近最佳解。
3. 檢查當前鄰近最佳解是否為禁忌移動，否則計算目前函數值，並將此移動記錄到設計禁忌表中；若是則檢查此移動是否滿足超越條件。若滿足超越條件則取消移動限制並回到步驟 2。達到停止限制或無法移動時，則結束搜尋。

2.3.3 蜂群演算法介紹

蜂群演算法(Marriage in Honey Bees Optimization；MBO)主要為為觀察大自然中蜜蜂繁殖過程而得到啟發之一種尋找最佳解方法，最早於 2001 年由 H.A. Abbass 所提出，特色有三點(張炳騰、曾宗瑤、莊惟丞、黃建中，2009)：

1. 工蜂分工照顧卵巢，至少有兩個世代重疊與生殖。
2. 蜂群中只有一隻蜂后，其餘皆為雄蜂與工蜂，其族群可能經歷單任或數任蜂后。
3. 在最早 Abbass 所提出蜂群概念中，蜂后特性為利用精巢(spermatheca)，工蜂派出飛行沿途蒐集各雄蜂精子，回至蜂巢中結合產生下個世代，並由工蜂照料；其結果若優於蜂后則取而代之，相反則全部子代皆被摧毀。

主要流程大致可分為 5 階段:

1. 蜂后與雄蜂交配旅程(The mating-flight of the queen bees with drones)。
2. 蜂后產生子代(The creation of new broods by the queen bees)。
3. 工蜂改進子代之適應值(The improvement of the broods' fitness by workers)。
4. 工蜂的適應值(The adaptation of the workers' fitness)。
5. 最佳子代替換蜂后(The replacement of the least fittest queen(s) with the fittest brood(s))。

2.3.4 蟻群演算法介紹

蟻群演算法(Ant colony optimization ; ACO)為 Marco Dorigo 在 1991 年之博士論文提出，起初為解決經典 TSP 旅行商問題，而後數十年廣泛運用到各個領域，如工作排程問題、電路問題、調度問題等。而其理論為基於一種源於大自然中生物世界的新仿生類算法，為一種通用型隨機優化方法，吸收其螞蟻之行為特性，通過內在的搜尋機制，在一系列困難之優化組合問題求解中取得了成效，因其螞蟻仿真概念故取為蟻群演算法。

而在蟻群演算法演進過程中，除了原始解決 TSP 問題外，VRP 問題與其密切相關，因 VRP 問題可被視為多個 TSP 之組成，在近十年演化之下，蟻群演算法從原本 2-opt 啟發式演算法改善了 Ant-Vrp 之總派車時間，到以多目標方式求解 VRP(林依潔，2003)，首要為派車車輛最小化以及總派車距離最小化，而車輛數最小化將間接可達成總派車距離最小化的目標。

蟻群演算法經由過去文獻探討大致為通過下列步驟進行其運算：

1. 設定疊代次數，各個參數初始化。
2. 將各螞蟻至於初始出發點，每一隻螞蟻按照其概率轉移。
3. 計算各螞蟻之目標函數值並記錄當前最佳解。
4. 按照其費洛蒙更新方程式修改其軌跡強度。
5. 滿足其設定疊代次數。
6. 在可行解中選出本次疊代中最佳解，算法結束。

其演算邏輯本研究彙整如下圖 2.5 所示:

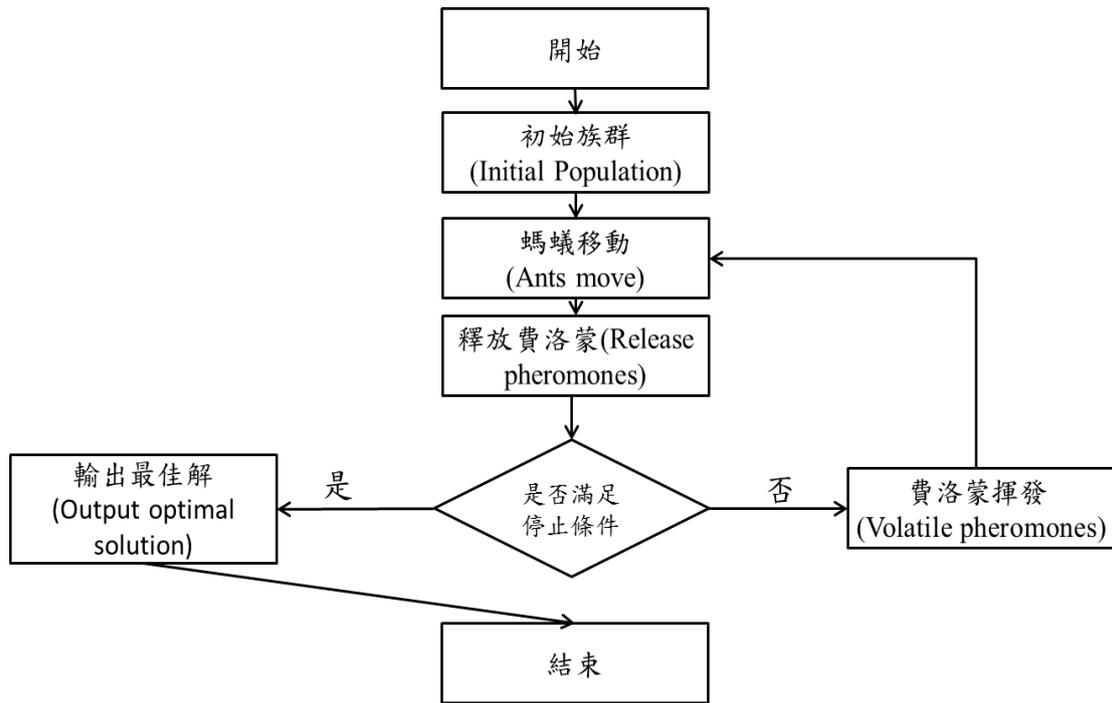


圖 2.5 蟻群演算法之邏輯

第三章 問題描述與數學模型

本研究針對目前最符合經濟效益之同時收取貨車輛問題作為研究目標，並根據本章主要探討之二氧化碳排放量訂定數學模型做更進一步的探討，本章 3.1 節針對探討之問題描述，3.2 節為數學模型之參數及符號說明，3.3 節為求解方法及步驟。

3.1 問題描述與基本假設

經由第二章文獻探討所得基礎，本研究根據綠色運輸層級架構圖擬定車輛多方載重限制與假設條件進行非線性規劃求解，預期得出最佳路線、路徑距離最佳化、使用車輛最佳化等結果，本研究彙整其整體架構如圖 3.1 所示。

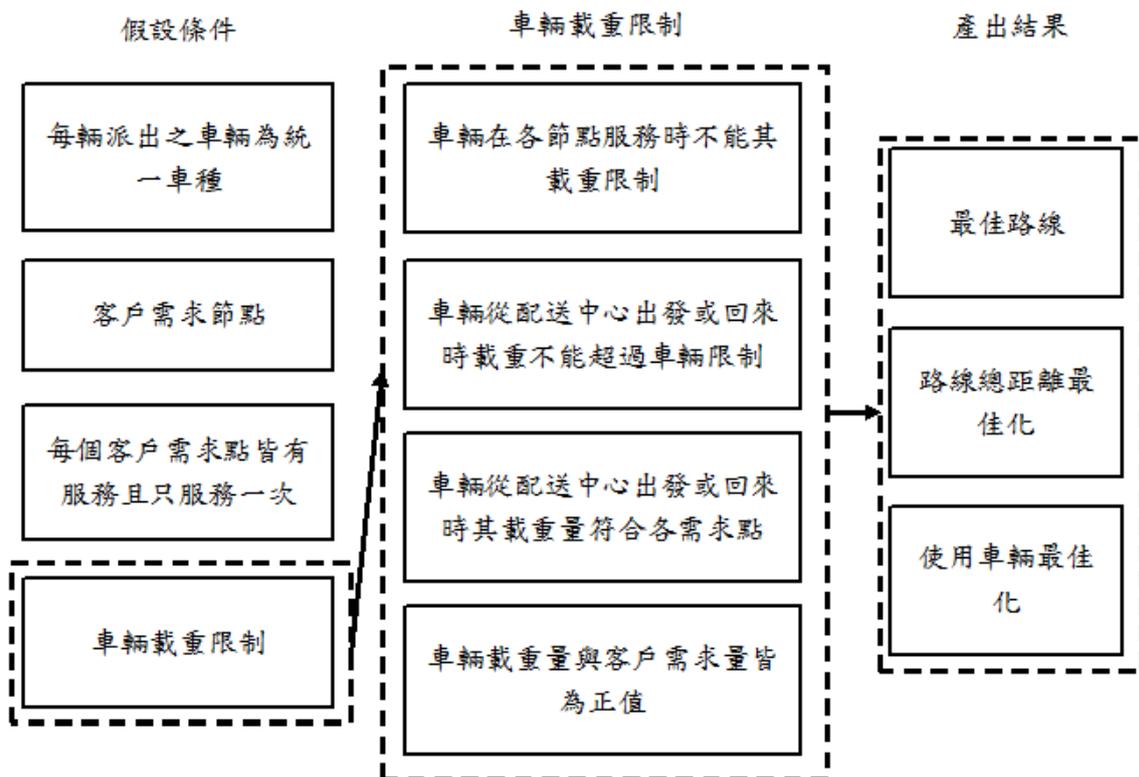


圖 3.1 綠色運輸規劃整體架構圖

根據客戶需求量及車輛路徑限制求解，預期得出最低使用車輛限制、行駛最低路徑、可滿足之需求點等結果，而根據經濟部能源局(2013)所得資料：

車輛耗用能源推估模式為：

$$\text{燃油消耗量} = \text{車輛數} \times \text{年行駛里程} \times \text{油耗值} \times \text{修正係數}$$

$$\text{CO}_2\text{排放量} = \text{車輛數} \times \text{年行駛里程} \times \text{CO}_2\text{排放係數} \times \text{修正係數}$$

其中，修正係數包括車輛保養檢修、車重、實際道路差異情況、市區外或者是區內而有不同，而本研究為求得燃油消耗量以及CO₂排放量之準確性，排放係數、油耗值、修正係數採用報告之數據，如表 3.1 所示，而車輛數以及年行駛里程數將設為決策變數。

表 3.1 移動源CO₂排放係數

排放源類別	燃料別	C 排放係數 kgC/GJ	CO ₂ 原始係數 kgCO ₂ /Kcal	單位轉換 Kg CO ₂ /Kcal	我國熱值	熱值單位	建議排放係數	單位
燃料油	航空汽油	19.1	70,000	2.93E-04	7500	Kcal/L	2.20	Kg CO ₂ /L
	航空燃料	19.5	71,500	2.93E-04	8000	Kcal/L	2.39	Kg CO ₂ /L
	**車用汽油	18.9	69,300	2.93E-04	7800	Kcal/L	**2.26	Kg CO ₂ /L
	**柴油	20.2	74,100	3.10E-04	8800	Kcal/L	**2.73	Kg CO ₂ /L
	潤滑油	20.0	73,300	3.07E-04	9600	Kcal/L	2.95	Kg CO ₂ /L
	液化天然氣 (LNG)	17.5	56,100	2.35E-04	9900	Kcal/M ³	2.33	Kg CO ₂ /M ³
	液化石油氣 (LPG)	17.2	63,100	2.64E-04	6635	Kcal/L	1.75	Kg CO ₂ /L

資料來源：經濟部能源局(2013)

本研究針對 VRPSDP 問題，將建構數學模式，探討運輸路線最佳化並以蟻群演算法以及 Lingo 軟體做為求解問題的方法，以符合較接近實務面一種較理想方式，進而減少路徑量，達到綠色物流之目的。

根據上述之研究背景與動機、文獻探討，達成以下研究目的：

1. 由能源推估模式建構車輛同時取送貨問題(VRPSDP)數學模型。
2. 求解最佳路徑以及最小車輛使用成本。
3. 計算系統物流產生燃油消耗量、二氧化碳之實際數據。

3.2 數學模型參數及符號說明

3.2.1 基本假設

1. n 個需求節點提供相同服務，需求點並無選擇偏好。
2. 唯一初始點(配送中心)，每輛車皆由初始點出發，完成繞境任務後必定回到初始點，本研究將初始點設為平面 2 維座標(0,0)。
3. 每一節點皆只能由一輛車服務，且只服務一次。
4. 每一需求節點必定被拜訪。
5. 每輛車只進行一條路線。
6. 在每一需求節點進行同時送取貨任務。
7. 各路線的需求節點其需求總量不能超過車輛總載重量。
8. 需求點與需求點間二維距離採用絕對距離計算。
9. 車輛類型皆為單一種類。

3.2.2 已知資料

1. 每一需求點之需求量(收貨與送貨)已知。
2. 車輛載重能力。
3. 每一需求點位址已知，即點與點間距離與點與配送中心距離已知。

3.2.3 數學參數說明

本小節將定義與說明本研究所發展之 VRPSDP 數學模型之數學符號，包括上下標、參數與決策變數。

1. 假設說明:

I	各需求節點集合， $i=0$ 為配送中心	$i = \{0, 1, \dots, n\} \in I$
j	各需求節點，用來表示與 i 距離	$j = \{1, 2, \dots, n\} \in I$
R	客戶節點集合	$i, j \in R$
V	k 車輛集合	$k = \{1, \dots, m\} \in V$

2. 參數:

c_{ij}	從需求點 i 行駛到需求點 j 之距離
d_i	各客戶需求送貨量
p_i	各客戶需求取貨量
D	每輛車之載重能力限制

3. 二元決策變數:

x_{ijk}	1 : 車輛 k 經過路徑 (i, j) 0 : 其他
y_{ki}	1 : 車輛 k 於需求點 i 服務 0 : 其他

3.2.4 數學模式

藉由上述的符號定義，本節提出一個數學模式，其適用於本研究為取得最低車輛使用限制以及車輛行駛路徑設計問題，以下將詳細描述及說明此數學模式的目標函數及限制式。

目標函數(Objective Function)

$$\text{Minimize } \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m c_{ij} x_{ijk} \cdot \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m x_{0jk} \quad (1)$$

目標式(1)是在能夠滿足各需求點下，達到使用車輛最低限制以及行駛路徑總長最小化。

限制條件(Constraints):

$$\sum_{i=1}^n d_i y_{ki} \leq D, \quad i, j \in R, i \neq j, k \in V \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n p_i y_{ki} \leq D, \quad i, j \in R, i \neq j, k \in V \quad (3)$$

限制式(2)(3)為車輛在各節點服務時不能超過車輛最大載重限制。

$$\sum_{k=1}^m y_{ki} = 1, i \in R \quad (4)$$

限制式(4)確保每輛車隊每一節點皆有服務且只服務一次。

$$\sum_{k=1}^m d_0 y_{kj} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n d_i x_{ijk} \quad i, j \in R, i \neq j, k \in V \quad (5)$$

限制式(5)表示車輛從配送中心出發時車之載量為各需求點送貨之載量總和。

$$\sum_{k=1}^m p_0 y_{kj} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n p_i x_{ijk} \quad i, j \in R, i \neq j, k \in V \quad (6)$$

限制式(6)表示車輛從各節點服務結束後載量為各需求點取貨之載量總和。

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^n d_i y_{ki} + \sum_{i=0}^n p_i y_{ki} + (p_i - d_i) \sum_{i=0}^n x_{ijk} \\ = \sum_{i=0}^n d_i y_{ki} + \sum_{i=0}^n p_i y_{ki} \end{aligned} \quad (7)$$

限制式(7)表示車輛在任意點之載量滿足其該點同時取貨需求量與送貨需求量之關係。

$$\sum_{k=1}^m d_0 y_{kj} \leq D \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^m p_0 y_{kj} \leq D \quad (9)$$

限制式(8)(9)表示車輛在配送中心出發或回來時車之載重不得超過車輛載重限制。

$$\sum_{i=0}^n x_{ijk} = y_{kj}, i, j \in R, i \neq j \quad (10)$$

$$\sum_{j=0}^n x_{ijk} = y_{ki}, i, j \in R, i \neq j \quad (11)$$

$$\sum_{i,j} \sum_{S \subseteq I} x_{ijk} \leq |S| - 1, \quad S \subseteq I \quad (12)$$

限制式(10)(11)(12)為確保車輛之路徑為可行迴路。

$$\sum_{i=1}^n d_i y_{ki} \geq 0 \quad i, j \in R, i \neq j, k \in V \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^n p_i y_{ki} \geq 0 \quad i, j \in R, i \neq j, k \in V \quad (14)$$

限制式(13)(14)表示其車輛載重量為正值。

$$d_i \geq 0, p_i \geq 0, D \geq 0 \quad i \in R \quad (15)$$

限制式(15)表示客戶送取貨需求量及車輛載重需為正值。

3.3 蟻群演算法及 LINGO 求解方法與步驟

本章節為描述一套能符合本研究提出之數學模型求解問題之演算法模式;3.3.1 節至 3.3.5 描述了本研究之蟻群演算法且敘述整體演算法之流程，如初始化、螞蟻按照概率移動、釋放費洛蒙、費洛蒙揮發、費洛蒙軌跡更新、輸出並記錄當前最佳解等...;3.3.6 節為進行演算法最佳化測試題庫，針對本研究所提出之演算法的績效來做評估、分析，驗證蟻群演算法之有效性，3.3.7 節為 Lingo 套裝軟體進行求解之流程。

3.3.1 蟻群演算法流程

下圖 3.2 列示本研究蟻群演算法流程。

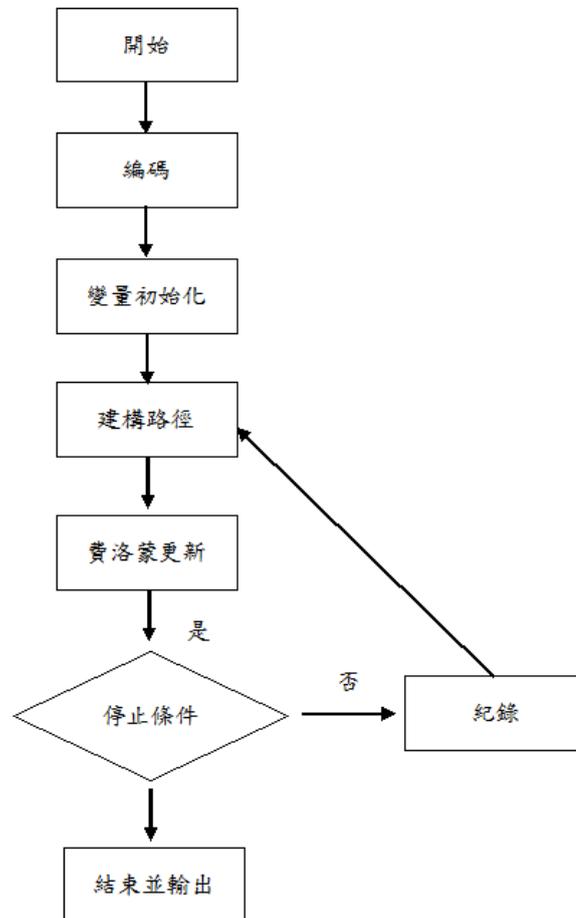


圖 3.2 蟻群演算法流程圖

3.3.2 變量初始化

初始化目的為決定本研究所進行蟻群演算法之疊代次數、螞蟻個數 m 、影響因子 (α, β) 、訊息素蒸發係數 ρ 、訊息素增強係數 Q ，每一弧邊 (i,j) 之能見度 η_{ij} (即為距離之倒數 $1/d_{ij}$)、每一弧邊 (i,j) 之軌跡強度 τ_{ij} 、螞蟻 k 在每一弧邊 (i,j) 所留下之軌跡訊息素量 $\Delta \tau_{ij}^k$ ，而按照軌跡訊息素數量的不同取法，可形成不同類型之蟻群演算法，在本研究採用原始 Dorigo(1997) 之基本思想，其如下。

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} Q/d_{ij}, & \text{如果}(i,j)\text{在最佳路徑上} \\ 0, & \text{否則} \end{cases}$$

其中本研究距離採用數學概念中絕對距離，公式為：

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

而將其各需求點轉換為示意表格圖如下：

$i \backslash j$	1	2	3	...	j
1	d_{11}	d_{12}	d_{13}	...	d_{1j}
2	d_{21}	d_{22}	d_{23}	...	d_{2j}
3	d_{31}	d_{32}	d_{33}	...	d_{3j}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
i	d_{i1}	d_{i2}	d_{i3}	...	d_{ij}

3.3.3 建構路徑(螞蟻按照概率移動)

在進行初始化後，已將每一隻螞蟻放在求解之全域圖上，而接下來每一隻螞蟻必須按照其概率進行移動，直到完成每一需求點進行相同送取貨服務，即每一隻螞蟻需進行全域周遊，其轉移機率為 P_{ij} ，啟動 k 隻螞蟻即為 P_{ij}^k ，而其轉移機率公式為：

$$P_{ij} = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij})^\alpha (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{\notin M_k} (\tau_{ij})^\alpha (\eta_{ij})^\beta} \\ 0, \text{ otherwise} \end{cases}$$

其中 M_k 代表 k 隻螞蟻走過之路徑已被儲存不再被選擇，即在程式中設計一禁忌表，紀錄螞蟻($k=1 \cdots m$)已走過之需求點，並對訪問過之需求點不再進行繞境，而 α 、 β 則影響螞蟻在選擇路徑中累積訊息素以及啟發訊息。

3.3.4 進行區域費洛蒙軌跡更新

在前面 4.1.2、4.1.3 已將螞蟻派出並完成一次周遊繞境，本小節主要目的為進行局部或者全域訊息素更新，在前一小節螞蟻周遊一次並未必能成功找到最佳解，所以必須進行更新反覆周遊並紀錄螞蟻周遊後所得到結果，直到滿足本程式之限制條件得出最佳結果，費洛蒙軌跡更新于雷、王東(2013)採取 ASRank 與 MMAS 更新方式，但陸琳、譚清美(2007)提到其方

法在於只有保證在產生最好結果之路徑上允許訊息素得到更新，也沒有考慮到當前路徑距離特徵，並沒有有效解決演算法一般快速收斂與陷入局部解之矛盾，基於以上了解，本研究採用適合求解本章第三節所提出之 VRPSDP 數學模型之軌跡更新公式為：

$$\tau_{ij}^{new} = \rho * \tau_{ij}^{old} + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k$$

3.3.5 終止條件並輸出最佳解

本研究之終止條件(termination condition)為滿足下列兩者之其中一項，本研究所進行之蟻群演算法就會停止動作並輸出最佳解。

1. 運行次數達到本研究所設定之疊代次數，則停止演算法之運算，否則繼續執行直到滿足其條件。如:設定疊代次數為 500 次，表示程式執行到第 500 次時就終止執行。
2. 程式運行計算出之解函數呈收斂的狀態，就可終止程式運算。如:疊代過程中已有連續數十個數值趨近於同一固定值，即可終止執行。

3.3.6 演算法最佳化測試題庫

本小節為演算法最佳化測試題庫，本研究採用葉日豪(2014)在評估其演算法之績效所採用的三個線性以及非線性範例來做為測試例題，此測試題庫為 Chan-Jin Chung 與 Robert G. Reynolds 所撰寫之 A testbed for solving optimization problems using cultural algorithms 所提出，主要目的是要運用此測試平台來驗證本研究提出之演算法績效。

測試案例 1

$$\text{Maximize } X_1(70 - 4X_1) + X_2(150 - 15X_2) - 100 - 15X_1 - 15X_2$$

Constraints

$$0 \leq X_1 \leq 10$$

$$0 \leq X_2 \leq 10$$

已知解答:當 $X_1=6.87612247$, $X_2=4.49936247$ 最佳值= 392.8125

表 3.2 測試案例 1 測試結果

	單次最佳	單次誤差 (%)	3 次最佳平均	平均誤差 (%)
X ₁	6.87612247	0	6.87612247	0
X ₂	4.49936247	0	4.49936247	0
Optimal	392.8125	0	392.8125	0

測試案例 2

$$\text{Maximize } \frac{3X_1 + X_2 - 2X_3 + 0.8}{2X_1 - X_2 + X_3} + \frac{4X_1 - 2X_2 + X_3}{7X_1 + 3X_2 - X_3}$$

Constraints

$$X_1 + X_2 - X_3 \leq 1$$

$$-X_1 + X_2 - X_3 \leq -1$$

$$12X_1 + 5X_2 + 12X_3 \leq 34.8$$

$$12X_1 + 12X_2 + 7X_3 \leq 29.1$$

$$-6X_1 + X_2 + X_3 \leq -4.1$$

$$0 \leq X_i \leq 4, i = 1, 2, 3$$

已知解答:當 X₁=1, X₂=0, X₃=0, 最佳= 2.47142863

表 3.3 測試案例 2 測試結果

	單次最佳	單次誤差 (%)	3 次最佳平均	平均誤差 (%)
X ₁	1	0	1	0
X ₂	0	0	0	0
X ₃	0	0	0	0
Optimal	2.47142863	0	2.47142863	0

測試案例 3

$$\text{Minimize } 5x_1 + 5x_2 + 5x_3 + 5x_4 - 5 \sum_{i=1}^4 x_i^2 - \sum_{i=1}^9 y_i$$

Constraints

$$2x_1 + 2x_2 + y_6 + y_7 \leq 10$$

$$2x_1 + 2x_3 + y_6 + y_8 \leq 10$$

$$2x_2 + 2x_3 + y_7 + y_8 \leq 10$$

$$-8x_1 + y_6 \leq 0$$

$$-8x_2 + y_7 \leq 0$$

$$-8x_3 + y_8 \leq 0$$

$$-2x_4 - y_1 + y_6 \leq 0$$

$$-2x_2 - y_3 + y_7 \leq 0$$

$$-2x_4 - y_5 + y_8 \leq 0$$

$$0 \leq x_i \leq 1, i = 1, 2, 3, 4$$

$$0 \leq y_i \leq 1, i = 1, 2, 3, 4, 5, 9$$

$$0 \leq y_i, i = 6, 7, 8$$

已知解答:當 $f(X,Y)=(1,1,1,1,1,1,1,1,3,3,3,1)$ 時，最佳解 = -15

表 3.4 測試案例 3 測試結果

	單次最佳	單次誤差 (%)	3 次最佳平均	平均誤差 (%)
Optimal	-15	0	-14.59	2.7

由上面三項測試案例可得知，無論是線性或者非線性例題在面對有限制條件下的最佳化問題本研究所使用的演算法是有一定效度的。

3.3.7 Lingo 軟體求解步驟

本研究使用 Lingo 軟體為用來求解線性與非線性優化問題的簡易工具。LINGO 內建置了一種最優化模式的語言，可以簡便的表達大規模問題，利用 LINGO 高效的求解器可快速求解並分析結果，為較符合實務一種求解方

法(周克天, 2011), 下表 3.5 為整理其他文獻證明其 Lingo 套裝軟體是為可求解本計畫問題可行性。

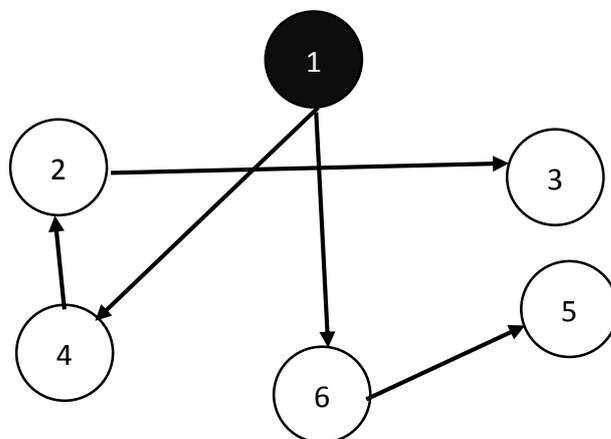
表 3.5 Lingo 求解之問題

學者	年分	問題
周克天	2011	規劃設計人員最佳化配置
阮氏清春	2013	逆向物流系統中最佳解
劉建豪	2011	外包宅配服務
王憶萍	2010	具時窗限制下多營業所車輛配送路線

求解步驟分為兩階段進行。

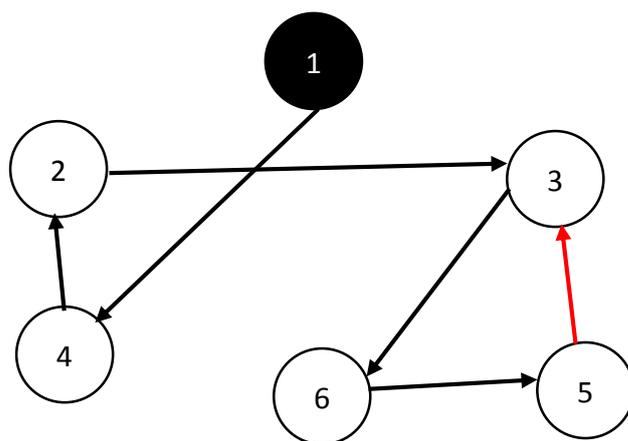
階段一：

Step 1: 根據 3.2.2 節本研究提出之數學模式關於邏輯語法上使用最小擴張樹 (Minimal Spanning Tree) 來作為邏輯語法上基礎設定。



即如有 N 個節點, 節點 1 當作基點, 那必定會存在一分支從基點分出, 而除了基點以外每個節點皆須被串聯到, 且任何兩個相異之節點只有單向 (非雙向) 分支成立, 最後分支恰好有 $N-1$ 條。

Step 2：節點(i)與節點(j)之間邏輯語法限制。



對於一節點(k)而言必然會有某一節點(i)進入，而對節點(k)而言也必然會進入另一節點(j)，而節點(i)與節點(j)之間在本研究數學模式中須限制 $i \neq j$ 情形不能發生即定義為 $i \neq j$ ，此外也限制了迴圈的發生使其為可行迴路，其關係如上圖節點 3、5、6。

階段二：根據 3.2.2 提出之數學模式進行目標函數及剩餘限制式求解。

Step 1：列出目標函數

$$\text{Minimize } \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m c_{ij} x_{ijk} \cdot \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m x_{ojk}$$

Step 2：進行 Lingo 設定以及求解

第四章 案例與實證分析

根據前面第三章提出之數學模型以及蟻群演算法、Lingo 求解流程，本小節以 Solomon Benchmark 題庫中擷取例題資料，而此題庫網站為專門研究 VRP 問題並擁有龐大實例資料，因此作為求解本研究數學模型之基本所需資料。

4.1 蟻群演算法求解

在影響因子取用部分，Dorigo(1997)在初始研究提出蟻群演算法在 α 取值 1~2 之間， β 取值在 1~3、 $\rho = [0.1,0.3,0.5,0.7,0.9]$ 以及 $Q=100$ 之間往往能取得較好求解效果，在往後相關之文獻研究相佐證的確如此，因此本研究將沿用 $\alpha \in [1,2]$ 、 $\beta \in [1,2,3]$ 、 $\rho = [0.1,0.3,0.5,0.7,0.9]$ 探討，而螞蟻數根據例題中車輛數需在 5 輛限制下找尋，也就是將會產生 $2*3*5*5=150$ 種組合結果，並預期在 150 種組合參數中找到最佳組合。

4.1.1 範例結果

方案 1: $\rho = 0.1$ 、 $\alpha=1$ 、 $\beta \in [1,3]$ 情況下

(α, β)	(1,1)		(1,2)		(1,3)	
k	3	4	3	4	3	4
L_best	87.5723	78.4996	83.2504	80.4964	81.0532	78.3505

方案 2: $\rho = 0.1$ 、 $\alpha=2$ 、 $\beta \in [1,3]$ 情況下

(α, β)	(2,1)		(2,2)		(2,3)	
k	3	4	3	4	3	4
L_best	111.2294	99.5713	87.6266	81.2023	89.5372	90.0642

方案 3: $\rho = 0.3$ 、 $\alpha=1$ 、 $\beta \in [1,3]$ 情況下

(α, β)	(1,1)		(1,2)		(1,3)	
k	3	4	3	4	3	4
L_best	94.0722	91.3792	92.2000	83.3248	81.8308	90.0670

方案 4: $\rho = 0.3$ 、 $\alpha=2$ 、 $\beta \in [1,3]$ 情況下

(α, β)	(2,1)		(2,2)		(2,3)	
k	3	4	3	4	3	4
L_best	116.0804	128.9099	99.2078	98.8762	86.7308	92.8184

方案 5: $\rho = 0.5$ 、 $\alpha=1$ 、 $\beta \in [1,3]$ 情況下

(α, β)	(1,1)		(1,2)		(1,3)	
k	3	4	3	4	3	4
L_best	105.9158	101.7235	93.3781	87.2162	94.2654	81.2023

方案 6: $\rho = 0.5$ 、 $\alpha=2$ 、 $\beta \in [1,3]$ 情況下

(α, β)	(2,1)		(2,2)		(2,3)	
k	3	4	3	4	3	4
L_best	138.5769	120.5577	127.8837	92.6667	89.1970	106.9876

方案 7: $\rho = 0.7$ 、 $\alpha=1$ 、 $\beta \in [1,3]$ 情況下

(α, β)	(1,1)		(1,2)		(1,3)		
k	3	4	3	4	3	4	5
L_best	111.3261	116.8549	99.1189	88.3559	87.8248	超出 界線	87.843 1

方案 8: $\rho = 0.7$ 、 $\alpha=2$ 、 $\beta \in [1,3]$ 情況下

(α, β)	(2,1)		(2,2)		(2,3)	
k	3	4	3	4	3	4
L_best	124.1183	114.3021	118.6057	104.1173	98.4438	83.4996

方案 9: $\rho = 0.9$ 、 $\alpha=1$ 、 $\beta \in [1,3]$ 情況下

(α, β)	(1,1)			(1,2)			(1,3)	
k	3	4	5	3	4	5	3	4
L_best	137.0526	119.1620	105.1762	119.3026	112.9374	95.2018	101.8965	95.6738

方案 10: $\rho = 0.9$ 、 $\alpha=2$ 、 $\beta \in [1,3]$ 情況下

(α, β)	(2,1)			(2,2)			(2,3)		
k	3	4	5	3	4	5	3	4	5
L_best	152.6642	111.5899	107.2973	116.2781	87.5760	101.3884	101.2159	89.5653	超出界線

經過上述程式進行後，可得到最佳方案為方案一：

$\rho = 0.1$ 、 $\alpha=1$ 、 $\beta=3$ 情況下有最佳結果

(α, β)	(1,3)	
k	3	4
L_best	81.0532	78.3505

在本小節求出最短路徑距離為 78.3505，但因本研究最終目的為求出最低燃油消耗量以及最低二氧化碳排放量，根據其車輛能源耗用推估模式，其燃油消耗量以及二氧化碳排放量皆有車輛數乘上行駛路徑數，故本研究選擇車輛數為 3、路徑距離 81.0532 方案($4 * 78.3505 > 3 * 81.0532$)，而因實際啟用車輛成本以及路徑距離考量下更可依據實際需求多方考量選擇最佳有利方案。

燃油消耗量 = 車輛數 * 行駛里程 * 油耗值 * 修正係數

$$3 * 81.0532 * 10.73 * 0.786 = 2050.75457(\text{L}/100\text{km})$$

CO_2 排放量 = 車輛數 * 行駛里程 * CO_2 排放係數 * 修正係數

$$3 * 81.0532 * 2.26 * 0.8703 = 478.265268(\text{噸})$$

由 Solomon Benchmark 例題資料中 20 址需求點位置座標以及上述 150 種參數組合中找到之最佳組合參數 $(\alpha, \beta) = (1, 3)$ ，先進行在 $k=1$ 情況下由本研究使用之蟻群演算法產生其結果進行 Matlab 繪圖，觀察其路徑改變情況，如下圖 4.1、圖 4.2。

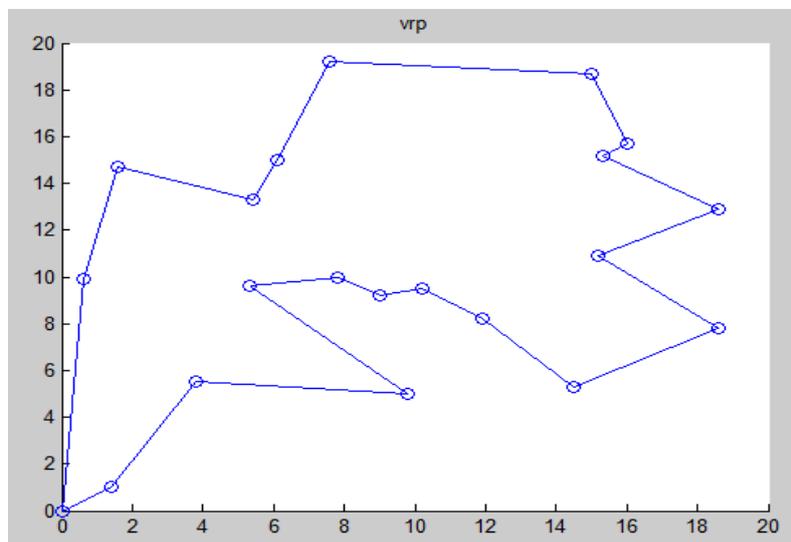


圖 4.1 車輛途徑 Matlab 繪圖(a)

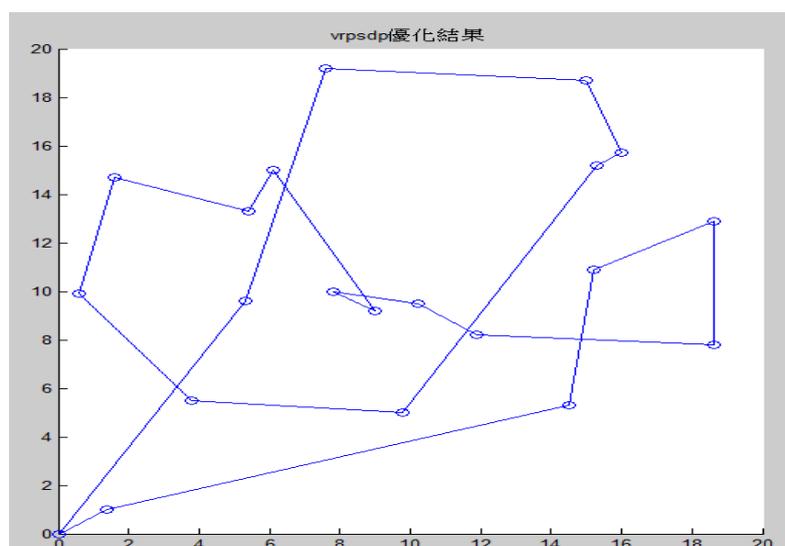


圖 4.2 車輛途徑 Matlab 繪圖(b)

在派出單隻螞蟻($k=1$)進行繞境情況下，左邊為在各需求點未經過 VRPSDP 優化基本 VRP 問題，在無任何限制條件下雖然進行路徑較短，但其路徑只能經由鄰近最近點進行，而右邊為經過 VRPSDP 優化結果，在進行各個需求點送取貨服務及載重限制下，可以明顯看出其路徑已被改變，再進行本研究求出最佳組合參數： $(\alpha, \beta) = (1, 3)$ 、 $k=3$ 情況下車輛途程情形，

如圖 4.3 所示。

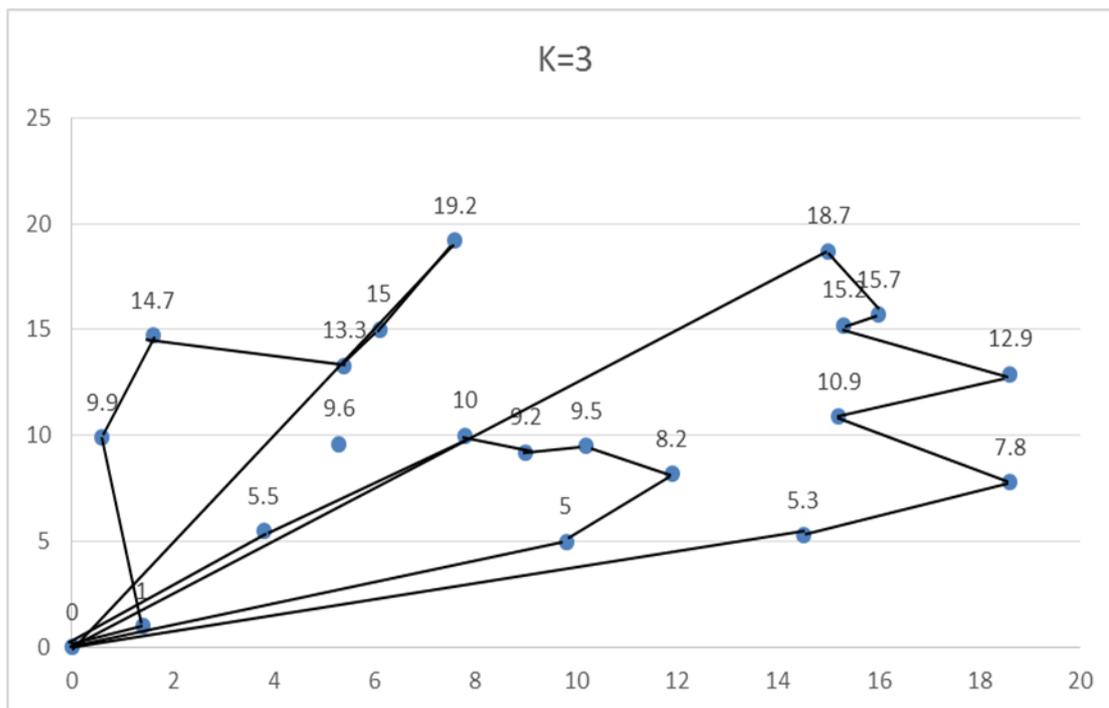


圖 4.3 k=3 情況下車輛路徑圖

在 k=3 情況下，迴路路徑總長為 81.0532，並依節點(20 址)排列順序繪出車輛行駛途徑：

第一條迴路：0 19 4 5 13 15 6 1 0

第二條迴路：0 20 21 7 12 14 8 9 0

第三條迴路：0 18 10 11 3 2 16 17 0

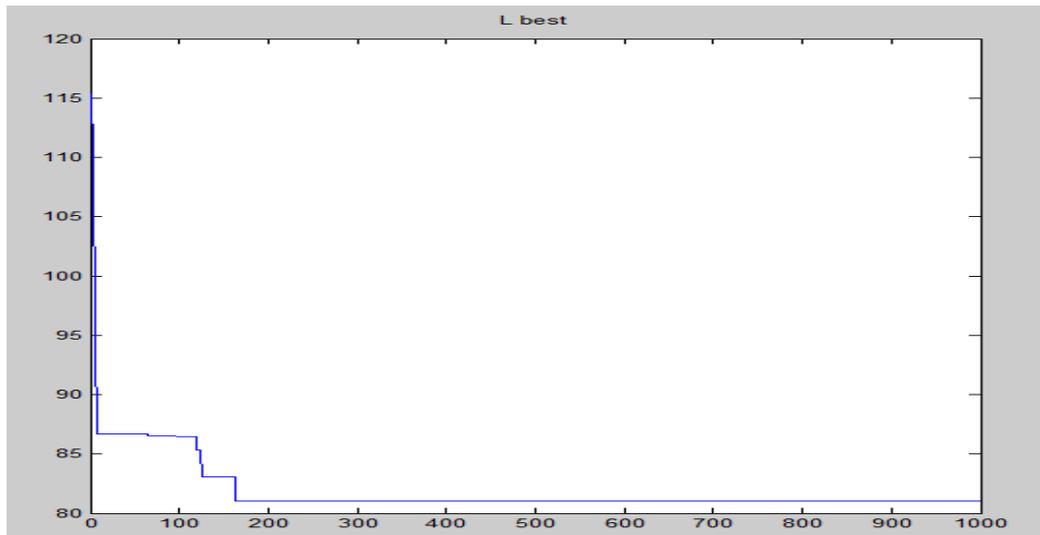


圖 4.4 各疊代最短距離收斂曲線圖(k=3)

4.2 Lingo 套裝軟體求解

本研究在本節分為兩部分，第一部分為採取文獻中(徐麗蕊，2013)求解物流 VRP 問題作為基本例題範例，由文獻中取得車輛行駛中所需資料、多項限制、數學模型，藉由小例題方式證明此 Lingo 代碼求解 VRP 問題下邏輯性為正確的，第二部分採取與前面 4.1 節蟻群演算法相同 Solomon Benchmark 題庫中擷取例題資料來做為本研究案例分析之樣本，提高其正確性並做為比較對象探討差異性。

4.2.1 案例一結果

例題一用到之所需基本數學概念， T_{ij} :從最初出發點 i 到需求節點路線上運行之周期時間， V_{ij} :從最初出發點 i 到需求節點路線上最多能同時進行之車輛數， S_{ij} :從最初出發點 i 到需求節點路線上車輛單次最多可運行之次數:

$$T_{ij} = \frac{C_{ij} * 2}{\text{平均速度}} \quad , \quad V_{ij} = \frac{T_{ij}}{\text{節點服務時間}} \quad , \quad S_{ij} = \frac{\text{限制時間}}{T_{ij}}$$

依運輸學概念，車輛周轉時間(日/次)=運行時間+技術站中轉作業時間+裝卸站貨物作業時間，其中 c_{ij} 代表為出發點 i 到客戶節點 j 之距離，而平均速度、節點服務時間、限制時間可隨實際情況不同而改變。

位置	x	y	貨物重量
配送中心	9.6	11.2	
1	3.7	13.1	5
2	3.3	19.4	1
3	18.6	12	2
4	13	3.8	2
5	3.3	1.1	7
6	8.3	7.2	3
7	0.1	19.9	6
8	1.7	19.1	3

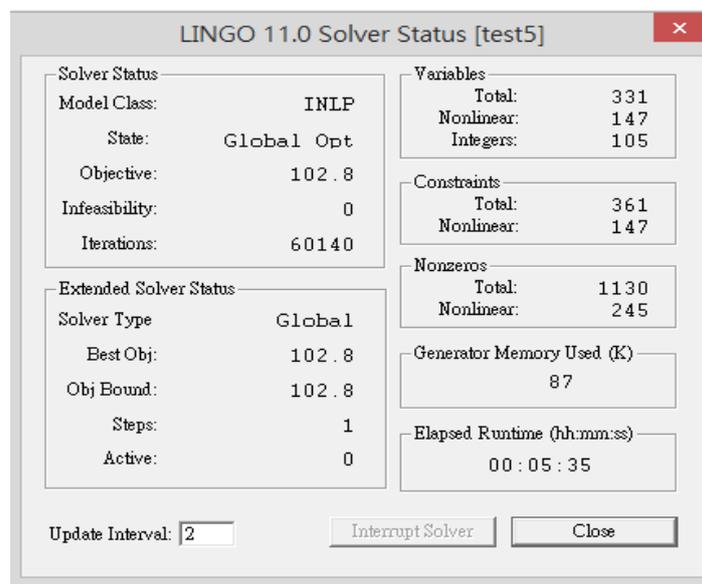


圖 4.5 案例 1 車輛目標函式求解結果

表 4.1 Lingo 案例一結果

	原文獻案例 資料	本研究		
		結果	差異	差異百分比
Z(目標值)	102.8	102.8	0	0%

由上表 4.1 求解結果可知，本研究在 Lingo 求解 VRP 問題上邏輯性為正確，其結果與原文獻資料差異為 0%。

4.2.2 案例二結果

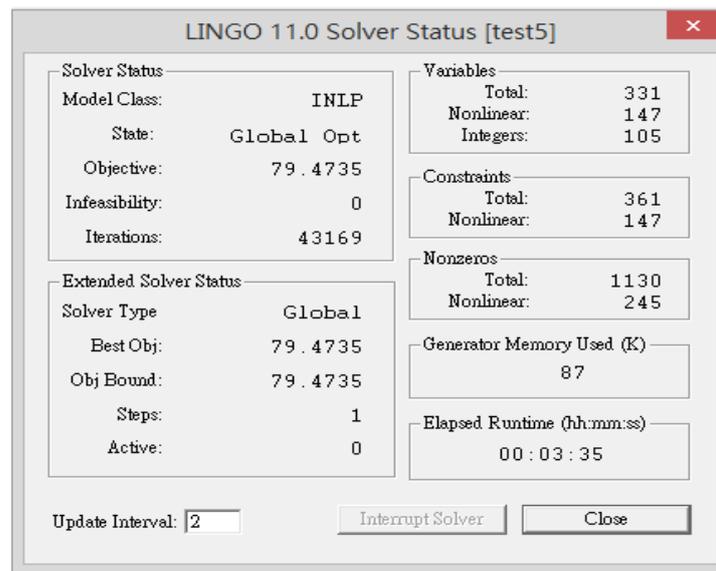


圖 4.6 案例 2 車輛目標函式求解結果

表 4.2 彙整案例 2.Lingo 求解結果

	車輛使用數	最佳距離	執行時間
結果	4	79.4735	3 分 35 秒

燃油消耗量 = 車輛數 * 行駛里程 * 油耗值 * 修正係數

$$4 * 79.4735 * 10.73 * 0.786 = 2681.0481 \text{ (L/100km)}$$

CO₂排放量 = 車輛數 * 行駛里程 * CO₂排放係數 * 修正係數

$$4 * 79.4735 * 2.26 * 0.8703 = 625.2587 \text{ (噸)}$$

4.2.3 總結

表 4.3 蟻群演算法與 Lingo 求解結果

	Lingo	蟻群演算法(ACO)	
		最佳方案	最佳距離
使用車輛	4	3	4
總行駛距離	79.4735	81.0532	78.3505
執行時間 (秒)	215	129	137
燃油消耗量	2681.0481	2050.7546	2643.1635
CO ₂ 排放量	625.2587	478.2653	616.4235

在本章案例與實證分析中，第一部分先進行蟻群演算法求解過程，第二部分進行 Lingo 套裝軟體求解過程，而第二部分先經由例題一證明了求解過程邏輯正確，例題二進行了與蟻群演算法相同為本研究主要例題求解，其結果也證明本研究所探討其一套方法論是可行的，最後彙整其兩種求解方法之結果如表 4.3 所示，使用車輛數分別為 4、3、4，總行駛距離為 79.4735、81.0532、78.3505，最後經由車輛能源耗用推估模式計算出燃油消耗量以及 CO₂ 排放量在最佳方案(4*78.3505>3*81.0532)情況下分別為 2050.7546、478.2653。

第五章 結論與建議

本研究依據文獻資料回顧建立研究基礎，建構一個逆物流符合經濟效益之數學模型，並結合綠化概念，經由兩種求解方法得出其結果，並由案例方式驗證與求解出實際數據資料做兩種方法求解品質、速率等差異比較，形成本研究一套完整方法論。經由第四章得出之結果與數據資料，在本章將整理結果與資料，彙整結論並提出未來研究方向與建議。

5.1 結論

在現今全球環保意識抬頭下，許多企業逐漸將環保這一塊作為企業營運之目標，而在物流業更是如此，不管是國內或國外，政府更設立許多規範於企業上，造成服務品質低、配送成本高等問題，除此之外，物流上傳統計算車輛路徑問題只有小部分考量其限制，而加入綠化觀點來探討問題更可讓一企業對環境盡到社會責任，又能符合其環境保護規範，以提升企業競爭力。

本研究發展一套方法論，以第二章文獻探討圖 2.2 綠色運輸層級架構為基礎，先擬定出問題限制考量，再依據車輛耗用能源推估模式，以最佳路徑、最佳車輛使用數以及最佳行駛距離為目標轉化成最佳化數學模式並進行求解，進而達成降低碳排放量、燃油消耗量，在物流系統中，合理安排車輛數和車輛路線為減少浪費、提高經濟效益的重要手段之一，以達成增進企業效益之目的，此方法論更可依決策者需求選擇有利方案。

參數測試部分，本研究發現在進行疊代次數為 1000 次情況下，求解有載重限制之 VRPSDP 數學模型最佳參數組合為： $\rho = 0.1$ 、 $\alpha=1$ 、 $\beta \in [1,3]$ 。

5.2 未來研究方向與建議

針對本研究後續研究發展，提出下列兩點以供未來對此研究領域有興趣之學者參考：

1. 可搭配地理資訊系統(geographic information system, GIS)定位，進行實際道路情況的案例測試與搭配演算法結果分析、展示。
2. 本研究根據經濟部能源局所得資料取得車輛能源推估模式，其模式較為

大略推估，其中載重與燃油消耗量、二氧化碳排放量之關係須依據實際道路情況、車齡、車種而有所變化，此部分是可再深入探討。

3. 目前多種 VRP 變化後依然為封閉性，即變化後還是一漢彌爾頓迴路，但有些情況下車輛是不需回到初始點的，稱為開放式車輛問題，可試著將 VRPSDP 改成開放式問題探討。
4. 可再以其他較新穎演算法(如：蜂群演算法、粒子群演算法)進行相同數學模型求解比較其差異。

參考文獻

- 于雷、王東(2013), 模擬並行蟻群算法的綠色物流最小油耗 VRPSDP。計算機系統應用, 22(7), 127-132。
- 王艷艷(2010)。具有同時送貨和取貨特點的單車輛配送路徑優化算法。價值工程, 29, 34。
- 王科峰、葉春明、李永林(2013), 同時送取貨車輛路徑問題算法研究綜述。計算機應用研究, 30(2), 334-340。
- 交通部運輸研究局(2005), 綠色運輸系統發展政策之探討。
- 朱經武、周偉禮(2006)。以啟發式演算法求解單一場站多車種同時收送貨之車輛途程問題。航運季刊, 15(3), 63-68。
- 米曉薇、陸陽杰(2009), 時間窗約束下桶裝水配送 VRPSDP 改進研究(碩士論文), 中國礦業大學礦業工程學院。
- 李忠憲(2011)。運用粒子群最佳化解決多場站之收送貨問題(碩士論文)。交通大學, 新竹市。
- 林大鈞、陳柏君、王傳賢(2012), 國內貨運車隊能耗特性與節能技術應用調查與分析, 中華民國運輸學會 101 年學術論文研討會, 成功大學。
- 徐嘉吟(2008)。蟻群演算法於宅配業路線最佳化之研究(碩士論文)。高雄應用科技大學, 高雄市。
- 徐麗蕊(2013), 基於 LINGO 的城市物流配送路徑優化。電子設計工程, 21(22), 52-54。
- 陸琳、譚清美(2007), 基於自感應以群算法的 VRPSDP 問題研究。中國管理科學, 15(2), 97-103。
- 殷佳林、蔣泰(2009), 基於蟻群算法求解帶硬時窗的 VRPSDP。計算機系統應用, 8, 152-155。
- 陳煜學(2010)。環境態度影響綠色運輸策略支持度之研究(碩士論文)。海洋大學, 基隆市。
- 高慧君(2011)。旅遊業綠色供應鏈管理發展指標之初探(碩士論文)。臺北護理健康大學, 臺北市。
- 莊英群(2003)。應用禁忌搜尋法於混合送收貨之車輛途程問題(碩士論文)。逢甲大學, 台中市。
- 許添本(2000), 交通未來趨勢。科學月刊, 31(8), 661-667。
- 許哲斌(2008)。在需求變動下具有軟時窗限制之同時收送貨車輛途程問題(碩士論文)。雲林科技大學, 雲林縣。
- 楊進、馬良(2009), 蜂群演算法在帶時間窗的車輛路徑問題中的應用。計算機應用研究,

26(11), 4048-4050。

經濟部能源局(2013), 我國常用排放係數【原始數據】。

取自 <http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/home/Home.aspx>

經濟部能源局(2013a), 我國燃料燃燒二氧化碳排放統計【原始數據】。

取自 <http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/home/Home.aspx>

經濟部能源局(2013b), 我國燃料燃燒二氧化碳排放統計【原始數據】。

取自 <http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/home/Home.aspx>

葉日豪(2014)。電動機車電池交換站與充電站混合設址規劃問題(碩士論文)。東海大學，台中市。

劉希芸(2013)。接駁式轉運環境下具同時收送貨之車輛途徑問題(碩士論文)。國立雲林科技大學，雲林縣。

蕭再安(2010)。環境態度影響綠色運輸策略支持度之研究(碩士論文)。台灣海洋大學，基隆市。

薛戈麗、王建平(2012)，一種基於蟻群算法的物流配送 VRP 解決方案。計算機系統應用，21(2)，200-203。

Arostegui, M. A., Kadipasaoglu, S.N. and Khumawala, B.M. (2006). An empirical comparison of Tabu Search, Simulated Annealing, and Genetic Algorithms for facilities location problems. *International Journal of Production Economics*, 103(2), 742-754.

Cirovic, G., Pamucar, D. and Bozanic, D. (2014). Green logistic vehicle routing problem: Routing light delivery vehicles in urban areas using a neuro-fuzzy model. *Expert Systems with Applications*, 41, 4245-4258.

Dekker, R. Bloemhof, J. and Nallidis, L. (2012). Operations Research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European Journal of Operational Research*, 219, 671-679.

Golden, B., Assad, A., Levy, L. and Gheysens, F. (1984). The fleet size and mix vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 11 (1), 49-66.

Garcia-Palomares, J. C., Gutierrez, J. and Latorre, M. (2012). Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: A GIS approach. *Applied Geography*, 35(1-2), 235-246.

Kumar, M., Husian, M., Upreti, N. and Gupta, D. (2010). Genetic Algorithm: review and application. *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*, 2(2), 451-454.

Lin, Canhong., Choy, K.L., Ho, G.T.S., Ng, T.W. (2014). A genetic algorithm-based optimization model for supporting green transportation operations. *Expert Systems with Applications*, 41, 3284-3296.

- Lin, Canhong., Choy, K.L., Ho, G.T.S., Chung, S.H. and Lam, H.Y. (2014). Survey of Green Vehicle Routing Problem: Past and future trends. *Expert Systems with Applications*, 41, 1118–1138.
- Min, H. (1989). The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up points. *Transportation Research Part A: General*, 23(5), 377-386.
- Mavrovouniotis, M. & Yang, S. (2013). Ant colony optimization with immigrants schemes for the dynamic travelling salesman problem with traffic factors. *Applied Soft Computing*, 13, 4023-4037.
- Marinakis, Y. & Marinaki, M. (2013). A Bumble Bees Mating Optimization algorithm for the Open Vehicle Routing Problem. *Swarm and Evolutionary Computation*, 15, 80-94.
- Yeh Wei-Chang & Chuang Mei-Chi. (2011). Using multi-objective genetic algorithm for partner selection in green supply chain problems. *Expert Systems with Applications*, 38, 4244–4253.