

國立陽明交通大學
運輸與物流管理學系
碩士論文

Department of Transportation and Logistics Management
National Yang Ming Chiao Tung University
Master Thesis

利用社會閒置資源之綠色眾包物流問題
Green crowdsourcing logistics problem with social idle
resource utilization

研究 生：王奕霏（Wang, Yi-Fei）
指導教授：水敬心（Shui, Chin-Sum）

中華民國一一二年七月
July 2023

利用社會閒置資源之綠色眾包物流問題
Green crowdsourcing logistics problem with social idle
resource utilization

研究生：王奕霏

Student : Yi-Fei Wang

指導教授：水敬心

Advisor : Chin-Sum Shui

國立陽明交通大學
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 Yang Ming Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science
in
Logistics Management

July 2023
Taiwan, Republic of China

中華民國一一二年七月

授 權 書

本授權書所授權之論文為本人在交通大學運輸與物流管理學系
碩士班，於 110 學年度所撰(博/碩)士學位論文。

論文題目：利用社會閒置資源之綠色眾包物流問題

本人具有著作財產權之論文全文資料，授權交通部運輸研究所，得重製成電子資料檔後收錄於該單位之網際網路伺服器中，並得透過網際網路之連線，不限地域時間重製發行。

同意立即公開 同意_____年後公開

授權人： 簽章

地 址：高雄市大樹區九曲里九曲路 336 號

電 話：0902-211905

中 華 民 國 1 1 2 年 0 7 月 3 1 日

國立陽明交通大學碩士學位論文審定同意書

運輸與物流管理學系 研究所 王奕霏 君

所提之論文

題目：(中文) 利用社會閒置資源之綠色眾包物流問題

(英文) Green crowdsourcing logistics problem with social
idle resource utilization

經學位考試委員會審查通過，特此證明。

學位考試委員會（簽名）

口試委員：_____ (召集人)

論文已完成修改

指導教授 _____ (簽名)

所長 _____ (簽名)

中華民國 112 年 7 月 31 日

誌謝

在交大的兩年時光中，從小碩一的懵懵懂懂到現在即將完成碩士學位，在學習和生活體驗上都取得了許多成長。儘管這段旅途中有所跌跌撞撞，但最終我即將邁向新的旅程。首先，我要衷心感謝我的父母，他們在我追求夢想和目標時給予了充分的支持，讓我也能夠無後顧之憂地勇敢追求並實現自己的理想。同時，我也要感謝我的弟弟，即使在我感到迷茫的時候，始終堅信我能夠做到，這樣的信念支持使我更有動力。

我要由衷感謝我的指導教授水敬心助理教授，讓我得以研究我感興趣的主題。這個研究啟發自我在大學時期做的一份模擬創業簡報，主要是設計一個 APP，能夠在壅擠的城市中尋找被忽略的閒置空間，使旅客能夠置放行李，輕鬆旅行而無負擔。在每週與水老師的討論中，逐漸將社會閒置資源的範圍擴大，不僅限於行李寄放，還將其應用於物流系統，成為租用式中轉點存放貨物，並利用周遭有閒置空間的群眾來協力配送貨物，完成訂單。在建構數學模型的過程中，由於希望更貼近城市物流的實際情境，所設計的模型相當複雜，在將理想建構成為數學模型的過程中遇到了許多困難。謝謝水老師在我每個徬徨的時刻給予我指引，同時願意聆聽我的想法，引導我摸索與嘗試。在研究過程中，水老師給予我很多思考的空間，並適時解答我的疑惑，引導我往適當的方向前進。當我在論文撰寫過程中遇到瑣碎的問題時，水老師都會願意與我討論，用心瞭解我的觀點，並悉心而耐心地提供許多實用的建議。除此之外，在專題研討的每個報告中，系上的老師們對於各個細節的要求、對學術專業的重視和慎重的態度讓我印象深刻，也培養了我對想法的呈現以及解決問題的能力。在口試時，謝謝黃寬丞教授與許聿廷教授對我的論文給予肯定並提供建議與回饋，讓我能夠補足論文內容的不足與盲點。

最後，我要感謝所有的朋友，總是適時地給予我建議，不論是給予溫暖和鼓勵，還是一針見血的當頭棒喝，都使我能夠跳脫因為研究瓶頸而產生的失落感。因為有你們，我的研究生活變得豐富多彩，我感到非常幸運能夠與你們一起奮鬥和共享快樂。我希望在未來的旅途中，無論遇到多少阻礙，我都能勇敢向前。

王奕霏 謹誌
國立陽明交通大學 運輸與物流管理學系
中華民國一一二年七月

利用社會閒置資源之綠色眾包物流問題

研究生：王奕霏

指導教授：水敬心 博士

國立陽明交通大學 運輸與物流管理學系 物流組

摘要

本研究提出三階梯位置路線問題(Three-echelon location routing problem, 3E-LRP)，整合租用式異質中轉點和社會閒置資源，旨在解決最後一里路的綠色物流問題。目標是取代傳統遞送方式從而降低物流營運中所造成的碳排放和燃料消耗成本，同時促進環境永續並將社會資源最大化利用。為了實現這一目標，本研究建構一個混合整數非線性規劃 (MINLP) 模型。目前文獻並未存在三階梯模型中整合碳排放和燃料消耗最小化以及租用式異質中轉點和眾包配送模式的研究，這個空白提供本研究一個有價值的研究機會。另外本研究解決了 Huang & Ardiansyah(2019)模型在眾包流量守恆相關限制式中所造成的不可行解情況，能夠確保多個節點在重疊中轉點服務範圍時不會互相影響。最後透過數據分析以 10 組數據例題作為基礎情境進行管理意涵探討，分析不同類別成本與中轉點數量組合對模型碳排和總體成本與眾包和卡車配送需求節點數量多寡的影響。力求能最接近目前城市物流系統所面臨之實際情況，評估本問題之特性與配送策略，有效權衡經濟與環境達到最佳平衡。

關鍵字：三階梯位置路線問題、租用式異質中轉點、混合整數非線性規劃、社會閒置資源活化、綠色物流問題

Green crowdsourcing logistics problem with social idle resource utilization

Student: Yi-Fei Wang

Advisor: Dr. Chin-Sum Shui

Department of Transportation and Logistics Management
National Yang Ming Chiao Tung University

Abstract

This research proposes a Three-echelon location routing problem (3E-LRP) method that integrates multi-type transfer point rentals and social idle resources to solve the green logistics problem in the last-mile delivery. The main objective is to replace the traditional delivery approach, thereby reducing carbon emissions and fuel consumption costs in logistics operations, while promoting environmental sustainability and optimizing social resources. To achieve this goal, the study develops a Mixed-Integer Nonlinear Programming (MINLP) model. Currently, there is a research gap in the literature regarding the integration of carbon emissions and fuel consumption minimization into the three-echelon model with multi-type transfer point rentals and crowdsourcing. This gap provides a valuable research opportunity. Furthermore, the study addresses the issue of infeasible solutions caused by constraints related to protecting crowdsourcing flow proposed by Huang & Ardiantsyah(2019), ensuring that multiple nodes within overlapping transfer point service areas are not interfered with.

Finally, the data analysis of ten example sets explores managerial implications, investigates the impact of cost categories and transfer points combination on carbon emissions, overall costs, and nodes requiring crowdsourcing and truck transport. The objective is to closely simulate real-world urban logistics systems evaluate delivery strategies that strike a balance between economic and environmental concerns to achieve an optimal equilibrium.

Keywords: Three-echelon location routing problem; Multi-type transfer point rental; Mixed integer nonlinear programming; Social idle resource revitalization; Green logistics problem

目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
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 研究貢獻/範圍	3
1.3 研究大綱	3
第二章 文獻回顧	5
2.1 兩階梯眾包物流(Crowdsourcing logistics and two-echelon problem)	5
2.2 綠色物流和污染路線問題(Green logistics and pollution routing problem)	6
2.3 社會資源活化(Revitalization of social resources)	8
2.3.1 高齡社區(Senior community)	8
2.3.2 共享停車位(Shared parking spaces)	9
2.4 小結	10
第三章 問題描述	11
3.1 設計物流配送系統	11
3.2 物流系統配送方法	12
3.3 本研究與 Huang & Ardiansyah(2019)模型比較	13
3.4 建構數學模型	14
3.4.1 問題假設	14
3.4.2 數學模型	15

集合	15
參數	16
決策變數	17
目標式	18
限制式	19
3.4.3 線性化限制式	26
第四章 數據實驗	30
4.1 情境生成	30
4.2 測試問題設計	31
4.3 問題特徵說明	32
4.3.1 無碳排模型比對	33
4.3.2 碳排模型比對	34
4.4 敏感度分析	37
4.4.1 不同中轉點數量組合與租借成本對模型的影響	37
4.4.2 署包成本對模型的影響	41
4.4.3 服務時間對模型的影響	42
第五章 結論	44
5.1 總結	44
5.2 未來發展	45
參考文獻	46

圖目錄

圖 1 研究架構圖	4
圖 2 比較 2E-LRP、2E-VRP、TTRP 與 3E-LRP	5
圖 3 物流配送系統示意圖	11
圖 4 回收卡車配送方法與中轉點租賃方式示意圖	13
圖 5 本研究物流系統配送方法之分解圖	13
圖 6 與 Huang & Ardiansyah(2019)物流系統配送方法之比較圖	13
圖 7 數學模型集合關聯圖	16
圖 8 眾包流量守恆限制式關聯圖	27
圖 9 總體成本比較圖(卡車行駛成本只考慮距離影響造成的油耗成本)	33
圖 10 總體成本比較圖(卡車行駛成本包含油耗及碳排成本)	34
圖 11 卡車&回收卡車旅行成本與碳排成本比較圖	34
圖 12 三種模型平均卡車與眾包服務節點比率比較圖	35
圖 13 三種模型路線比較圖	36
圖 14 各類成本對總體成本佔比圖	37
圖 15 純高齡社區、純共享停車位與整合異質中轉點比較碳排與總體成本圖	38
圖 16 固定高齡社區數量遞增 1 個共享停車位比較碳排與總體成本圖	39
圖 17 固定共享停車位數量遞增 1 個高齡社區比較碳排與總體成本圖	40
圖 18 不同中轉點成本比較碳排成本與總體成本圖	41
圖 19 不同眾包成本比較眾包總成本以及總體成本圖	42
圖 20 不同卡車服務時間比較碳排與總體成本圖	42
圖 21 不同卡車服務時間比較卡車與眾包總成本圖	43

表目錄

表 1 2015-2019 年網路購物特色日的區域銷售額	2
表 2 有燃料消耗或排放考慮的 VRP 文獻比較	7
表 3 參數表.....	32

第一章 緒論

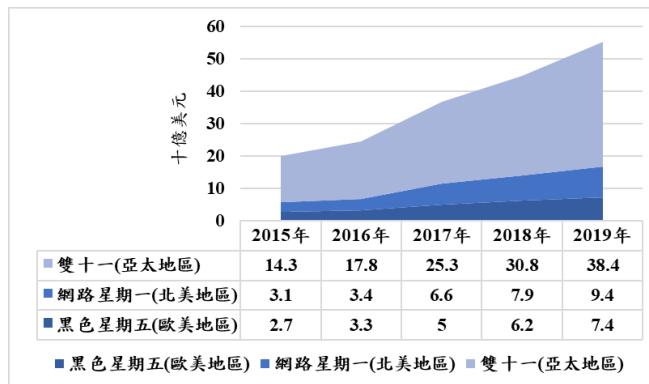
1.1 研究背景與動機

隨著資訊科技的應用技術發展成熟，線上購物逐漸成為主流的購物方式。全球電子商務(E-Commerce)在過去十年中持續增長，尤其是在亞洲地區：表1顯示在2019年的光棍節(11.11)亞太地區的銷售額為384億美元，領先了北美和歐洲大部分地區在黑色星期五和網絡星期一銷售額總額(168億美元)的兩倍以上。電子商務市場的蓬勃發展大幅推動了店家至客戶(B2C)與客戶至客戶(C2C)的配送需求：相較傳統店家至店家(B2B)的模式，B2C和C2C有更多、更為分散、配送量落差極大的客戶點，從而使最後一里路(Last Mile)物流配送成為電商配送的其中一項主要成本(Macrina等人，2017)。為節省最後一里路的配送成本，不少電商平台(包括美國的Postmates、亞馬遜，中國的阿里巴巴、京東，印度的Flipkart和歐洲的Piggy Baggy)採用眾包(Crowdsourcing)作為解決方案，透過提供少量補償吸引已經有計劃路線的普通人繞道取貨和配送包裹(Bamburra, 2015；Barr和Wohl, 2013)，用來代替傳統的宅配和快遞配送。

使用眾包的好處在於電商平台只需負擔眾包的任務成本，不須考慮該眾包的人事成本、配送運具成本、油耗成本與維修成本等(Kafle等人, 2017; Huang和Ardiansyah, 2019)，此外，Arslan等人(2019)的研究表明，與傳統配送系統相比，使用眾包的配送模式可以使卡車在系統範圍內節省高達37%的里程。而對於消費者而言，Macrina等人(2017)表示使用眾包的運費相對於傳統的宅配和快遞來說更為便宜。有關眾包配送的商業模式，Rouges和Montreuil(2014)提到B2C配送在眾包配送商業模式中佔主導地位，其配送方式是將包裹直接從中轉點通過眾包進行取貨並配送到客戶的家門口(每名眾包的配送路線取決於其處理之包裹)。而此文獻中提到的中轉點是轉運配送(Transfer Delivery)的概念，Archetti等人(2021)、Macrina等人(2017)表示轉運配送通常用於解決中長程訂單問題，傳統配送通過設置固定的中轉點，使卡車可以分段接力配送完成中長程訂單。然而，眾包利用額外的人力資源接收訂單，由於受到空間和時間的限制，其願意接受中長程距離配送訂單的機會較一般傳統物流配送者更低。如果需要眾包處理這些訂單，一個方案是設置更密集的中轉點以減少中長程距離配送，但這將帶來龐大的固定設施成本。另一個方案是聘請傳統物流配送者來處理所有被拒絕的訂單，但這種聘請的成本效益可能比僅使用傳統物流配送者更低，並且無法實現配送時間縮短和運輸成本減少的目標。因此，本研究借用社會經濟(Social Economy)的概念，將傳統固定設施的中轉點轉變為非固定式的中轉點，並且認為租賃具有閒置空間的社區與停車位可以解決設置密集中轉點所帶來的巨大固定設施成本問題。此外，對於社會經濟而言，這種轉變能夠減少閒置空間和資源的浪費，並促進社

會資源的活化，從而實現社會公益目標和永續發展。

表 1 2015-2019 年網路購物特色日的區域銷售額



資料來源: Li 等人(2020)

另外近年來新冠疫情(COVID-19)的影響使電子商務的成長更加顯著，許多商店都進行著數位化轉型，各店家之電子商務訂單增加其貨物之物流配送頻率也增加，各大電商平台(如:MOMO、LOOKFANTASTIC)甚至為了減少交貨時間，將一份訂單拆分為多個小包裹進行寄送。在 2020 年根據行政院環保署提供之各部門溫室氣體(Greenhouse Gas, GHG)排放數據顯示，自 1990 年台灣的運輸部門溫室氣體排放量約兩千萬公噸逐年上升 2019 年約四千萬公噸占國家總體排放 12.8%，在 2020 年根據交通部運輸研究所-國內運輸部門各系統溫室氣體排放量之各類運具的分別分析顯示，公路運輸占比約 96.76%是運輸部門在 2019 年整體溫室氣體排放量佔據最多的運輸系統。Halim 等人 (2017)表示到 2050 年，交通活動產生的溫室氣體排放量可能增加 60%，如果不採取額外的環保措施，全球貨運的排放量就會增加至 160%。Gan 等人 (2018)表示在城市地區，與公路運輸相關的溫室氣體排放的主要來源是私人汽車和卡車，然而卡車的出行是由城市商業活動引起的，因此電子商務平台配送模式的選擇是減少溫室氣體排放量的關鍵。

處理城市貨運的這些負面影響的方法。Anderluh 等人(2021)表示可以使用無排放的小型車輛，用於在人口稠密的城市地區來運送所需的貨物，如此一來便不會對溫室氣體排放和噪音造成太大影響，甚至可以減少擁堵，因為例如貨運自行車可以使用道路不同部分的基礎設施(例如自行車道或雙向的單向街道)。Macrina 等人 (2017)表示眾包車輛體積較小，因此使用眾包進行配送，能夠有效減少污染物排放、能源消耗、噪音和交通堵塞。因此將傳統物流轉型為部分眾包配送模式，將眾包的性質定義為在客戶附近願意接收訂單進行送貨的通勤者、行人、或者騎自行車的人，用於在人口稠密的城市地區運送貨物，可以減少公路運輸的使用率以減少物流配送對環境的影響，使物流配送更具環境永續性。然而物流配送的環

境方面研究很少，為了使物流系統對環境負責，須將溫室氣體排放量納入交通規劃，其目標除了最小化成本和交貨時間以及最大化利潤以外，應該考慮最小化總體環境影響，將這些不同的影響一起考慮得以實現永續的物流系統，但是目前大多數研究未能正確整合環境因素特別是溫室氣體排放，從交通規劃中盡量減少污染的角度出發做的並不多，其中 Bektaş & Laporte (2011)將 VRP 問題加入環境成本衍伸為 PRP 問題，由於本研究考慮因素眾多因此未一一回顧環境污染之相關文獻，若需要更詳盡的相關介紹請參考 Bektaş & Laporte (2011)。

本研究旨在填補前述研究的缺口，並從中獲得啟發。我們通過設計、建模和評估一個利用共享停車位和高齡社區作為中轉點的方案，以取代傳統的物流派遞方式，從而降低物流的碳排放，同時打造社會經濟企業 (Social Economy enterprises)，我們提出部分使用眾包進行配送的方案，實施多階段的配送流程。眾包的特性定義為願意在客戶附近接收訂單並進行送貨的通勤者、行人或騎自行車的人。這種方案適用於人口稠密的城市地區，以便有效運送貨物。此外，我們將中轉點設計為非固定式站點，以降低設施成本，並最大限度地利用閒置資源。這樣的設計不僅可以減少溫室氣體的排放量，還可以減少交通壅塞。我們的研究模型考慮了眾多因素，力求最接近城市實際情況，旨在有效權衡經濟和環境因素，實現最佳結果。

1.2 研究貢獻/範圍

本研究提出一個非線性混合整數規劃(MINLP)的數學模型整合眾多因素，主要包括：兩階梯眾包物流 (Crowdsourcing logistics and two-echelon problem)、綠色物流和污染路線問題 (Green logistics and pollution routing problem)和社會資源活化 (Revitalization of social resources)。力求能最接近目前城市物流系統所面臨之實際情況，同時實施環境永續與社會資源活化，透過數據實驗去評估利用共享停車位以及高齡社區中繼包裹進行最後一里路的多梯次配送，有效權衡經濟與環境，達到最佳平衡。

1.3 研究大綱

根據上述研究目的，本研究研擬之研究流程如圖 1 所示，針對各步驟說明如下：

1. 確立研究主題：

利用學術搜尋了解關於物流配送相關之論文探討感興趣的研究主題。

2. 確立動機與目的：

根據研究背景與動機，本研究建立一個利用共享停車位以及高齡社區中

繼包裹進行最後一里路配送以取代傳統物流派遞方式，務求減低物流之碳排放，打造社會經濟企業(Social Economy enterprises)，實施環境永續與社會資源活化。

3. 文獻探討：

本研究回顧了兩階梯眾包物流 (Crowdsourcing logistics and two-echelon problem) 、綠色物流和污染路線問題 (Green logistics and pollution routing problem)和社會資源活化 (Revitalization of social resources)三大部分，其中社會資源活化主要回顧共享停車位及高齡社區。發現目前整合以上因素之文獻尚未存在，因此就給了本研究一些研究空間。

4. 問題描述：

本研究提出一個 MINLP 的數學模型整合眾多因素，力求能最接近目前城市物流系統所面臨之實際情況，同時實施環境永續與社會資源活化。整合共享停車位和高齡社區利用眾包中繼包裹進行最後一里路的多梯次配送，有效權衡經濟與環境，達到最佳平衡。

5. 結論：

將本研究所提出之數學模型的數據進行分析並給予結論。

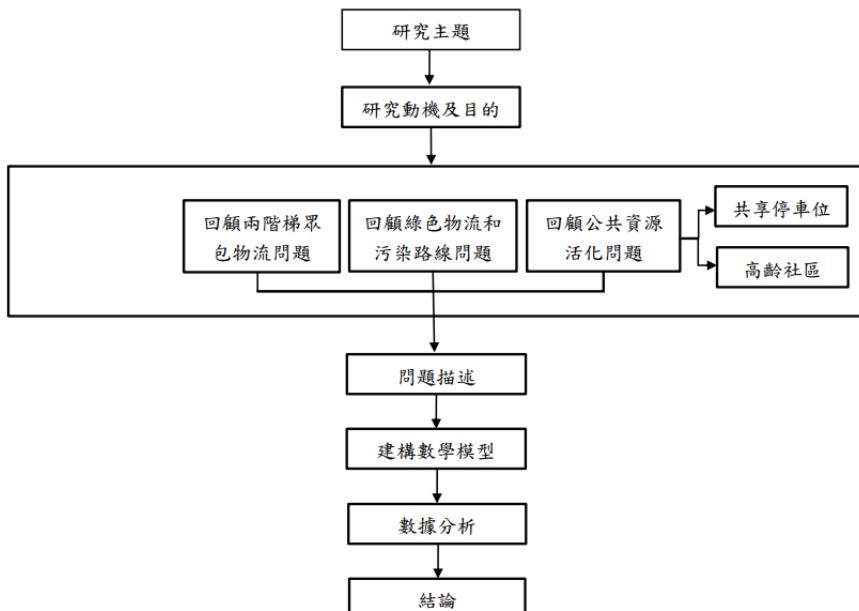


圖 1 研究架構圖

第二章 文獻回顧

本研究之問題可分為三方面進行探討：兩階梯眾包物流 (Crowdsourcing logistics and two-echelon problem)、綠色物流和污染路線問題 (Green logistics and pollution routing problem)和社會資源活化 (Revitalization of social resources)。

2.1 兩階梯眾包物流(Crowdsourcing logistics and two-echelon problem)

首先是回顧兩階梯眾包物流問題(Crowdsourcing logistics and two-echelon problem)。在配送路線規劃系統中，將配送過程分為集貨中心-中轉點-客戶的兩個階段。第一階段的路線決策（集貨中心到中轉點）會影響第二階段的路線決策（中轉點到客戶）。Cuda 等人(2015)將 2ERP 細分為兩階梯位置路線問題(Two-echelon location routing problem, 2E-LRP)、兩階梯車輛路線問題(Two-echelon vehicle routing problem, 2E-VRP)和卡車和拖車路線問題(Truck and trailer routing problem, TTRP)三種類型。Drexel 和 Schneider(2015)、Prodhon 和 Prins(2014)等人指出，2E-LRP 與 2E-VRP 的主要差異在於 2E-LRP 考慮了中轉點之後的路線決策。而 TTRP 則是指整個配送過程由純卡車完成的兩階梯配送。Cuda 等人(2015)表示，儘管 TTRP 的特性不同，但它仍然屬於兩階梯路線問題。此外，Huang 和 Ardiansyah(2019)與 Kafle 等人(2017)使用中轉點的概念並設計多階段路線問題。然而，與 Huang 和 Ardiansyah(2019)、Kafle 等人(2017)不同的是，本研究假設中轉點是利用閒置空間（例如共享停車位和高齡社區）實現的，並且每個中轉點具有單日租借成本。這與過去的研究假設所有中轉點都是自有財產的假設不同。此外，本研究還考慮異質中轉點（共享停車位和高齡社區）以及眾包配送的特點和限制。相比之下，Kafle 等人(2017)提出的部分眾包模型只考慮投標價格（眾包成本），而未考慮第二階段的路線決策。Huang 和 Ardiansyah(2019)的模型為線性混合整數規劃模型僅考慮眾包成本並未考慮中轉點成本。由於以上所設計的模型不夠全面，因此本研究提出一個 3E-LRP，包括卡車、中轉點和眾包配送，其中配送模式可進行最多兩次的中轉，並且考慮到貨櫃和貨物的存放位置和型態，因此引入回收卡車路線負責回收位於合作共享停車位的空貨櫃。

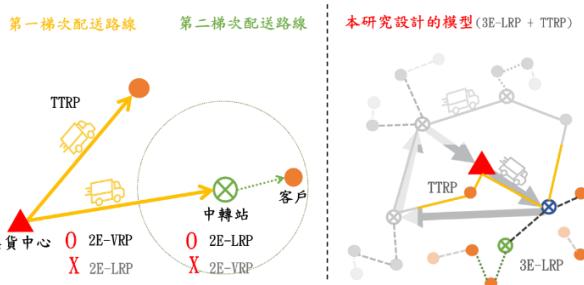


圖 2 比較 2E-LRP、2E-VRP、TTRP 與 3E-LRP

2.2 綠色物流和污染路線問題(Green logistics and pollution routing problem)

接著為了應對能源過度使用和空氣污染對生態環境的威脅，可透過路線規劃來探索環境與物流配送之間的關係。綠色車輛路線問題(Green-VRP)是車輛路線問題的一種變體，其目標是減少能源消耗。Lin 等人(2014)將 GVRP 細分為綠色車輛路線問題(Green-VRP)、污染路線問題(Pollution Routing Problem)和逆向物流中的 VRP(VRP in Reverse Logistics)三種類型。由於本研究的目標是最小化溫室氣體排放成本，因此專注於污染路線問題(Pollution Routing Problem)的研究。過去的研究如 Bektaş 和 Laporte(2011)、Demir 等人(2012)和 Xiao 等人(2012)擴展了傳統的 VRP，以最小化運輸成本為目標，同時考慮與物流配送相關的環境污染，以減少碳排放。然而，從最小化排放量的角度來看，對 VRP 進行相關研究的文獻相對較少。Bektaş 和 Laporte(2011)的研究發現，當車輛以最佳速度行駛時，其排放量最少，因此可以引導車輛走其他不太擁擠的道路，代價是選擇較長的路線。另外，Franceschetti 等人(2017)和 Androultsopoulos 和 Zografos(2017)的研究也發現，加入時間窗口限制可以減少排放量。因此，本研究引入時間窗口的概念，以最小化排放量為目標，探討旅行距離和環境影響之間的權衡。在燃料消耗或排放方面的 VRP 文獻比較中，大多數文獻都為僅考慮行駛距離和車輛載重的純卡車模型，引入眾包模式的相關文獻很少。本研究與 Anderluh 等人(2021)皆引入眾包模式，本研究與之不同之處在於在碳排與油耗成本中多考慮了載重與速度所引起的成本，另外 Anderluh 等人(2021)是固定中轉點而本研究則為租用式中轉點，因此相比之下本研究對於碳排成本可以考慮得更全面並且可以節省大量中轉點固定成本。本研究受到以上文獻的啟發，參考了 Bektaş 和 Laporte(2011)的數學模型。與 Bektaş 和 Laporte(2011)不同的是，本研究的模型是一個多梯隊模型，並且為了降低模型的複雜性，假設卡車速度固定，考慮卡車的行駛距離和載重來估算燃料消耗和排放的成本。此外，本研究還考慮了車輛容積、眾包和非固定式中轉點的因素，建立了一個更為完整的多梯隊綠色物流配送系統。

表 2 有燃料消耗或排放考慮的 VRP 文獻比較

行 駛 總 成 本	目標式				眾 包 成 本	異 質 車 輛	兩 梯 隊 路 線	三 階 梯 路 線	異 質 中 轉 點	中 轉 點						
	能 耗 與 碳 排 成 本															
	種類		距 離	載 重												
能耗	碳排															
Bektaş 和 Laporte(2011)	*		碳排	*	*	*				無						
Kramer 等人(2015)	*		碳排	*	*	*				無						
Soysal 等人(2015)	*		碳排	*	*	*				無						
Franceschetti 等人(2017)	*		碳排	*		*				無						
Androutsopoulos 和 Zografos(2017)	*		碳排	*		*				無						
Eskandarpour 等人(2019)	*		碳排	*				*		無						
Ghannadpour 和 Zarrabi(2019)	*	能耗		*	*			*		無						
Anderluh 等人(2021)	*		碳排	*			*	*	*	有						
Chen 等人(2023)	*		碳排	*	*	*				無						
本研究	*		碳排	*	*	*	*	*	*	租用						

2.3 社會資源活化(Revitalization of social resources)

本研究選擇租借高齡社區與共享停車位作為租借中轉點。隨著醫療的進步，台灣 65 歲以上人口在近幾年逐漸增加。根據 Lee 等人(2019)和 Morlett Paredes 等人(2021)的研究，老年人面臨著孤獨感的風險，原因包括身體健康惡化、失去親人和朋友以及社交孤立。因此，越來越多的老年人選擇搬入具有社交活動的社區。Jeste 和 Childers(2017)指出，高齡社區提供了與他人的距離、共享的公共區域、有計劃的社交活動、交通和其他公共活動等設施。然而，大多數高齡社區的居民是無工作的高齡者且人口密度相對較低，因此高齡社區中存在著閒置的空間和人力資源，具有利用的潛力。此外，台灣在城市發展過程中，高房地產價格帶動了都市的擴張和人口流入，但交通建設未能及時跟上都市發展的速度，導致城市地區的路邊停車位和停車場規劃明顯不足，交通問題日益嚴重。目前全台灣各縣市都存在著停車位不足的問題。然而若能充分利用建築物附設的停車空間在閒置時段釋放出來，就可以實現多方共贏的效果。本研究借鑒社會經濟概念，將傳統的固定中轉點轉變為非固定的中轉點，與 Huang & Ardiansyah(2019)使用的固定式中轉點相比，可以節省中轉點的固定設施成本。並且將社會閒置資源(例如:飯店、咖啡廳、社區和停車位等)作為中轉點，從而降低設施成本，其中本研究以租用高齡社區以及共享停車位做為中轉點，因為在大部分已開發國家中 65 歲以上人口逐漸增加並且獨居的情況居多(子女到都市工作)，因此認為應有閒置的人力資源與空間可供利用；另外租用共享停車位則根據 Cai 等人(2018)表示公有與私有停車位停車低峰時段有互補關係因此認為應有閒置空間得以利用。將社會資源做最大化利用，避免閒置空間和資源的浪費，並促進社會經濟的活化，實現社會公益和永續發展的目標。

2.3.1 高齡社區(Senior community)

根據國研院科技政策研究與資訊中心 PRIDE 指標資料庫顯示，日本是 2019 年全球 65 歲以上人口占比最高的國家(28.47%)，也是目前唯一步入「超高齡社會」的亞洲國家。根據 2018 年 1 月日本內閣府公佈的民調結果，約有 38% 的日本人希望在 65 歲之後繼續工作。此外，日本經濟新聞社在 2019 年秋季進行的輿論調查顯示，37% 的日本 18 歲以上民眾計劃工作到 70 歲以上，年齡在 60-69 歲區間者有 54% 表示打算工作到 70 歲以上。另外，目前日本超過 31 人的企業中，99.8% 已實施高齡者雇用確保措施，79.3% 的企業已導入繼續雇用制度。蘇怡文(2017)的研究指出，韓國在未來二十年內將進入高齡社會。為因應人口結構的高齡化轉變，韓國成立了各地的「高齡者人才銀行」和韓國經濟總會所屬的「高級人力資訊中心」，協助高齡者積極求職並提供職業訓練。共有 126 個機構提供職業訓練課程，內容主要針對高齡者適合的職業，包括職災預防、職業素養和安全管理等。此外，韓國還實施優先僱用高齡者的制度，政府選定了 160 種適合高齡

者的職業種類，公部門和民間部門共提供近百個名額供高齡者就業。韓國政府要求公共機關必須優先僱用高齡新進人員，並每年向勞動部提交僱用情況報告。美國勞工部根據美國老人法(Older Americans Act)編列經費實施了「老人社區服務就業計畫」(Senior Community Service Employment Program)。該計畫安排 55 歲及以上低收入者和不易就業者參與社區服務工作，旨在讓高齡者在經濟上能夠自給自足，同時減少政府的補助費用。該計畫每年提供約幾萬個打工機會，工作內容主要涵蓋社會、福利、衛生和教育服務等領域，包括警衛、保母、社區美化、行政事務、廚房打雜、清潔人員、圖書館櫃台和家庭照顧協助等。臺北市就業服務處(2020)的高齡者就業促進調查計畫調查報告指出，高齡者續留及重返職場比例增加較多的職業類別為保全/民營消防設備人員、清潔/家事/保姆和旅遊/餐飲/休閒等。考慮到配送人員的性質和工作難易度，本研究計劃將高齡社區設為中轉點，卡車和由共享停車位出發的眾包服務將貨物配送至高齡社區，而高齡社區的高齡人士也可以成為眾包，通過步行和騎自行車的方式完成最後一里路的配送。根據 Aday 和 Kehoe(2008)對三個老年社區服務就業計劃(SCSEP)中 113 名高齡人士的研究調查，無論工作時間的長短，從事 SCSEP 工作的年長員工提升了他們的尊嚴感、自我價值感以及對日常生活的控制感。

2.3.2 共享停車位(Shared parking spaces)

城市停車一直是影響城市交通發展的一大難題。Kim 等人(2015)指出，隨著車輛數量的迅速增加，車位供需矛盾日益突出。Zhang 和 Wang(2018)提到，快速增長的停車需求和商業區有限的停車位為商業區周邊的居民區提供了參與停車共享的機會。車位共享是指不同地塊的停車需求者在不同時間和空間分佈上共享停車位，以解決車位供需不平衡的問題(Chen 等人，2010)。多位學者進行了對共享停車位適用性的分析研究。Zong 等人(2010)詳細分析了停車費率、停車場類型和停車時長對居民停車選擇的影響，並建立了貝葉斯網絡模型。Litman(2016)、Xu 等人(2016)、Guo 等人(2016)、Shao 等人(2016)和 Yang 等人(2017)等文獻指出，公共建築的附屬停車場提供了大量的停車位，但這些停車場主要為公共建築的停車需求服務，導致停車位利用率較低，因此需要對這些停車場實施共享停車策略。Wang 等人(2021)也指出，共享停車方案的實施可以有效提高現有停車位資源的利用率。Cai 等人(2018)以上海為例，提出了一種網絡分級的停車位分配方法，通過具體規則確定停車場的進入和分配，發現城市中不同停車場在高峰時段和低谷時段存在互補關係，提供了共享停車位的機會。Shao 等人(2016)則設計了一個電子停車平台，讓居民和公眾用戶共享住宅停車位。白天時，住宅區存在著許多閒置的私人停車位，這些停車位可以被有效地利用，滿足附近工作人員的停車需求或其他活動的空間需求，最大限度地利用私人資源使整個社會受益。近年來，台灣共享停車位的普及率也有顯著提升。Yan 等人(2020)表示，共享停車可以有效利用供應不足的停車位，有助於緩解城市停車問題、交通擁堵、環境污染

和其他交通負外部性。因此，本研究認為將部分閒置車位租賃作為中轉點，具有減少溫室氣體排放成本的可行性。該研究將貨櫃放置在共享停車位上，以創造臨時的存放空間。對於物流業者而言，這不僅可以減少卡車運輸的距離成本，還能夠增加卡車送貨的彈性時間，從而提高效率和節省成本。

2.4 小結

這個小節本研究綜合回顧了兩階梯眾包物流(Crowdsourcing logistics and two-echelon problem)、綠色物流和污染路線問題(Green logistics and pollution routing problem)和社會資源活化(Revitalization of social resources)，以最接近城市物流系統所面臨的實際情況有效平衡經濟和環境。然而，目前整合以上因素之文獻尚未存在，為本研究提供了研究空間。本研究旨在填補此空白，透過權衡經濟和環境達到城市物流系統的最佳平衡，同時推動環境永續和社會資源的活化。本研究受到以上文獻的啟發，參考 Bektaş & Laporte(2011)的數學模型。與文獻不同的是本模型是多梯隊模型，為了降低模型複雜性，假設卡車速度固定考慮因距離、載重和速度所引起的排放成本，另外引入租用式中轉點解決中轉點成本過高的問題並且整合眾包配送來降低物流碳排放。

第三章 問題描述

3.1 設計物流配送系統

本研究旨在建立一個物流配送系統，由集散中心發佈配送任務並將相關包裹送達目的地，並整合異質中轉點以及眾包完成最後一里的配送。決策由一家擁有自有車隊的物流公司做出，他們負責將貨物(如電子商務包裹)從上游供應點運送到集散中心。本研究設計了一個物流配送系統，涵蓋了從集散中心到客戶的所有配送路線。如圖 3 顯示，卡車能夠從集散中心出發配送貨物至中轉點並且能夠繼續配送其他需求節點，在配送完成之後返回倉庫。卡車可以服務的節點包含共享停車位、高齡社區以及客戶。而未被卡車服務的節點則可透過三階梯模型的配送模式，由卡車將貨物配送至共享停車位和高齡社區再由眾包執行配送。在眾包模式中，也能夠透過中轉的概念進行接力配送，從共享停車位出發的眾包能夠將貨物配送至高齡社區暫存，再由從高齡社區出發的眾包完成最後一里路的配送，以最小化碳排及油耗的成本。本研究與異質中轉點的合作方式是，與共享停車位(按小時計費)和高齡社區(按單日結算)合作，將貨櫃或貨物運送到靠近客戶的中轉點，以減少卡車和眾包人員執行配送任務的距離。而碳排成本的計算方式是參考了 Bektas & Laporte (2011)提出的算式，但本研究考慮到多梯隊的情況，為了簡化模型，只考慮了卡車平均速率下的碳排成本，並分別考慮了卡車在每段路徑(i, j)上因載重和行駛距離產生的油耗和碳排放量。本研究通過異質中轉點以及分段接力的配送模式來安排配送路線，從而減少碳排放對城市交通環境的影響。

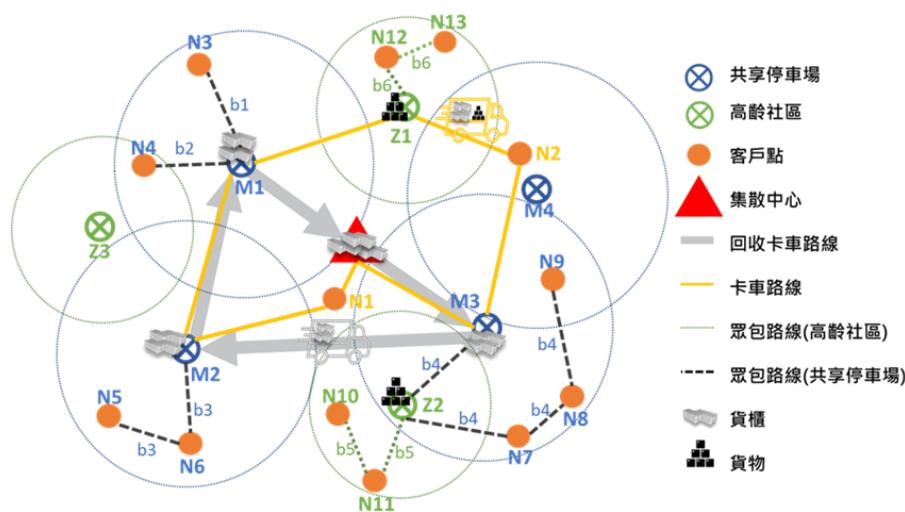


圖 3 物流配送系統示意圖

3.2 物流系統配送方法

在本系統中，眾包人員可以是通勤者、行人或騎自行車的人，他們願意在客戶附近接收訂單並進行送貨。根據圖 3 的物流配送系統示意圖，假設每天會有一個上游供應點將貨物運送到城市的集散中心。當卡車將貨物或貨櫃配送至共享停車位以及部分高齡社區和客戶後，其餘需求節點由眾包配送。本研究的眾包模式在在貨櫃與貨物送達中轉點後，眾包人員可以執行最後一里的配送任務。每位眾包人員都有自己的容量限制，能夠處理多個配送任務，配送卡車未覆蓋到的高齡社區和客戶，並在指定的時間窗口內完成最後一里的配送。眾包配送的服務範圍受到異質中轉點的貨物容量、包裹存放形式、眾包人員的特性等限制。本研究假設共享停車位和高齡社區具有不同大小的服務範圍，其中共享停車位的服務範圍較大，高齡社區的服務範圍較小。而對於異質中轉點貨物存放的位置和形式之假設如下：當卡車配送至共享停車位時以貨櫃形式存放，每個停車位的寬度為 2.5 公尺，長度為 5.5 公尺。本研究假設使用的貨櫃為 10 呎貨櫃，空貨櫃重量為 1.5 噸。在租借方式方面，本研究參考了 Chen 等人(2018)的觀察，城市中的公共停車場和住宅停車場在高峰時段和低谷時段之間存在互補關係。平日白天是公共停車場的高峰時段，而平日晚上是住宅停車場的高峰時間。因此，根據圖 4 本研究假設與公有/私人停車場合作，在非尖峰時段每天租借公有停車位(3:00-6:00)或私人停車位(11:00-14:00)三小時。至於配送至高齡社區的貨物，則根據高齡社區的大小以散裝方式存放，並與高齡社區進行單日結算的方式合作。

接下來是關於本研究模型中四種配送模式說明，如圖 5 所示。第一種是純卡車配送模式，卡車能夠從倉庫出發配送貨物至中轉點並且繼續配送其他需求節點，在配送完成之後返回倉庫。卡車可以服務的節點包含共享停車位、高齡社區以及客戶。第二種是共享停車位配送模式，卡車將貨櫃配送至共享停車位(中轉點)後，由共享停車位的眾包人員進行配送，將貨物送至高齡社區和客戶(共享停車位無法進行共享停車位之間的配送)。每天會有回收卡車將貨櫃回收至集散中心。第三種是高齡社區配送模式，該配送模式分為三個部分進行說明。第一部分是將貨物配送至高齡社區的方式，可以由卡車或共享停車位的眾包人員進行配送。第二部分是定義高齡社區在配送系統中的角色，可以作為中轉點或客戶點。第三部分是高齡社區內的眾包人員可以將貨物配送至客戶。第四種是眾包配送示意圖，本研究中的眾包人員包括共享停車位的眾包和高齡社區的眾包，總共有三種配送方式。第一種方式是共享停車位的眾包人員將貨物配送至高齡社區和客戶後無需返回中轉點，可以由虛擬點離開。第二種方式是共享停車位的眾包人員將貨物配送至高齡社區後繼續配送至客戶，再由虛擬點離開。第三種方式是共享停車位的眾包人員將貨物配送至高齡社區，然後由高齡社區的眾包人員進行最後一里的配送至客戶，最後高齡社區的眾包人員無需返回中轉點，可直接由虛擬點離開。

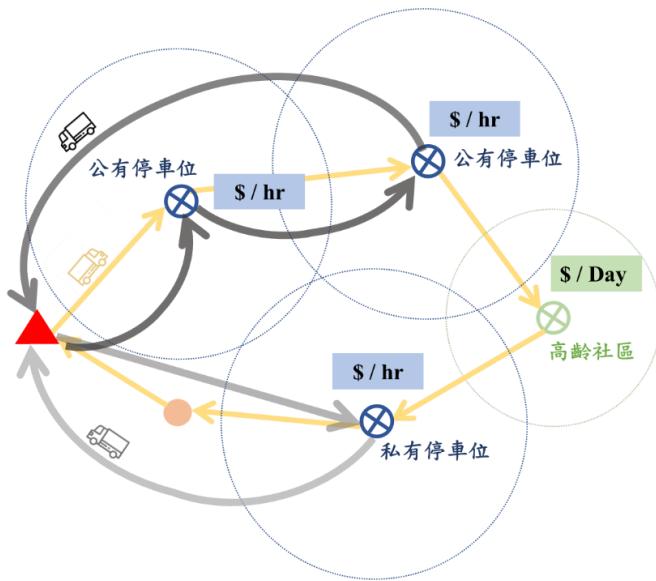


圖 4 回收卡車配送方法與中轉點租賃方式示意圖

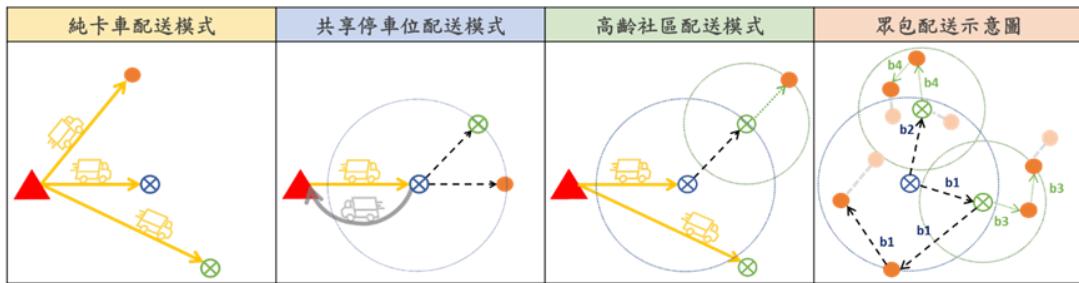


圖 5 本研究物流系統配送方法之分解圖

3.3 本研究與 Huang & Ardiansyah(2019)模型比較

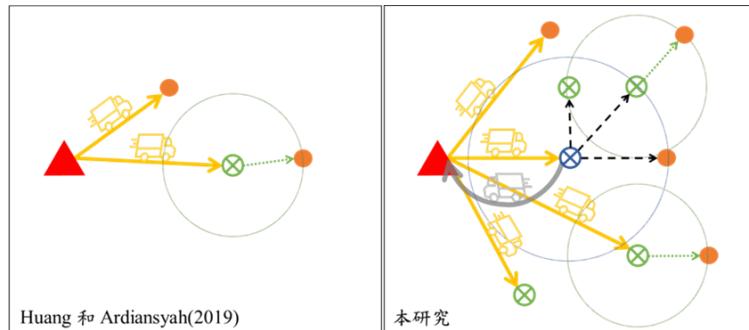


圖 6 與 Huang & Ardiansyah(2019)物流系統配送方法之比較圖

而本研究設計之模型與 Huang & Ardiansyah(2019)有幾項重大的分別，如圖 6 所示。本研究在活用閒置空間的前提下，本研究假設每個中轉點都有對應的單

日固定成本，有別於 Huang & Ardiansyah(2019)之模型以視所有中轉點為自有財產的假設。另外，本研究考慮的閒置空間(共享停車位、高齡社區)以及在該類中轉點之眾包具有不同的特性和限制。在本研究設計的模型中，卡車可以配送貨櫃至共享停車位以及部分貨物至高齡社區與客戶，再由共享停車位的眾包人員配送貨物至部份高齡社區和客戶，最後由高齡社區的眾包人員配送貨物至尚未配送的客戶，實施了三階段的接力配送。因此，本研究的模型屬於 3E-LRP 類別和 TTRP 類別的變形體。另外因為考慮了貨櫃、貨物的存放位置及型態，因而衍生了回收卡車路線，負責回收位於已洽談合作的共享停車位之空貨櫃。因此有別於 Huang & Ardiansyah(2019)的模型只考慮第二梯隊路線決策並未考慮中轉點成本的情況不同。另外 Huang & Ardiansyah(2019)的模型中，中轉點的眾包人員是同質的，對卡車的使用以路線最短的情境來處理。而本研究的模型應屬於 3E-LRP 類別與 TTRP 類別的變形體，以租賃高齡社區、共享停車位等方式，將傳統固定設置的中轉點轉型為非固定式的中轉點，並且中轉點的眾包人員具有不同的特性和限制。此外，本研究的模型在處理卡車的使用時，考慮了油耗以及碳排放最小化的情境，以達到減少閒置空間和資源浪費，並活化社會資源促進社會經濟的目的，實現永續發展。

3.4 建構數學模型

建立數學模型最小化結合卡車和眾包最後一里路的配送所產生的碳排放成本。而對於碳排成本則是參考 Bektas & Laporte (2011)提出的算式。卡車溫室排放成本，Bektas & Laporte (2011)假設車輛將以平均速度 $v = v_{ij}$ ，單位為公尺/秒，同時車輛行程中所有參數，包含距離為 d_{ij} 單位為公尺，道路角度 $\theta = \theta_{ij} = 0^\circ$ 的每段路徑 (i, j) 上行駛，承載總負載 $M = w + f_{ij}$ ，其中 w 為空車重量， f_{ij} 是車輛在此每段路徑上承載的載重；在此情況下，每段路徑之碳排放 P_{ij} 可以近似為： $P_{ij} \approx \alpha_{ij}(w + f_{ij})d_{ij} + \beta v_{ij}^2 d_{ij}$ ，其中每段路徑的特定常數為 $\alpha_{ij} = a + g \sin \theta_{ij} + g C_r \cos \theta_{ij}$ ，卡車特定常數為 $\beta = 0.5 C_d A \rho$ ， a 為加速度 0 m/s^2 ， g 為重力常數 9.81 m/s^2 ， C_r 為滾動阻力係數 0.01 ， C_d 為阻力係數 0.7 ， A 為車輛正面面積 5 m^2 ， ρ 為空氣密度 1.2041 kg/m^3 (20°C)。由於本研究的卡車碳排成本僅考慮卡車平均速率，每段路徑之碳排放 P_{ij} 在本研究簡化為： $P_{ij} \approx \alpha_{ij}(W^K + g_{ij}^k)T_{ij}^k + \beta v^K T_{ij}^k$ 去估算卡車的排放成本，其中 T_{ij}^k 為卡車的行駛距離與卡車行車速率求解出卡車的旅行時間成本， v^K 卡車平均速率， g_{ij}^k 為累積載重的決策變數， W^K 為空車重量。

3.4.1 問題假設

假設 1 每個客戶只會被配送一次，而該次配送可以由卡車或眾包配送。

假設 2 當卡車配送貨物到共享停車位，回收卡車必定會到共享停車位回收貨櫃。

假設 3 每台卡車與回收卡車最多只能離開一次倉庫。

假設 4 至少有一台卡車被使用。

假設 5 所有眾包為同質性，包括：能從任何地點出發、任何地點結束，擁有相同的服務時間窗、容量和行駛速度。

假設 6 不一定所有眾包都被使用：使用的眾包必需從一個中轉點出發，能夠配送多個客戶，並且在完成配送後由虛擬點離開；未使用的眾包不會產生任何路線。

假設 7 被選中的中轉點必定有足夠的眾包為節點提供服務。

假設 8 在共享停車位的眾包只有當卡車到達後，才會進行配送貨物至服務節點；而在高齡社區的眾包只有當卡車或共享停車位的眾包到達時，才會進行配送貨物至服務節點。

假設 9 卡車能夠從倉庫出發配送貨物至中轉點並且能夠繼續配送其他需求節點，在配送完成之後返回倉庫。

3.4.2 數學模型

本研究提出了一個 TTRP+3E-LRP 的模型。卡車能夠從倉庫出發配送貨物至中轉點(共享停車位和高齡社區)並且能夠繼續配送其他需求節點(TTRP)，在配送完成之後返回倉庫。另外當卡車將貨櫃送至中轉點(共享停車位和高齡社區)完成第一次中轉之後，在眾包模式中能夠再進行第二次中轉(3E-LRP)，由共享停車位出發的眾包將貨物配送至高齡社區暫存，再由從高齡社區出發的眾包完成最後一里路的配送，以最小化碳排及油耗的成本。其中當卡車配送貨物到共享停車位，回收卡車必定會到共享停車位回收貨櫃。另外在本模型中眾包流量守恆的相關限制式為非線性限制式，目的是確保重疊中轉點可服務的節點不一定會被服務範圍內存在該節點的中轉點指派，使節點在多個中轉點服務範圍時不會互相影響。

● 集合

N 客戶集合

M 共享停車位集合

Z 高齡社區集合

N^A 客戶+共享停車位+高齡社區+集散中心

N^P 客戶+共享停車位+高齡社區

N^F 客戶+高齡社區

N^V	共享停車位+集散中心
N_z	可由高齡社區 z 訪問的客戶 , $\forall z \in Z$
N_m	可由共享停車位 m 訪問的客戶+高齡社區 , $\forall m \in M$
B	眾包集合
K	車輛集合
V	回收車輛集合
$ R $	人工節點(虛擬點)

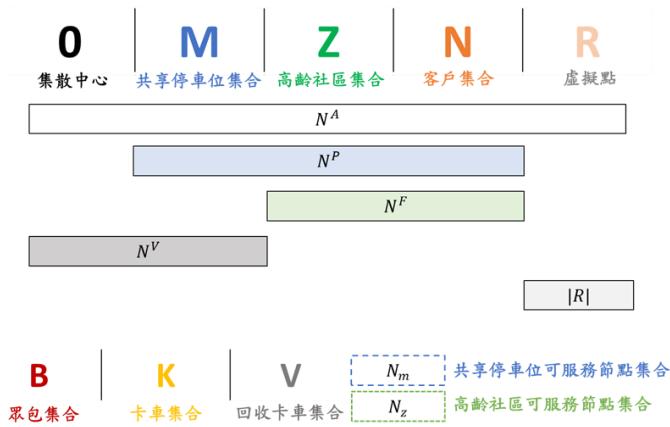


圖 7 數學模型集合關聯圖

● 參數

T_{ij}^k	車輛 k 從節點 i 走到節點 j 的旅行距離	單位:公里
, $\forall i, j \in N^A$		
T_{ij}^b	眾包 b 從節點 i 走到節點 j 的旅行距離	單位:公里
, $\forall i, j \in N^F$		
$T_{i, R }^b$	眾包 b 從節點 i 走到人工節點 $ R $ 的旅行距離	單位:公里
, $(T_{i, R }^b = 0)$		
G_{i0}	節點 i 需求(載重), $\forall i \in N^A$	單位:噸
rG_{i0}	節點 i 需求(載重) , $\forall i \in N^V$	單位:噸
G_{i1}	節點 i 需求(容積) , $\forall i \in N^A$	單位:體積噸(CBM)
rG_{i1}	節點 i 需求(容積) , $\forall i \in N^V$	單位:體積噸(CBM)

v^K	卡車與回收卡車平均速率	單位:公里/小時
v^B	眾包平均速率	單位:公里/小時
G^K	卡車最大載重	單位:噸
G^V	回收卡車最大載重	單位:噸
G^B	眾包最大載重	單位:噸
Q^K	卡車最大容積	單位:體積噸(CBM)
Q^V	回收卡車最大容積	單位:體積噸(CBM)
Q^B	眾包最大容積	單位:體積噸(CBM)
W^C	空貨櫃重量	單位:噸
W^K	空卡車重量	單位:噸
W^V	空回收卡車重量	單位:噸
C_m	共享停車位 m 的租借成本	單位:英鎊
C_z	高齡社區 z 的租借成本	單位:英鎊
C^R	眾包固定成本	單位:英鎊/小時
C^O	眾包可變成本	單位:英鎊/小時
α_{ij}	兩節點間的特定常數	單位:公里/ 小時^2
β	卡車及回收卡車特定常數	單位:噸/公里
e^K	卡車碳排成本	單位:英鎊/公里
cf^K	卡車燃料成本	單位:英鎊/公里
e^V	回收卡車碳排成本	單位:英鎊/公里
cf^V	回收卡車燃料成本	單位:英鎊/公里
L_{max}	卡車及回收卡車的最高服務時長	單位:小時
E_i	每個節點 i 開始服務時間 , $\forall i \in N^P$	單位:小時
L_i	每個節點 i 結束服務時間 , $\forall i \in N^P$	單位:小時
U	一個很大的數	

● 決策變數

- x_{ij}^k 為二元變數，車輛 k 從節點 i 走至節點 j , $\forall k \in K, i, j \in N^A$
- rx_{ij}^k 為二元變數，回收車輛 k 從節點 i 走至節點 j , $\forall k \in K, i, j \in N^V$

a_i^k	為連續變數，車輛 k 在節點 i 累積行駛時間, $\forall k \in K, i \in N^A$
h_i^b	為連續變數，眾包 b 在節點 i 累積行駛時間, $\forall b \in B, i \in N^P$
g_{ij}^k	為連續變數，車輛 k 從節點 i 至節點 j 累積載重, $\forall k \in K, i, j \in N^A$
rg_{ij}^k	為連續變數，回收車輛 k 從節點 i 至節點 j 累積載重, $\forall k \in V, i, j \in N^V$
o_{ij}^k	為連續變數，共享停車位的眾包 b 從節點 i 至節點 j 累積載重, $\forall k \in K, i, j \in N^F$
zo_{ij}^k	為連續變數，高齡社區的眾包 b 從節點 i 至節點 j 累積載重, $\forall k \in K, i, j \in N^F$
Y_{mi}^b	為二元變數，在共享停車位 m 的眾包 b ，為在其服務範圍內的高齡社區和客戶 i 提供服務, $\forall b \in B, m \in M, i \in N_m$
D_{zi}^b	為二元變數，在高齡社區 z 的眾包 b ，為在其服務範圍內的客戶 i 提供服務, $\forall b \in B, z \in Z, i \in N$
y_{ij}^b	為二元變數，共享停車位的眾包 b 從節點 i 至 j , $\forall b \in B, i, j \in N^A$
d_{ij}^b	為二元變數，高齡社區的眾包 b 從節點 i 至 j , $\forall b \in B, i, j \in N^F$
w_m^b	為二元變數，表示有眾包 b 的共享停車位 m 是否被使用, $\forall b \in B, m \in M$
f_z^b	為二元變數，表示高齡社區的眾包 b 到達高齡社區 z 是否被使用, $\forall b \in B, z \in Z$

● 目標式

本模型的目標式最小化四個成本項目的總和，包括(一)卡車行駛以及溫室排放成本、(二)中轉點租借成本、和(三)眾包固定成本與可變成本。目標式可以寫成方程式(1) ，

$$\min O = H_1 + H_2 + H_3 \quad (1)$$

當中方程(2)計算卡車行駛成本 H_1 :

$$H_1 = (e^K + cf^K) \sum_{i \in N^A} \sum_{j \in N^A} \sum_{k \in K} (\alpha_{ij}(W^K T_{ij}^k x_{ij}^k + g_{ij}^k T_{ij}^k) + \beta(v^K)^2 x_{ij}^k T_{ij}^k) \\ + (e^V + cf^V) \sum_{i \in N^V} \sum_{j \in N^V} \sum_{k \in V} (\alpha_{ij}(W^V T_{ij}^k r x_{ij}^k + rg_{ij}^k T_{ij}^k) + \beta(v^K)^2 r x_{ij}^k T_{ij}^k) \quad (2)$$

在方程(2)皆參考 Bektas & Laporte (2011)的算式及公式。而與 Bektaş & Laporte (2011)不同的是本研究為多梯隊模型並且為了降低模型複雜度，因此本研究的卡車碳排成本僅考慮卡車平均速率，並且分別考慮卡車在每段路徑 (i, j) 上的行駛距離以及累積載重，該每段路徑碳排放 P_{ij} 在本研究簡化為： $P_{ij} \approx \alpha_{ij}(W^K + g_{ij}^k)T_{ij}^k + \beta v^K T_{ij}^k$ 並拆分成方程(2)。第一項和第二項分別計算所有卡車和所有回收卡車因行駛距離所產生的成本；第三項和第四項分別計算所有卡車和所有回收

卡車因累積載重所產生的成本；第五項和第六項分別計算所有卡車和所有回收卡車因速度所產生的成本；

方程(3) 為中轉點的租借成本 H_2 ，包括了共享停車位和高齡社區的租用：

$$H_2 = \sum_{m \in M} \sum_{b \in B} C_m w_m^b + \sum_{z \in Z} \sum_{b \in B} C_z f_z^b \quad (3)$$

方程(4) 為眾包成本 H_3 ，當中參考 Huang & Ardiansyah(2019)所設計之眾包配送模式，把成本分為固定成本與可變成本。當中首兩項對應為從共享停車位及從高齡社區出發之聘用成本，意即無論處理多少訂單也是一樣的基本工資；後兩項對應為從共享停車位及從高齡社區出發之可變成本，與旅行距離掛勾。

$$\begin{aligned} H_3 = & \sum_{m \in M} \sum_{b \in B} C^R w_m^b + \sum_{z \in Z} \sum_{b \in B} C^R f_z^b \\ & + \sum_{i \in N^P} \sum_{j \in N^F} \sum_{b \in B} C^O T_{ij}^b y_{ij}^b + \sum_{i \in N^F} \sum_{j \in N} \sum_{b \in B} C^O T_{ij}^b d_{ij}^b \end{aligned} \quad (4)$$

● 限制式

➤ 回收卡車和卡車限制式

$$\sum_{j \in N^A} \sum_{k \in K} x_{ij}^k \leq 1 \quad \forall i \in N^V: G_{i,0} = 0 \quad (2-1)$$

$$\sum_{j \in N^A} \sum_{k \in K} x_{ij}^k + \sum_{b \in B} \sum_{m \in M} Y_{mi}^b \leq 1 \quad \forall i \in N: G_{i,0} = 0 \quad (2-2)$$

$$\sum_{j \in N^A} \sum_{k \in K} x_{ij}^k + \sum_{b \in B} \sum_{m \in M} Y_{mi}^b + \sum_{b \in B} \sum_{z \in Z} D_{zi}^b = 1 \quad \forall i \in N^P: G_{i,0} \neq 0 \quad (2-3)$$

限制式(2-1) - (2-3)表示每輛卡車指派相關限制。限制式(2-1) 表示當一個節點是集散中心或共享停車位，且其需求為零時，該節點有可能被卡車配送。這意味著這些節點可以作為卡車的配送目的地。同樣地，限制式(2-2) 表示當一個節點是高齡社區且其需求為零時，該節點可能會被卡車和共享停車位的眾包服務配送。這意味著這些節點可以由卡車或共享停車位的眾包服務選擇作為配送目的地。最後，限制式(2-3) 表示當一個節點是客戶時，該節點一定會被卡車、共享停車位的眾包服務或高齡社區的眾包服務選擇作為配送目的地。這保證了所有客戶的需求都會得到滿足，並由相應的配送服務來處理。

$$\sum_{j \in N^A} x_{mj}^k = \sum_{i \in N^V} r x_{mi}^k \quad \forall k \in V, m \in M \quad (2-4)$$

$$\sum_{i \in N^A} x_{il}^k - \sum_{j \in N^A} x_{lj}^k = 0 \quad \forall l \in N^A, k \in K \quad (2-5)$$

$$\sum_{i \in N^V} rx_{il}^k - \sum_{j \in N^V} rx_{lj}^k = 0 \quad \forall l \in M, k \in V \quad (2-6)$$

$$\sum_{j \in N^V} rx_{0j}^k \leq 1 \quad \forall k \in V \quad (2-7)$$

$$\sum_{j \in N^V} rx_{0j}^k = \sum_{i \in N^V} rx_{i0}^k \quad \forall k \in V \quad (2-8)$$

$$\sum_{j \in N^P} x_{0j}^k \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (2-9)$$

$$\sum_{j \in N^P} x_{0j}^k = \sum_{i \in N^P} x_{i0}^k \quad \forall k \in K \quad (2-10)$$

限制式(2-4) - (2-10)表示每輛卡車與回收卡車路線相關限制。限制式(2-4) 確保被卡車到訪的共享停車位也會被回收卡車到訪。這樣可以確保共享停車位在需要回收時得到及時處理。同樣地，限制式(2-5) 和 (2-6) 確保卡車與回收卡車到訪站點時的流量守恆。這意味著從集散中心出發的卡車和回收卡車到達各自的目的地站點時，其流量必須保持平衡。此外限制式(2-7) 和 (2-9) 防止卡車和回收卡車多次離開倉庫，以確保配送和回收過程的效率和節約成本。這些限制式確保了卡車和回收卡車在同一倉庫內只能離開一次。最後，限制式(2-8) 和 (2-10) 確保卡車和回收卡車從集散中心出發的次數和回到集散中心的次數相等。

$$a_j^k \geq a_i^k + T_{ij}^k + s_i + (x_{ij}^k - 1)U \quad \forall k \in K, i \in N^A, j \in N^P \quad (2-11)$$

$$a_j^k \geq a_i^k + T_{ij}^k + s_i + (rx_{ij}^k - 1)U \quad \forall k \in V, j \in M, i \in N^V \quad (2-12)$$

$$a_i^k + T_{i0}^k \leq L_{max} \quad \forall k \in K, i \in N^P \quad (2-13)$$

$$E_i \leq a_i^k \leq L_i \quad \forall k \in K, i \in N^P \quad (2-14)$$

限制式(2-11) - (2-14) 處理每輛卡車與回收卡車的行程時間。限制式(2-11) 和 (2-12)用於確定卡車與回收卡車到達各節點時的累積行程時間。此外限制式(2-13) 確保卡車和回收卡車的行程時間不超過最長服務時間。最後限制式(2-14) 是卡車與回收卡車到達各節點時的時間窗限制。這些時間窗限制指定了卡車和回收卡車到達各節點的時間範圍，以確保在指定的時間內完成配送和回收任務。這樣可以有效地協調各個節點之間的行程時間，以達到最佳的路線規劃和時間利用效率。

$$g_{i0}^k = 0 \quad \forall k \in K, i \in N^A \quad (2-15)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{k \in K} \sum_{j \in N^A} (g_{ji}^k - g_{ij}^k) + \sum_{b \in B} \sum_{j \in N^P} (o_{ji}^b - o_{ij}^b) \\ & + \sum_{b \in B} \sum_{j \in N^F} (zo_{ji}^b - zo_{ij}^b) = G_{i0} \end{aligned} \quad \forall i \in N^A \quad (2-16)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in N^V} rg_{ji}^k - \sum_{k \in K} \sum_{i \in N^V} rg_{ij}^k = G_{j0} \quad \forall k \in V, j \in M \quad (2-17)$$

$$G_{j0} x_{ij}^k \leq g_{ij}^k \leq (G^K - G_{i0}) x_{ij}^k \quad \forall i, j \in N^A, k \in K \quad (2-18)$$

$$rG_{j0} rx_{ij}^k \leq rg_{ij}^k \leq (G^K - rG_{i0}) rx_{ij}^k \quad \forall i, j \in N^V, k \in V \quad (2-19)$$

$$\sum_{j \in N^P} G_{i,1} x_{ij}^k \leq Q^K \quad \forall k \in K, i \in N^A \quad (2-20)$$

$$\sum_{j \in N} rG_{i,1} rx_{ij}^k \leq Q^K \quad \forall k \in V, i \in N^V \quad (2-21)$$

限制式(2-15)-(2-21)是容量相關限制。首先，限制式(2-15) 規定卡車返回倉庫時必須是空車，即不攜帶任何貨物返回。這確保了在回程時不會有未處理的貨物殘留在卡車上。接下來，限制式(2-16)、(2-17) 確定了每個節點的累積負載限制。其中，卡車與回收卡車的總負載限制是根據流量計算的，卡車的負載限制是遞減計算，而回收卡車的負載限制是累加計算。同樣地限制式(2-18)、(2-19) 確保了卡車和回收卡車的總負載限制不超過其最大載重能力。最後限制式(2-20)、(2-21) 確保卡車和回收卡車到達各個節點時的累積容積不超過其最大容積限制。

➤ 共享停車位和高齡社區的眾包限制式

$$\sum_{i \in N_m} \sum_{b \in B} Y_{mi}^b \leq \sum_{j \in N^A} \sum_{k \in K} x_{jm}^k U \quad \forall m \in M \quad (2-22)$$

$$\sum_{i \in N_z} \sum_{b \in B} D_{zi}^b \leq \left(\sum_{j \in N^A} \sum_{k \in K} x_{jz}^k + \sum_{m \in M} \sum_{b \in B} Y_{mz}^b \right) U \quad \forall z \in Z \quad (2-23)$$

$$\sum_{m \in M} (Y_{mi}^b + Y_{mj}^b) \geq 2y_{ij}^b \quad \forall b \in B, \forall i, j \in N^P: i \neq j \quad (2-24)$$

$$\sum_{z \in Z} (D_{zi}^b + D_{zj}^b) \geq 2d_{ij}^b \quad \forall b \in B, i, j \in N^F, i \neq j \quad (2-25)$$

限制式(2-22)-(2-25)表示眾包指派相關限制。首先，根據限制式(2-22) 和 (2-23)，如果一個客戶被眾包給某個共享停車位的眾包，那麼卡車一定會配送貨物到該共

享停車位。同樣地，如果一個客戶被眾包給某個高齡社區的眾包，則卡車或共享停車位的眾包一定會配送貨物到該高齡社區。這些限制式確保了客戶需求的配送得到滿足，並確保了眾包服務的適當應用。接下來，限制式(2-24) 和 (2-25) 限制了眾包路線的決策變數(即 y_{ij}^b 和 d_{ij}^b)的使用。只有在兩個客戶都被指派時，才能進行配送。

$$\sum_{i \in N^A} y_{i,|R|}^b \leq 1 \quad \forall b \in B \quad (2-26)$$

$$\sum_{i \in N^A} d_{i,|R|}^b \leq 1 \quad \forall b \in B \quad (2-27)$$

$$\sum_{i \in N^F} Y_{mi}^b \leq M w_m^b \quad \forall b \in B, m \in M \quad (2-28)$$

$$\sum_{i \in N} D_{zi}^b \leq Z f_z^b \quad \forall b \in B, z \in Z \quad (2-29)$$

$$\sum_{j \in N^P} y_{mj}^b \leq w_m^b \quad \forall b \in B, m \in M \quad (2-30)$$

$$\sum_{j \in N^F} d_{zj}^b \leq f_z^b \quad \forall b \in B, z \in Z \quad (2-31)$$

$$\sum_{m \in M} w_m^b \leq 1 \quad \forall b \in B \quad (2-32)$$

$$\sum_{z \in Z} f_z^b \leq 1 \quad \forall b \in B \quad (2-33)$$

$$\sum_{i \in N_m} \sum_{b \in B} y_{mi}^b \leq \sum_{j \in N^A} \sum_{k \in K} X_{jm}^k U \quad \forall m \in M \quad (2-34)$$

$$\sum_{i \in N_z} \sum_{b \in B} d_{zi}^b \leq \left(\sum_{j \in N^A} \sum_{k \in K} x_{jz}^k + \sum_{j \in N_m} \sum_{b \in B} y_{jz}^b \right) U \quad \forall z \in Z \quad (2-35)$$

限制式(2-26) - (2-45)表示眾包路線相關限制。限制式(2-26)、(2-27) 確保每個眾包只能在配送過程中經過虛擬點一次。同樣地限制式(2-28)、(2-29) 確保每個眾包最多在一個停車場或高齡社區出發。而限制式(2-30)、(2-31) 確保一個眾包最多造訪一個共享停車位和高齡社區。此外限制式(2-32)、(2-33) 確保一個眾包最多造訪一個共享停車位。最後限制式(2-34)、(2-35) 規定了共享停車位的眾包和高齡社區的眾包在配送貨物至服務節點時的條件。只有當卡車到達時，共享停車位的眾包才會進行配送；而在高齡社區的眾包則是當卡車或共享停車位的眾包到達時，才會進行配送。

$$\left(\sum_{j \in N_m \cup \{m\}} y_{ji}^b - Y_{mi}^b \right) w_m^b = 0 \quad \forall m \in M, i \in N_m, b \in B \quad (2-36)$$

$$\left(\sum_{j \in N_z \cup \{z\}} d_{ji}^b - D_{zi}^b \right) f_z^b = 0 \quad \forall z \in Z, i \in N_z, b \in B \quad (2-37)$$

$$\left(\sum_{j \in N_m \cup \{R\}} y_{ij}^b - Y_{mi}^b \right) w_m^b = 0 \quad \forall m \in M, b \in B, i \in N_m \quad (2-38)$$

$$\left(\sum_{j \in N_z \cup \{R\}} d_{ij}^b - D_{zi}^b \right) f_z^b = 0 \quad \forall z \in Z, b \in B, i \in N_z \quad (2-39)$$

限制式(2-36) - (2-39)皆為眾包路線流量守恆的非線性限制式。在 Huang & Ardiansyah(2019)的模型裡對於眾包流量守恆的限制，僅能使中轉點的服務範圍並沒有重複客戶的情況下運行，因此在本研究數學模型將優化此問題，通過引入限制式(2-36)-(2-39)解決中轉點服務範圍重疊區域重複指派客戶的問題並且確保眾包路線連通。限制式(2-36)、(2-37)確保了眾包流量的合理分配，避免中轉點服務範圍重疊區域內客戶被重複指派的問題。以限制式(2-36)說明，從節點 j 到節點 i 的流量等於從共享停車場 m 到服務節點 i 的流量(即 $\sum_{j \in N_m \cup \{m\}} y_{ji}^b = Y_{mi}^b$)時，則被 y_{ij}^b 服務的節點 i 都需被共享停車場 m 指派(即 $Y_{mi}^b = 1$)且眾包 b 也會被分配至共享停車場 m 進行配送服務(即 $w_m^b = 1$)。另外限制式(2-36)能夠確保當某些客戶點是多個共享停車場的服務範圍時， $\sum_{j \in N_m \cup \{m\}} y_{ji}^b$ 的值不會影響其他限制式。舉例來說，假設 i 和 j 皆為兩個共享停車場 m 和 m' 的服務範圍，並且眾包 b 在 m 出發及依次服務 i 和 j ，亦即 $i, j \in N_m$ 、 $i, j \in N_{m'}$ ，並 $w_m^b = Y_{mi}^b = Y_{m'i}^b = 1$ 。對於 m' 而言，由於 $i, j \in N_{m'}$ ，因此當節點 i 已經被指派給共享停車場 m' 進行服務，那麼節點 i 就不會被從共享停車場 m 服務，則 $\sum_{j \in N_m \cup \{m\}} y_{ji}^b = w_m^b = 0$ 。而限制式 (2-38)、(2-39)確保眾包的路徑連通性和節點的完全配送。以限制式(2-38)來說明，在共享停車位 m 的眾包 b 中，提供服務給該停車位的服務範圍內的節點 l 只能被該共享停車位 m 的眾包 b 服務一次，直到分配給共享停車位 m 的眾包 b 的節點 l 都配送完成。

$$y_{m,|R|}^b + \sum_{i \in N_m} y_{i,|R|}^b = w_m^b \quad \forall b \in B, m \in M \quad (2-40)$$

$$d_{z,|R|}^b + \sum_{i \in N_z} d_{i,|R|}^b = f_z^b \quad \forall b \in B, z \in Z \quad (2-41)$$

限制式(2-40)-(2-41)完成配送之後眾包直接離開相關限制。限制式(2-40)、(2-41)

確保每個眾包的配送路線只能從一個中轉點出發，並在配送完成後只能由虛擬點離開一次。這樣的限制確保了配送系統的連通性和順利運行。

$$h_m^b \geq a_m^k + (w_m^b - 1)U \quad \forall m \in M, b \in B, k \in K \quad (2-42)$$

$$h_z^b \geq a_z^k + (f_z^b - 1)U \quad \forall z \in Z, b \in B, k \in K \quad (2-43)$$

$$h_j^b \geq h_i^b + ((y_{ij}^b + d_{ij}^b) - 1)U + T_{ij}^b \quad \forall b \in B, i, j \in N_m \cup \{M\} \quad (2-44)$$

$$E_i \leq h_i^b \leq L_i \quad \forall b \in B, i \in N^F \quad (2-45)$$

限制式 (2-42) - (2-45) 是行程時間相關限制。限制式(2-42)、(2-43) 共享停車位 m 的眾包必須在卡車抵達並完成貨物卸貨後才能開始服務，而高齡社區 z 的眾包必須在卡車或共享停車位的眾包抵達並完成貨物卸貨後才能開始服務。確保眾包在正確的時間點進行服務以滿足客戶需求。限制式(2-44) 確定了眾包在服務節點的累積旅行時間。限制式(2-45) 則是對眾包到達服務節點的時間窗進行限制。這些時間窗限制確保了眾包的到達時間在指定時間範圍內。

$$\sum_{j \in N^P} o_{ji}^b = 0 \quad \forall i \in M \quad (2-46)$$

$$\sum_{j \in N^P} o_{ij}^b = \sum_{b \in B} \sum_{lm \in N_m} \left(G_{lm,0} Y_{i,lm}^b + \sum_{lz \in N_z} G_{lz,0} D_{lm,lz}^b \right) \quad \forall i \in M \quad (2-47)$$

$$\sum_{j \in N^F \cup Z} z o_{ji}^b = 0 \quad \forall i \in Z \quad (2-48)$$

$$\sum_{j \in N^F \cup Z} z o_{ij}^b = \sum_{b \in B} \sum_{lz \in N_z} G_{lz,0} D_{i,lz}^b \quad \forall i \in Z \quad (2-49)$$

$$(G^B - G_{i0}) y_{ij}^b \geq o_{ij}^b \geq G_{j0} y_{ij}^b \quad \forall i, j \in N^P, b \in B \quad (2-50)$$

$$(G^B - G_{i0}) d_{ij}^b \geq z o_{ij}^b \geq G_{j0} d_{ij}^b \quad \forall i, j \in N^F, b \in B \quad (2-51)$$

$$\sum_{i \in N_m} G_{i,1} Y_{mi}^b \leq Q^B w_m^b \quad \forall b \in B, m \in M \quad (2-52)$$

$$\sum_{i \in N_z} G_{i,1} D_{zi}^b \leq Q^B f_z^b \quad \forall b \in B, z \in Z \quad (2-53)$$

限制式(2-46) - (2-53) 是容量相關限制。限制式(2-46)-(2-49) 確保共享停車位和高

齡社區的載重累積。其中以共享停車位的限制式(2-46)、(2-47)來說明，共享停車位的載重累積若有指派高齡社區須加上被指派高齡社區所造成的載重累積。亦即若高齡社區 Z_6 有被共享停車位 M_1 指派，則高齡社區 Z_6 配送至客戶 N_{19} 的累積載重會加入到共享停車位 M_1 的累積載重；限制式(2-50)、(2-51) 確保了共享停車位和高齡社區的眾包在配送貨物到達服務節點時的累積載重不超過最大載重限制。限制式(2-52)、(2-53) 確保了共享停車位和高齡社區的眾包在配送貨物到達服務節點時的累積容積小於最大容積限制。

$$Y_{mi}^b = 0 \quad \forall b \in B, m \in M \quad (2-54)$$

$$, i \in N^F \setminus N_m$$

$$D_{zi}^b = 0 \quad \forall b \in B, z \in Z, i \in N \setminus N_z \quad (2-55)$$

$$y_{ij}^b = 0 \quad \forall b \in B, i, j \in M \quad (2-56)$$

$$d_{ij}^b = 0 \quad \forall b \in B, i, j \in Z \quad (2-57)$$

$$y_{ij}^b = 0 \quad \forall b \in B, i \in N^A \cup \{R\} \quad (2-58)$$

$$, j \in \{0\}$$

$$y_{ij}^b = 0 \quad \forall b \in B, j \in N^A \cup \{R\} \quad (2-59)$$

$$, i \in \{0\}$$

$$d_{ij}^b = 0 \quad \forall b \in B, i \in N^A \cup \{R\} \quad (2-60)$$

$$, j \in N^V$$

$$d_{ij}^b = 0 \quad \forall b \in B, j \in N^A \cup \{R\} \quad (2-61)$$

$$, i \in N^V$$

限制式(2-54) - (2-61)是眾包無法通行路線相關限制。限制式(2-54)、(2-55) 確保只有在該中轉點的服務範圍內的顧客才能被配送。這些限制確保了眾包僅能配送符合服務範圍的顧客，避免了無效的路線和不必要的行程。限制式(2-56)、(2-57) 確保了眾包不會連續到達兩個共享停車位，高齡社區也同樣適用。限制式(2-58)、(2-59) 限制了共享停車位的眾包不可從起點零出發或回到起點零；限制式(2-60)、(2-61) 限制高齡社區的眾包不可從零和共享停車位出發或回到零和共享停車位。透過以上眾包無法通行路線相關限制，能夠有效管理眾包的配送路線，避免無效的行程和不必要的路線，確保配送的效率和順利執行，確保眾包路線的合理性和可行性。

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, i, j \in N^A \quad (2-62)$$

$$rx_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, i,j \in N^V \quad (2-63)$$

$$Y_{mi}^b \in \{0,1\} \quad \forall b \in B, m \in M, i \in N_m \quad (2-64)$$

$$D_{zi}^b \in \{0,1\} \quad \forall b \in B, z \in Z, i \in N \quad (2-65)$$

$$y_{ij}^b \in \{0,1\} \quad \forall b \in B, i,j \in N^A \quad (2-66)$$

$$d_{ij}^b \in \{0,1\} \quad \forall b \in B, i,j \in N^F \quad (2-67)$$

$$w_m^b \in \{0,1\} \quad \forall b \in B, m \in M \quad (2-68)$$

$$f_z^b \in \{0,1\} \quad \forall b \in B, z \in Z \quad (2-69)$$

$$a_i^k \geq 0 \quad \forall k \in K, i \in N^A \quad (2-70)$$

$$h_i^b \geq 0 \quad \forall b \in B, i \in N^P \quad (2-71)$$

$$g_{ij}^k \geq 0 \quad \forall k \in K, i,j \in N^A \quad (2-72)$$

$$rg_{ij}^k \geq 0 \quad \forall k \in V, i,j \in N^V \quad (2-73)$$

$$o_{ij}^k \geq 0 \quad \forall k \in K, i,j \in N^P \quad (2-74)$$

$$zo_{ij}^k \geq 0 \quad \forall k \in K, i,j \in N^F \quad (2-75)$$

限制式(2-62) - (2-75)是二元變數和非負數的相關限制。限制式(2-62)- (2-69)為二元變數限制式；限制式(2-70)- (2-75)為非負數限制式。

3.4.3 線性化限制式

由於在 Huang 和 Ardiansyah(2019)模型關於眾包流量守恆的相關限制式中，無法滿足當兩個中轉點重疊服務範圍內的客戶都可被這兩個中轉點服務然而卻不一定會被指派的情況。由圖 8 來說明，假設中轉點 M_2 分配到的需求節點是客戶 N_4 而中轉點 M_1 分配到的需求節點是客戶 N_5 ，那就表示客戶 N_4 可被中轉點 M_1 服務但是未被中轉點 M_1 指派，客戶 N_5 可被中轉點 M_2 服務但是未被中轉點 M_2 指派，造成 $Y_{1,4}^b \neq y_{1,4}^b$ 和 $Y_{2,5}^b \neq y_{2,5}^b$ 的情況，然而在 Huang 和 Ardiansyah(2019)模型裡，

卻強制使不等式的情況相等造成不可行解產生。因此本研究將設置限制式(2-36)到(2-39)關於眾包流量守恆相關的非線性限制式，使模型容許 $Y_{1,4}^b \neq y_{1,4}^b$ 和 $Y_{2,5}^b \neq y_{2,5}^b$ 的情況，確保節點在多個中轉點服務範圍時不會互相影響。

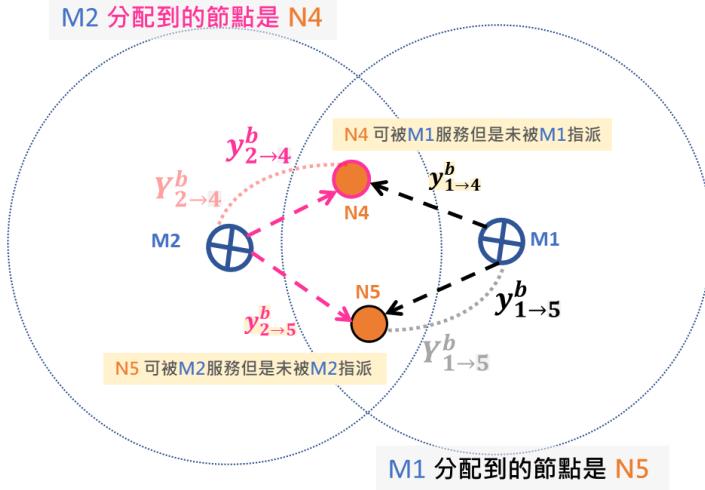


圖 8 眾包流量守恆限制式關聯圖

為了克服非線性限制式(2-36)到(2-39)對於現有求解器解決 MINLP 模型的困難，因此將這些非線性限制式線性化為 MILP。在本研究中將每個非線性限制式進行了線性化處理，以確保最優解滿足問題的要求。下面是線性化後的限制式：限制式(2-36)被替換為限制式(2-36a)到(2-36c)；限制式(2-37)被替換為限制式(2-37a)到(2-37c)；限制式(2-38)被替換為限制式(2-38a)到(2-38c)；限制式(2-39)被替換為限制式(2-39a)到(2-39c)。透過將這些限制式線性化，本研究得到了一個轉換原始公式的 MILP 模型。這樣的線性化限制式確保了求解器可以有效處理並找到滿足問題要求的最優解。通過以上的線性化處理，能夠改善求解非線性限制式的困難，使得現有的求解器能夠更有效地解決本研究所建之數學模型，線性化限制式如下：

$$Y_{mi}^b \leq w_m^b \quad \forall m \in M, i \in N_m, b \in B \quad (2-36a)$$

$$Y_{mi}^b \leq y_{mi}^b + \sum_{j \in N_m} y_{ji}^b \quad \forall m \in M, i \in N_m, b \in B \quad (2-36b)$$

$$Y_{mi}^b \geq y_{mi}^b + \sum_{j \in N_m} y_{ji}^b + w_m^b - 1 \quad \forall m \in M, i \in N_m, b \in B \quad (2-36c)$$

$$D_{zi}^b \leq f_z^b \quad \forall z \in Z, i \in N_z, b \in B \quad (2-37a)$$

$$D_{zi}^b \leq d_{zi}^b + \sum_{j \in N_z} d_{ji}^b \quad \forall z \in Z, i \in N_z, b \in B \quad (2-37b)$$

$$D_{zi}^b \geq d_{zi}^b + \sum_{j \in N_z} d_{ji}^b + f_z^b - 1 \quad \forall z \in Z, i \in N_z, b \in B \quad (2-37c)$$

$$Y_{mi}^b \leq w_m^b \quad \forall b \in B, m \in M, i \in N_m \quad (2-38a)$$

$$Y_{mi}^b \leq y_{i,\{R\}}^b + \sum_{j \in N_m} y_{ij}^b \quad \forall b \in B, m \in M, i \in N_m \quad (2-38b)$$

$$Y_{mi}^b \geq y_{i,\{R\}}^b + \sum_{j \in N_m} y_{ji}^b + w_m^b - 1 \quad \forall b \in B, m \in M, i \in N_m \quad (2-38c)$$

$$D_{zi}^b \leq f_z^b \quad \forall z \in Z, b \in B, i \in N_z \quad (2-39a)$$

$$D_{zi}^b \leq d_{i,\{R\}}^b + \sum_{j \in N_z} d_{ij}^b \quad \forall z \in Z, b \in B, i \in N_z \quad (2-39b)$$

$$D_{zi}^b \geq d_{i,\{R\}}^b + \sum_{j \in N_z} d_{ij}^b + f_z^b - 1 \quad \forall z \in Z, b \in B, i \in N_z \quad (2-39c)$$

限制式(2-36a) - (2-36c)確保當節點在多個共享停車場的服務範圍時，不會互相影響。從共享停車位 m 進入到高齡社區與客戶節點 i 流量總和等於分配給共享停車位 m 眾包 b 的服務節點數量。限制式(2-36a)若該共享停車位 m 有眾包則有可能共享停車位 m 眾包 b 會被分配需配送的節點；限制式(2-36b)-(2-36c)限制被指派由共享停車位 m 的眾包 b 服務的節點必須等於眾包 b 被指派至共享停車位 m 服務和有從 m 之服務範圍內的節點進去 i 的流量。而限制式(2-37a) - (2-37c) 和 (2-36a) - (2-36c) 相仿，但是針對的是從高齡社區 z 到客戶節點 i 的流量守恆。限制式(2-38a) - (2-38c) 確保從節點 i 到節點 j 的路線連通。限制式(2-38a) 若該共享停車位 m 有眾包則有可能共享停車位 m 眾包 b 會被分配需配送的節點；限制式(2-38b)、(2-38c)服務節點為該共享停車位 m 的眾包 b 需服務的節點，則該共享停車位 m 的眾包 b 必須完成所有被分配到節點的配送。而限制式(2-39a) - (2-39c) 和(2-38a)-(2-38c) 相仿，確保從客戶節點 i 到客戶節點 j 的流量守恆，並且

眾包 b 服務完成後可由虛擬點離開。透過這些限制式的引入，本研究能夠確保眾包的流量守恆，同時保證系統的連通性。通過線性化處理以及以上所述的限制式替換，本研究能夠有效地解決非線性限制式所帶來的困難，並得到符合問題要求的線性化 MINLP 模型，使得求解器能夠更好地處理問題並找到最優解。

第四章 數據實驗

本研究數據實驗的目標是利用本研究所建之數學模型研究參數調整對成本的影響。通過調整模型中的特定參數評估其對成本的變化程度，以揭示參數調整與成本之間的關聯性。在情境生成的部分是在 C++ 程序中編碼，而由於本研究提出之 MINLP 模型經過 3.4.3 小節的線性化後已變成 MILP 模型，因此可以使用 GUROBI 9.1.2 直接求解。解決方法是使用台式機，處理器為 12th Gen Intel(R) Core(TM) i7-1255U 1.70 GHz，系統類型為 64 位元作業系統(x64 型處理器)with 16 GB RAM 來編譯的。

4.1 情境生成

在資料前處理的部分，我們將隨機生成座標並分配中轉點可服務的需求節點。模擬美國環境將座標的全域範圍從最小值 (-150, -150) 到最大值 (650, 650)，並且使用平均分佈(Uniform distribution)的方式隨機產生節點座標。使在指定範圍內的每個數值具有相等的概率且確保節點均勻地分佈在服務範圍內，避免生成過於偏向某個極端的數值，確保對參數範圍的探索更全面，本研究按照以下步驟進行一組完整數據的生成：

第 1 步：首先隨機生成集散中心與異質中轉點(共享停車位和高齡社區)的座標。在異質中轉點重疊的服務範圍內生成節點座標，即以兩個重疊服務範圍中轉點之間的中點座標作為圓心的範圍內產生重疊需求節點座標。

第 2 步：接著，在共享停車位和高齡社區的非重疊服務範圍內生成需求節點的座標。這個範圍是以共享停車位為圓心，半徑為 R_m ，扣除重疊服務範圍的面積。同樣地，在高齡社區的非重疊服務範圍內，生成需求節點的座標。這個範圍是以高齡社區為圓心，半徑為 R_z ，扣除重疊服務範圍的面積。確保在生成需求節點時，避免重疊已生成的需求節點。

第 3 步：通過前一步驟，完成 N_m (從共享停車位出發的眾包可服務的節點)和 N_z (從高齡社區出發的眾包可服務的節點)的生成，將所有節點順序重新排列標號，即完成一組完整測試數據的座標。

第 4 步：一組完整測試數據的座標共有 N^A 個節點，本研究使用歐幾里得公式計算所有節點座標之間的距離，並將這些距離組成距離矩陣。在矩陣最後新增一列和一行 ‘0’，表示虛擬點 $|R|$ 的距離。

第 5 步：最後隨機生成開始和結束的服務時間、節點需求等參數。這些參數與節點的距離矩陣一起被匯入數學求解器 GUROBI，用於解決 MILP 模型。

4.2 測試問題設計

本研究所設計參數假設的相關內容共分為三個方面。首先是關於卡車、回收卡車和眾包特性以及成本的相關假設。假設卡車的型號為 Toyota 500 系中型貨車，空車為 5.455 噸，載重為 10.045 噸，排氣量為 7685c.c.¹，假設卡車引擎燃料消耗率為 39%；回收卡車的型號則為 Porter Pro 標準型(鐵床手排)小貨車，空車為 1.75 噸，載重為 1.575 噸，排氣量為 2497c.c.²，假設回收卡車引擎燃料消耗率 20%。兩種卡車的平均速率均設定為 50 公里/小時，符合臺北市市區道路的法定速限³。最大載重為 10.045 噸與 1.5 噸，最大容積為 50CBM 與 20CBM。眾包成本方面，參考 foodpanda 的定價，假設一小時可完成 3 個訂單，包括額外加碼獎勵的一個訂單，一個訂單平均收入大約在 \$40 至 \$69 元之間。因此，本研究假設每個訂單為 \$50，眾包的固定成本為每小時 150 新台幣⁴。眾包的可變成本設定為完成訂單收入的 50%。根據 2020 年警政統計電動自行車平均速率為 25 公里/小時，因此假設眾包平均速率為 25 公里/小時⁵。並且眾包的最大載重為 2 噸，最大容積為 10CBM。其次是關於異質中轉點的相關假設。共享停車位的租借成本是根據台北市停車管理工程處在 2022 年對公有停車場及停車格調整收費上限，計時收費級距調整為 60 元、80 元、100 元、120 元、150 元等五個級距，因此本研究假設每小時 100 新台幣，租借時間為 3 小時。向公有停車場租借的時段為 3:00-6:00，向私人停車場租借的時段為 11:00-14:00⁶。並將共享停車位最大容貨量假設為 10 噸。而高齡社區的租借成本是根據 More Space 摩爾空間在新竹光復倉庫 L 號倉的月租費用(5966 元)除以 30 天，得到一天的租借成本⁷。並將高齡社區最大容貨量假設為 3 噸。最後是關於燃料成本和碳排成本估算的相關假設。燃料成本方面，參考英國政府在 2022 年的燃油價格，每升為 1.5088 英鎊⁸。碳排成本方面，根據 Ember 的 Carbon Price Tracker 在 2023 年 5 月 23 日所追蹤的二氧化碳排放數據，每噸為 53.13 英鎊二氧化碳當量(CO_2e)⁹。根據 Coe(2005)的計算，一公升汽油含有 2.32 公斤二氧化碳(CO_2)，為了單位統一，將 2.32 公升/公斤換算為 0.00232 公升/噸。根據物理定義，每公里油耗量為燃料消耗率乘以排氣量；每

¹<https://www.hino.com.tw/car.aspx?22>

²<https://www.hyundai-motor.com.tw/car-style-7.html#contains>

³<https://data.gov.tw/dataset/121671>

⁴<https://saratrip.com/foodpandarider-experience/>

⁵ 警政統計通報，(109 年第 36 週)

⁶<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/3829139>

⁷<https://www.morespace.com.tw/locations-page/personal/gf>

⁸<https://www.gov.uk/government/statistics/weekly-road-fuel-prices>

⁹<https://ember-climate.org/data/data-tools/carbon-price-viewer/>

公里燃料成本為每公里油耗量乘以每升燃油價格；每公里碳排成本為每公里油耗量乘以每公升柴油含有二氧化碳乘以每噸二氧化碳當量價格。對於卡車而言，其排氣量為 7685c.c.，每公里油耗量為 2.997 公升/公里，每公里燃料成本為 4.521 英鎊/公里，每公里碳排放量為 0.369 英鎊/公里。對於回收卡車而言，其排氣量為 2497c.c.，每公里油耗量為 0.974 公升/公里，回收卡車每公里燃料成本為 0.753 英鎊/公里，回收卡車每公里碳排放量為 0.061 英鎊/公里。

表 3 參數表

參數	數值	參數	數值
v^K	50 公里/小時	C^R	3.9 英鎊/小時
v^B	25 公里/小時	C^O	$C^O = 0.5C^R$
G^K	10.045 噸	Q^K	50 CBM
G^V	1.5 噸	Q^V	20 CBM
G^B	2 噸	Q^B	10 CBM
$G_{m,1}$	10 體積噸(CBM)	C^m	7.8 英鎊/天
$G_{z,1}$	3 體積噸(CBM)	C^z	5.2 英鎊/天
α_{ij}	0.353 公里/小時平方	W^K	5.455 噸
β	2×10^{-6} 噸/公里	W^V	1.75 噸
e^K	0.369 英鎊/公里	L_{max}	8 小時
cf^K	4.521 英鎊/公里	$[E_z, L_z]$	00:00, 24:00
e^V	0.061 英鎊/公里	$[E_m, L_m]$	公有和私人停車場:3:00,6:00 和 11:00,14:00
cf^V	0.753 英鎊/公里		

4.3 問題特徵說明

本部分先針對問題特徵作分析。

為了說明本研究所設計之眾包配送整合之 MILP 模型與相似的 Huang 和 Ardiansyah(2019)模型進行比較。我們對 Huang 和 Ardiansyah(2019)模型進行了改進。首先，我們加入了限制式(3-26)和(3-28)，以及限制式(3-27)和(3-29)，來解決 Huang 和 Ardiansyah(2019)模型中無法處理中轉點服務範圍重疊超過兩個客戶的情況。這些限制式確保兩個重疊服務範圍的中轉點不會重複為同一個客戶提供服務，從而使得兩個重疊服務範圍的中轉點在配送客戶時不會相互影響。這樣修改後的模型解決了 Huang 和 Ardiansyah(2019)模型中只能處理中轉點服務範圍重複少於一個客戶的限制，並且我們使用了 Huang 和 Ardiansyah(2019)提供的數據和參數(H-n15m5-B4)進行比較。原始 Huang 和 Ardiansyah(2019)模型在數據(H-n15m5-B4)下的成本為 928.1。經過我們修改部分限制式後，同樣在該數據下運行的成本為 650.69，降低了 26.3% 的總體成本。雖然 Huang 和 Ardiansyah(2019)的

數據中並未提供中轉點服務範圍的數據，但由於改進後的結果大幅降低了總體成本，我們可以推斷通過增加眾包可配送的客戶節點數量，降低了卡車的使用率，進而減少卡車造成的效果。接下來依照表 3 設定的情境，我們將隨機生成 10 組測試數據。每組數據由節點服務時間、節點載重需求和由 25 個節點座標所生成的距離矩陣等參數，構成了一組完整的測試數據。

在本研究中，原數學模型將會拆分為純卡車模型(1a)、二階梯模型(2a)以及三階梯模型(3a)，特別說明在所有數據實驗中，高齡社區在二階梯模型皆是作為客戶情境。首先將改善過後的 Huang 和 Ardiansyah(2019)模型(H&A)與本研究三階梯模型(3a)、二階梯模型(2a)做比較。為了比對的公平性，此處的比對針對卡車行駛成本的部分僅考慮行駛距離對油耗成本的影響，因此將原模型變形為僅考慮行駛距離的三階梯模型(3a_ODE)和二階梯模型(2a_ODE)，卡車限制式變形為 $\sum_{i \in N^A} \sum_{j \in N^A} \sum_{k \in K} cf \alpha_{ij} T_{ij}^k x_{ij}^k + \sum_{i \in N^V} \sum_{j \in N^V} \sum_{k \in V} cf \alpha_{ij} T_{ij}^k r x_{ij}^k$ 。由於 H&A 模型並未提供詳細的卡車旅行成本資訊，我們將其簡化為僅考慮油耗成本，並將固定的中轉點設置成本(假設每天租用 24 小時)納入考慮。比較 3a_ODE 模型、2a_ODE 模型和 H&A 模型的總體成本，另外亦計算三者成本之差，當中 ODE_X_Y_Gap% 表示模型 X 和 Y 的成本差距百分比；數學上可寫成 $(Y-X)/Y * 100\%$ 。以圖 9 說明在僅考慮卡車因行駛距離而影響的油耗成本情況下，非固定式異質中轉點和三種模型對總體成本的影響。

4.3.1 無碳排模型比對

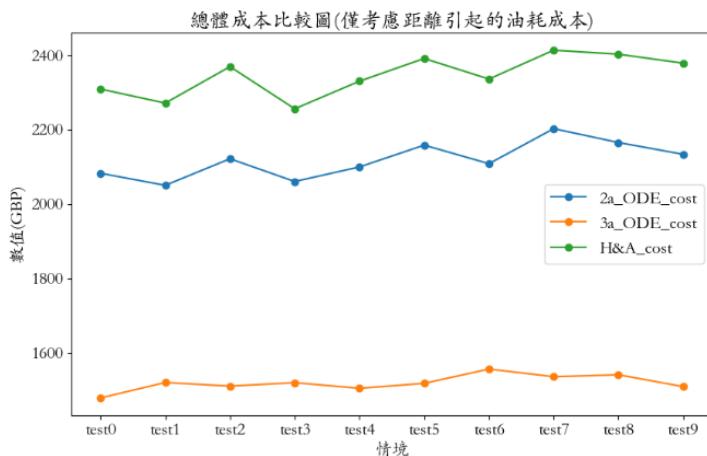


圖 9 總體成本比較圖(卡車行駛成本只考慮距離影響造成的油耗成本)

圖 9(詳細數據請參考附表 A-1 說明與各種策略總體成本比較表)顯示，在僅考慮卡車行駛距離所引起的油耗成本情況下，2a_ODE 與改良後的 H&A 模型相比平均降低了 10.7% Gap 的成本。2a_ODE 模型和 H&A 模型都屬於二階梯模型，它們之間的區別在於 H&A 模型的中轉點是固定的，而本研究二階模型的中轉點

成本是根據租借方式計算的，並且在使用共享停車位作為中轉點時需要有回收卡車來回收空貨櫃。當固定中轉點的成本高於租借成本加上回收卡車所造成的效果時，二階模型的成本明顯低於 H&A 模型。而 3a_ODE 模型與 H&A 模型相比平均可減少 54.3% Gap 的成本，3a_ODE 模型與 2a_ODE 模型相比平均可減少 39.4% Gap 的成本。從以上數據可以顯示，在僅考慮卡車行駛距離所引起的油耗成本情況下，三階梯模型能夠更有效降低成本。

4.3.2 碳排模型比對

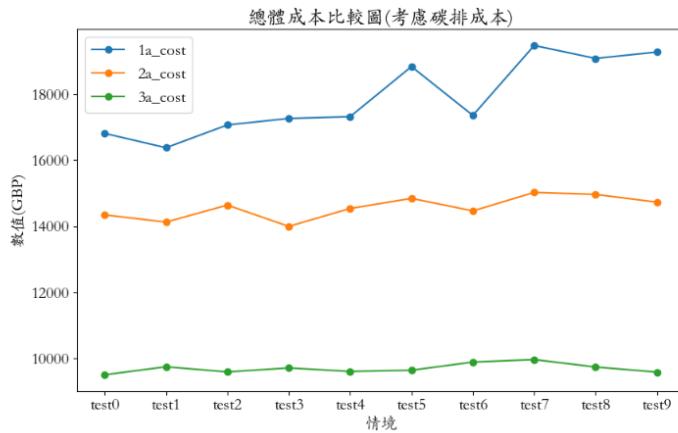


圖 10 總體成本比較圖(卡車行駛成本包含油耗及碳排成本)

根據圖 10(詳細數據請參考附表 A-2 說明與各種策略總體成本比較表)顯示，從考慮碳排放與總體成本的角度來看，將本研究中的純卡車模型、二階梯模型和三階梯模型與三階梯模型作為基準比較，發現與三階梯模型相比，純卡車模型的總體成本平均增加 84.4% Gap；而二階梯模型的總體成本平均增加 50.2% Gap。

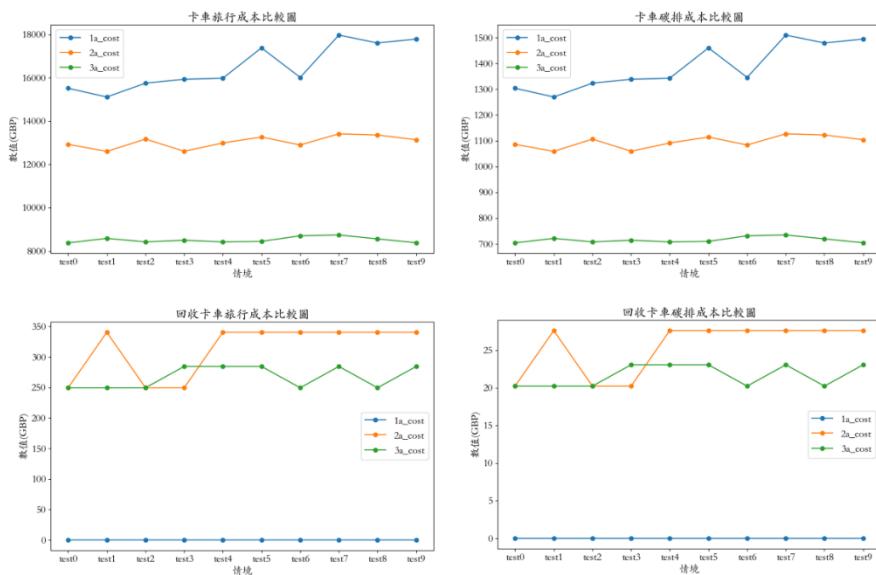


圖 11 卡車&回收卡車旅行成本與碳排成本比較圖

而從圖 11 中可以看出，回收卡車與卡車造成成本相差約為 10 倍，這是因為本研究中的回收卡車和卡車是異質車輛，回收卡車使用容量和排氣量較小的輕型卡車，因此造成成本較低。另外，三階梯模型相對於二階梯模型成本更低的原因是三階梯模型有兩種中轉點（共享停車位和高齡社區）可用於貨物配送，並選擇高齡社區作為中轉點可節省回收卡車成本。然而這並不否定共享停車位的可用性，因為三階梯模型仍然使用共享停車位作為中轉點。因此，三階梯模型需要整合共享停車位和高齡社區，才能有助於減少卡車的旅行成本和碳排放成本。對於二階梯模型而言，在大多數據中改由眾包配送的需求節點數量約佔三分之一以上，說明使用眾包可以降低總體成本和碳排放。而對於三階梯模型來說，所有數據中有三分之二以上的需求節點由眾包配送，說明相比二階梯模型，三階梯模型可以使更多的需求節點通過眾包配送，從而將總體成本和碳排放降到最低，詳細數據資料請參考附表 A-3 說明各種策略的用車/眾包數。

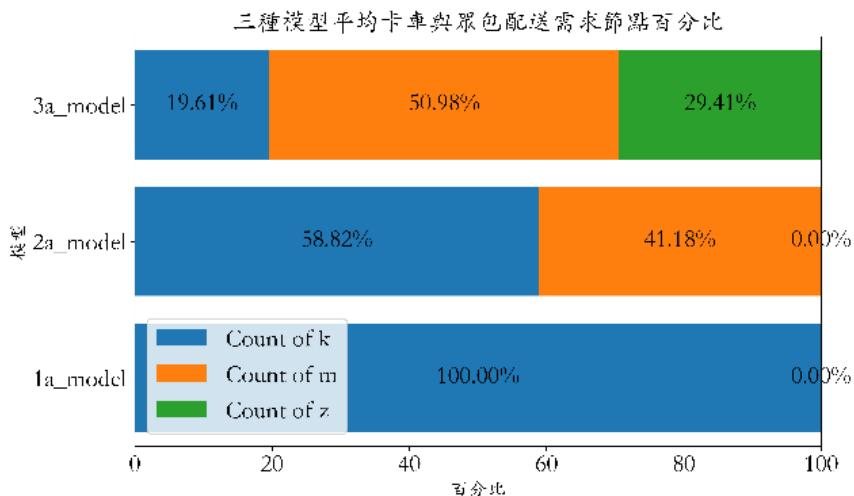


圖 12 三種模型平均卡車與眾包服務節點比率比較圖

卡車與眾包的使用比率取決於總需求節點數量相對於個別配送節點的量。由圖 12(詳細數據資料請參考附表 A-3 說明各種策略的用車/眾包數)顯示，從純卡車模型到二階梯模型，平均約有 41.76% 的需求節點在二階梯模型時從卡車改由眾包配送。這個結果表明，引入眾包配送可以降低卡車的使用率，同時降低卡車所造成的旅行成本和碳排放成本，可減少總體成本。而二階梯模型到三階梯模型，平均約有 80.59% 的需求節點在三階梯模型時由眾包配送，其中 51.18% 由共享停車位的眾包配送，29.41% 由高齡社區的眾包配送。就共享停車位的眾包配送比率而言，三階梯模型仍然高於二階梯模型，並且在三階梯模型中加入高齡社區作為中轉點，從眾包配送需求節點的比率平均增加了 29.41%。由以上結果說明使用共享停車位和高齡社區作為異質中轉點可使卡車使用率下降眾包使用率上升。

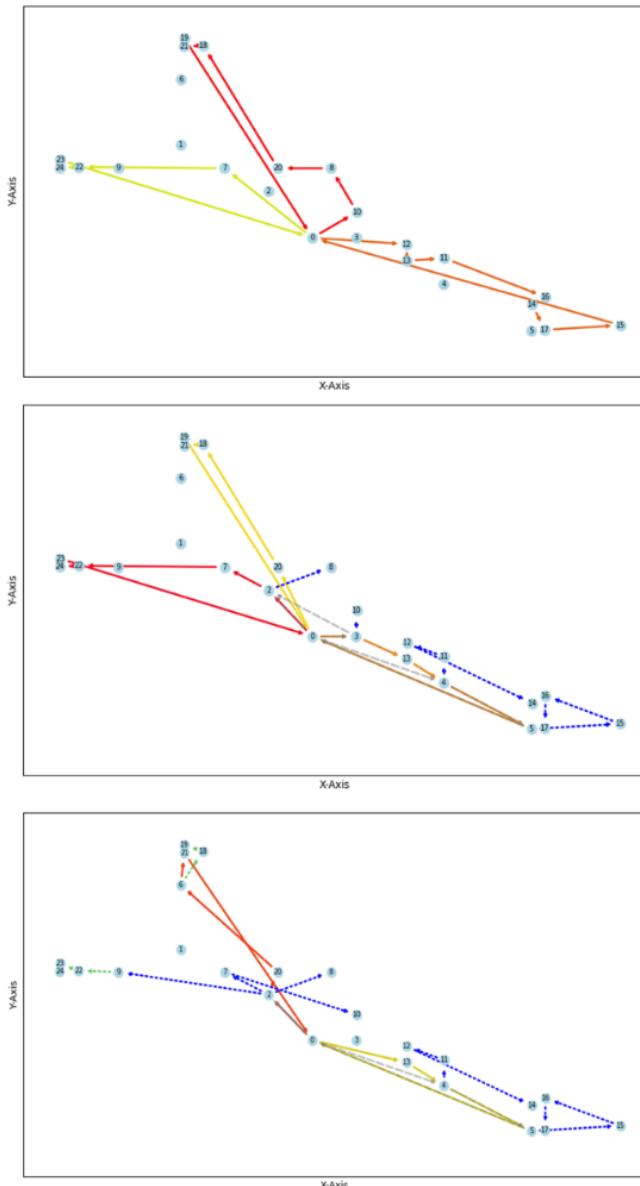


圖 13 三種模型路線比較圖

最後以數據 test 1 為例，由圖 13 來說明使用三階梯模型有助於增加眾包使用量與減少卡車的使用，從純卡車模型至二階模型共 8 個需求節點在二階模型改由眾包配送，眾包使用數量為 4 人(詳細數據資料請參考附表 A-3 說明各種策略的用車/眾包數)。由此結果可以說明加入眾包配送可使卡車的使用率降低，便可同時降低卡車所造成的旅行成本與碳排成本進而減少總體成本；而從二階模型至三階模型增加 6 個需求節點，共 14 個需求節點在三階模型由眾包配送，眾包使用數量增加至 7 人。由此結果可以總結以下結論，使用三階梯模型並整合眾包配送有助於提高眾包使用率並降低卡車的使用量，減少卡車的旅行成本與碳排成本。

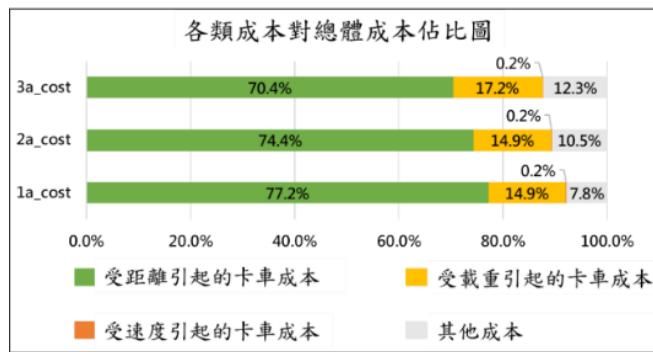


圖 14 各類成本對總體成本佔比圖

由於圖 14 顯示受距離所影響的卡車行駛成本佔據了約 70%以上的總體成本，因此只要能夠減少卡車成本便能使總體成本下降。綜上所述，卡車行駛成本佔總體成本的約 70%以上，因此減少卡車成本能夠顯著降低總體成本。引入眾包配送可以降低卡車使用率。根據數據分析，使用三階梯模型並整合眾包配送與異質中轉點能夠提高眾包使用率並使卡車使用率下降，進一步減少卡車的旅行和碳排成本，從而降低總體成本。

4.4 敏感度分析

本研究的敏感度分析使用數據 test1，評估純卡車模型(1a)、二階模型(2a)和三階模型(3a)在不同情境下的成本影響和各種策略的卡車(k)、回收卡車(rk)、從共享停車位(mb)和高齡社區(zb)出發眾包服務需求節點數量以及個別使用量比較。將探討中轉點對成本以及需求節點分配的影響，包括不同中轉點組合和中轉點租借成本對成本的影響和卡車與眾包服務節點數量的比較。此外，我們還分別研究了眾包成本和服務時間對模型的成本以及需求節點分配的影響。

4.4.1 不同中轉點數量組合與租借成本對模型的影響

異質中轉點可為眾包配送增加了更多的多元性和方便性，任何具有閒置時間與空間的群眾皆可成為眾包，當眾包越多接受配送任務的機率就越多，探討純卡車模型、二階梯模型以及三階梯模型通過眾包整合是否可提高整體物流配送系統的眾包使用率，進而降低卡車使用率實現減少碳排放成本。因此本研究將會分別做以下三種測試：第一種測試異質中轉點對不同類別成本的影響以及由卡車與眾包配送的需求節點比率變化；第二種測試異質中轉點不同組合對不同類別成本影響以及由卡車與眾包配送的需求節點比率變化；最後第三種測試異質中轉點租借成本對不同類別成本的影響以及由卡車與眾包配送的需求節點比率變化。本研究對於中轉點的相關分析中，每種中轉點數量的組合皆為各模型最大可使用的中轉點數量。

第一種為將整合共享停車位與高齡社區兩種中轉點的情況和純共享停車位做為中轉點的情況、純高齡社區做為中轉點的情況進行比較，去說明整合異質中轉點對模型的影響(詳細數據請參考表 A-4 表 A-4 說明與各類成本比較表與附表 A-5 說明各種策略的用車/眾包數)，其中 M(A)Z(B)是代表網絡有 A 個共享停車場，B 個高齡社區。

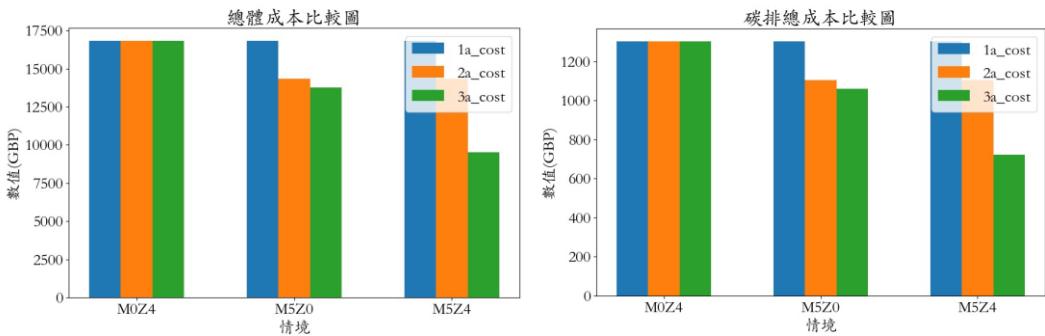


圖 15 純高齡社區、純共享停車位與整合異質中轉點比較碳排與總體成本圖

從圖 15(詳細數據請參考表 A-4 說明與各類成本比較表)顯示，純高齡社區做為中轉點時，在二、三階梯模型中總體與碳排成本皆為最高，在純共享停車位做為中轉點時，在二、三階梯模型中與純高齡社區相比總體與碳排成本皆位居第二，當整合異質中轉點情況下，三階梯模型中能使總體與碳排成本降至最低。此外對於二階梯模型而言，當純高齡社區做為中轉點時，相當於並未具有中轉點因此所有需求節點皆由卡車配送；在純共享停車位做為中轉點時，有 5 個需求節點改由眾包配送，說明使用共享停車位做為中轉點可使成本下降。對於三階梯模型而言，當純高齡社區做為中轉點時，並未使用眾包配送皆是由卡車服務所有需求節點，可推斷未使用高齡社區的原因來自於高齡社區可容納之貨物量較少(3 噸)再加上高齡社區的位置設定在於城市中心與集貨中心距離較遠；在純共享停車位做為中轉點時，比起二階模型增加了 2 個，共有 7 個需求節點改由眾包配送，說明純共享停車位做為中轉點可使成本下降，可推斷使用共享停車位的原因來自於在本研究中共享停車位的位置設定在郊區於客戶以及集散中心而言位於中間位置，並且可容納之貨物量也較高(10 噸)；當整合兩種異質中轉點的情況下，可使 13 個需求節點改由眾包配送，說明在三階梯模型中需整合異質中轉點，才可使總體成本以及碳排成本達到最低，詳細數據請參考附表 A-5 說明各種策略的用車/眾包數。

綜上所述，整合異質中轉點可以實現最低總體和碳排放成本。共享停車位作為中轉點由於其位置和容量的特點能夠降低成本。相較之下，純高齡社區作為中轉點無法降低成本，可能是因為其容量較低且與集貨中心的距離較遠。然而，當整合異質中轉點時，可使成本下降至最低。這是因為共享停車位可以先將貨物配

送至高齡社區進行存放，然後再由從高齡社區出發的眾包將貨物送達客戶，這樣實施三階梯的配送模式，從而使成本大幅降低。

第二種為同時擁有兩種中轉點的情況下分別遞增 1 個中轉點，探討設置不同數量的異質中轉點，不同異質中轉點組合對總體成本和碳排成本以及眾包配送節點數量的影響(詳細數據請參考附表 A-6 說明與各類成本比較表與附表 A-7 說明各種策略的用車/眾包數)，其中 M(A)Z(B)是代表網絡有 A 個共享停車場，B 個高齡社區。

(1) 固定高齡社區數量，遞增 1 個共享停車位。

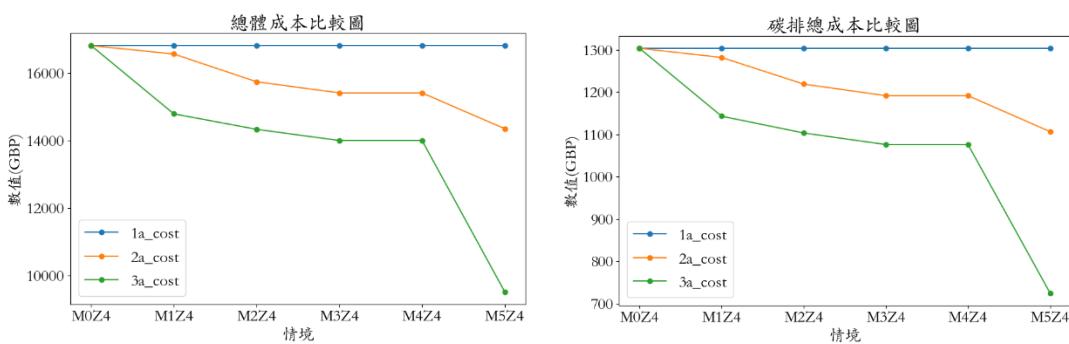


圖 16 固定高齡社區數量遞增 1 個共享停車位比較碳排與總體成本圖

根據圖 16(詳細數據請參考附表 A-6 說明與各類成本比較表)顯示，觀察到在二、三階梯模型中，隨著共享停車位數量的增加，總體成本和碳排放成本都呈現下降的趨勢。這意味著增加共享停車位可以降低成本和碳排放。在二階梯模型中，當共享停車位數量增加時，由眾包配送的需求節點數量也隨之增加。這意味著增加共享停車位可以增加眾包配送的需求節點數量。對於三階梯模型而言，當模型中只有高齡社區時，所有需求節點都由卡車配送。當共享停車位數量增加到 1 個時，有 2 個需求節點改為由從高齡社區出發的眾包配送，推測是因為引入了共享停車位，模型轉變為三階梯配送。當共享停車位數量增加至 3 個或更多時，超過一半的需求節點由眾包配送，說明隨著共享停車位數量的增加，由眾包配送的需求節點數量也增加。這進一步驗證了增加共享停車位可以提高眾包配送的需求節點數量，詳細數據請參考附表 A-7 說明各種策略的用車/眾包數。

綜上所述，增加共享停車位數量可以降低二、三階梯模型的總體和碳排放成本。在二階梯模型中，增加共享停車位數量可以增加由眾包配送的需求節點數量。在三階梯模型中，增加共享停車位數量可以進一步增加由眾包配送的需求節點數量，特別是當共享停車位數量超過 3 個時。在三階梯模型中，隨著共享停車位數量的增加，相比二階梯能降低更多成本。因此，可以得出結論，增加共享停車

位數量對於降低成本是一個更好的策略，尤其在三階梯模型中效果最為顯著。

(2) 固定共享停車位數量，遞增 1 個高齡社區。

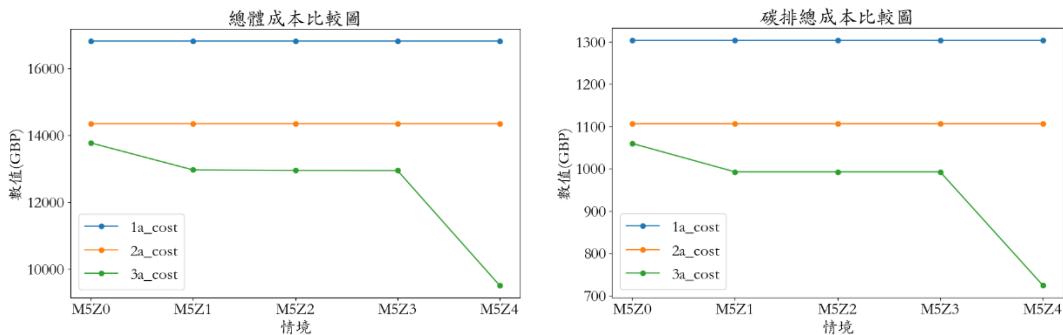


圖 17 固定共享停車位數量遞增 1 個高齡社區比較碳排與總體成本圖

從圖 17(詳細數據請參考附表 A-8 說明與各類成本比較表)顯示，在三階梯模型中，隨著高齡社區的增加，總體成本和碳排放成本都呈現下降的趨勢。此外，當高齡社區的數量增加時，從共享停車位出發的眾包配送的需求節點的數量並不受影響，然而從高齡社區出發的眾包配送的需求節點數量會隨之增加，詳細數據請參考附表 A-9 說明各種策略的用車/眾包數。這些結果表明，當模型存在共享停車位的情況下，隨著高齡社區的增加，眾包配送的需求節點數量也會增加，從而降低碳排與總體成本。

最後第三種測試異質中轉點租借成本對不同類別成本的影響以及由卡車與眾包配送的需求節點比率變化。在給定的共享停車位租借成本 7.8 英鎊和高齡社區租借成本 5.2 英鎊的基本情況下，本研究將各別原來的租借成本遞增 10 倍至 150 倍，比較分配客戶訂單數量給共享停車位或者高齡社區的結果，說明了異質中轉點之租借成本對模型的影響(詳細數據請參考附表 A-10 說明與各類成本比較表與附表 A-11 說明各種策略的用車/眾包數)，其中 $C_m(7.8*d)C_z(5.2*d)$ 是代表中轉點租借成本， d 為倍數。而圖 18 橫軸表示方法假設 1 為 Base Case，其他情境依據倍數 d 的值來命名。

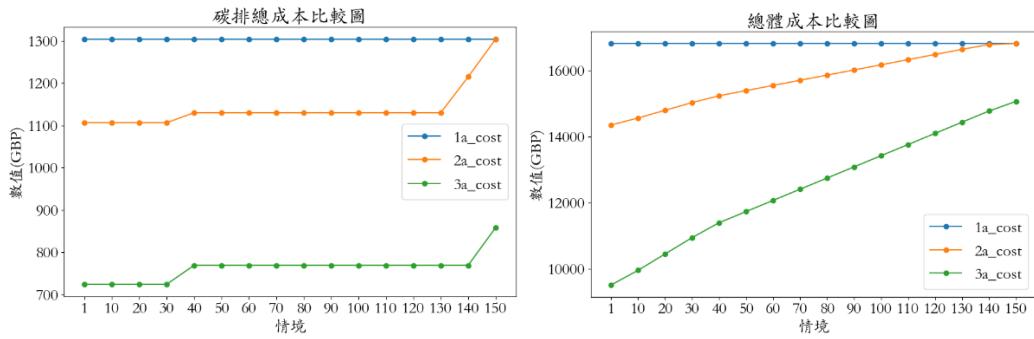


圖 18 不同中轉點成本比較碳排成本與總體成本圖

從圖 18(詳細數據請參考附表 A-10 說明與各類成本比較表)顯示，當中轉點成本較低時，在二、三階梯模型中碳排成本和總體成本就會減少，因為對於二階梯模型而言，由眾包配送的需求節點數量會隨著中轉點成本的增加而減少，甚至在租借成本增加至 150 倍時，所有需求節點都由卡車配送。然而，對於三階梯模型而言，儘管由眾包配送的需求節點數量會隨著中轉點租借成本的增加而減少，但即使將租借成本增加至 150 倍，仍然有 8 個需求節點(近一半)由眾包配送，詳細數據請參考附表 A-11 說明各種策略的用車/眾包數。以上結果證實三階梯模型與二階梯模型相比更能適應中轉點租借成本調高的情況，採用三階梯模型為一個好的策略，可以保持較高比例的眾包配送需求節點並降低碳排和總體成本。

4.4.2 眾包成本對模型的影響

說明眾包成本是否影響總體成本和由眾包配送的需求節點數量，在給定的眾包固定成本為 3.9 英鎊，眾包可變成本為 1.95 英鎊的基本情況下，將原來的眾包成本遞增 5 倍至 20 倍，比較眾包總成本和總體成本以及由眾包配送的需求節點數量(詳細數據請參考附表 A-12 說明與各類成本比較表與附表 A-13 說明各種策略的用車/眾包數)，其中 $CR(3.9*d)C0(1.95*d)$ 是代表中轉點租借成本， d 為倍數。而圖 19 情境表示方法假設 1 為 Base Case，其他情境依據倍數 d 的值來命名。

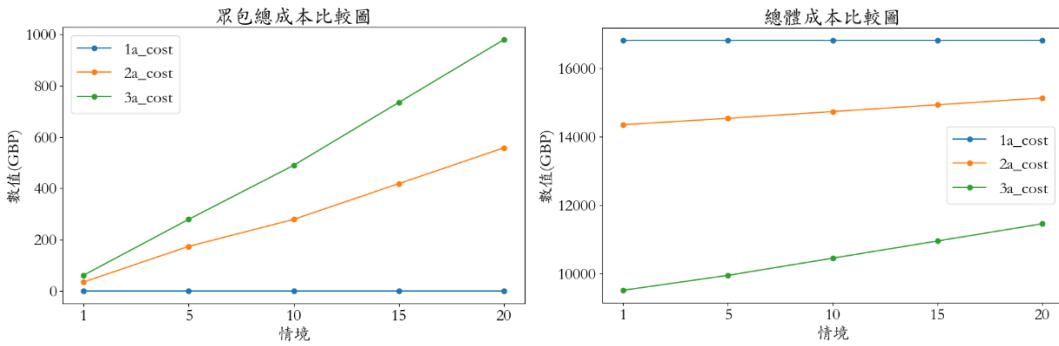


圖 19 不同眾包成本比較眾包總成本以及總體成本圖

圖 19(詳細數據請參考附表 A-12 說明與各類成本比較表)顯示，在二、三階梯模型中，當眾包成本增加眾包總成本和總體成本隨之增加。在二、三階梯模型中，由眾包配送的需求節點數量會隨著眾包成本增加而減少，但是即使眾包成本增加，在這兩個模型中仍然會使用眾包來配送節點，而不是完全由卡車配送，詳細數據請參考附表 A-13 說明各種策略的用車/眾包數。以上結果證實即使眾包成本調高，在二階梯和三階梯模型中仍然可以通過使用眾包配送來降低總體成本，說明眾包配送為一種好的物流策略。

4.4.3 服務時間對模型的影響

探討卡車的服務時間相對於原來八小時的服務時間有所延長或縮短對碳排放和總體成本的影響。本研究將原來八小時服務時間，延長一小時和縮減半小時，以測試在時間方面的限制是否影響碳排成本和總體成本以及由卡車服務的節點數量變化(詳細數據請參考附表 A-14 說明與各類成本比較表與附表 A-15 說明各種策略的用車/眾包數)，其中 $L_{min}(30 \pm t)L_{max}(510 \pm t)$ 是代表中轉點租借成本， t 為半小時。

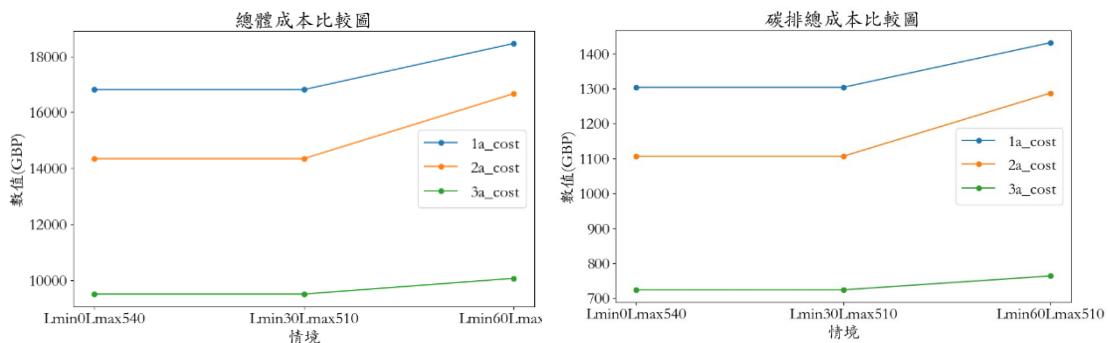


圖 20 不同卡車服務時間比較碳排與總體成本圖

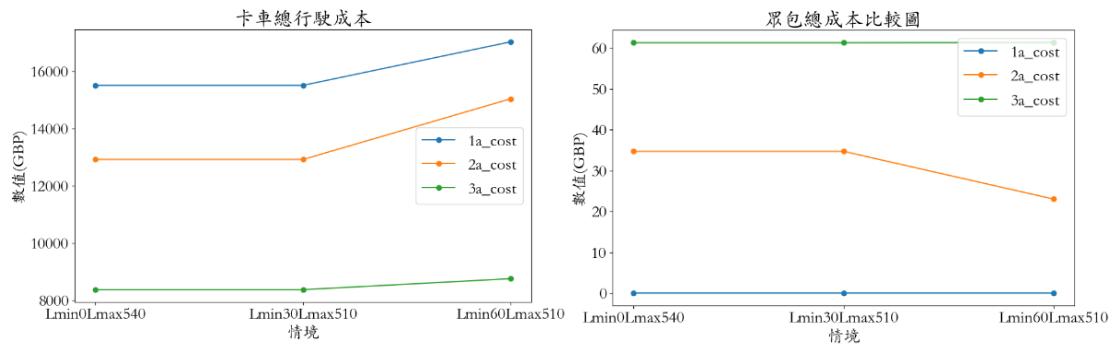


圖 21 不同卡車服務時間比較卡車與眾包總成本圖

從圖 20(詳細數據請參考附表 A-14 說明與各類成本比較表)顯示，在純卡車模型和二、三階梯模型中，隨著卡車服務時間的縮短，碳排成本和總體成本會增加。特別是在純卡車模型和二階梯模型中，成本上升的幅度更大。這表明限制卡車服務時間會導致成本的增加。從圖 21 顯示，當卡車服務時間縮短卡車行駛成本會增加而眾包總成本在二階梯模型中會下降，原因為更多的需求節點改由卡車配送，推測造成此結果的原因為共享停車位的服務時間(3 小時)相對於高齡社區的服務時間(24 小時)短；然而卡車行駛成本增加在三階梯模型中眾包總成本上升，原因為更多的需求節點改由眾包配送，推測此結果是因為三階模型整合異質中轉點，能夠解決二階模型的缺陷，詳細數據請附表 A-15 說明各種策略的用車/眾包數。由以上結果證實三階模型在卡車服務時間縮短時，由於整合了兩種中轉點因此部分需求節點會因為卡車服務時間縮短而由眾包配送而非由卡車配送，在成本上升的幅度比二階梯模型低，因此三階模型比二階模型更適用於卡車服務時間縮短的情況。

第五章 結論

5.1 總結

本研究的設計旨在開發一個利用社會閒置資源作為中轉點的物流配送系統，以降低城市物流的營運成本和碳排放。為了應對訂單增加，可以增加更多的中轉點，但這會增加固定設施的成本。因此，本研究採用共享停車位和高齡社區等社會資源作為非固定式中轉點，最大程度地利用閒置資源。與 Huang 和 Ardiansyah(2019)的模型(H&A)相比，首先是改善了該文獻在眾包流量守恆相關限制式所造成的不可行解情況，並且修改部分限制式並模擬文獻所提供之數據(H-n15m5-A1)改善後可降低 26.3% 的總體成本，並且由數據實驗證實透過使用非固定式中轉點能夠降低更多的設施成本，進一步降低總體成本(從圖 9 的數據得到證實)。通過數據實驗的測試，本研究的物流配送系統能夠減少溫室氣體排放和能源消耗。眾包配送模式能夠提高眾包配送需求節點比率，同時降低卡車配送需求節點比率，從而減少旅行成本和碳排放成本，實現環保和永續的物流配送系統(從圖 10、圖 12 的數據得到證實)。此外，為了減少物流對環境的影響，本研究的眾包配送運具採用無排放的小型車輛或眾包配送者騎自行車進行城市貨運。將傳統物流轉型為眾包配送模式可以降低公路運輸的使用率，進而降低物流配送對環境的負面影響。

從本研究的敏感度分析中得出以下結論。對於中轉點的相關分析顯示，逐步增加中轉點對於二階梯和三階梯模型的影響是正向的。增加中轉點的數量能夠降低總體成本和碳排成本，同時提高眾包配送的效率。特別是在三階梯模型中，增加中轉點能夠實現更大的成本降低效果，相較於二階模型而言是更好的策略。在三階梯模型中，通過整合異質中轉點，利用不同中轉點的優勢，可以降低成本、減少碳排放並提高配送效率。此研究結果對於物流管理和城市規劃中轉點策略的選擇具有重要的參考價值。眾包成本相關分析顯示，即使眾包成本上升，使用眾包配送仍然可以降低總體成本。然而，當眾包成本增加時，需要更仔細評估眾包成本與總體成本之間的平衡，以確保維持成本效益。卡車服務時間相關分析顯示，在卡車服務時間縮短的情況下，三階梯模型比二階梯模型更適用。這是因為三階梯模型能夠整合不同性質的中轉點，從而在成本上升的幅度上具有更好的控制能力。本研究深入了解卡車服務時間限制對物流系統的影響，並提供了在不同時間限制情境下的最佳策略選擇，這對於物流業者和政策制定者來說具有重要的實踐價值，以平衡成本與服務品質，同時減少碳排放。本研究貢獻闡明所設計之結合異質中轉點的三階梯配送模式能夠減少碳排和總體成本，並且根據數據分析探討中轉點組合及租借成本、眾包成本以及卡車服務時間對物流系統的影響，在不同成本情境下採用三階梯模型為最佳策略選擇並得到三種結論。第一，在整合兩種

中轉點的情況下增加中轉點數量能夠將碳排和總體成本降至最低；第二，當眾包成本調漲仍然可以通過使用眾包配送來降低總體成本；第三，當卡車服務時間縮短時，使用三階梯模型能使碳排和總體成本上升幅度最小。

5.2 未來發展

隨著亞洲地區電子商務的持續增長，商家到客戶(B2C)和客戶到客戶(C2C)之間的最後一里路物流配送需求也不斷攀升。為了降低這一環節的成本，許多電商平台已開始採用眾包配送解決方案。然而，目前對考慮環境因素的物流配送交通規劃研究相對不足。本研究填補了這一空白，並將環境因素納入物流配送的交通規劃中。本研究設計了一個眾包物流配送系統，利用共享停車位和高齡社區作為中轉點，取代傳統的物流派遣方式。這樣的設計使本研究的物流系統最大限度地利用了閒置資源，充分利用共享停車位和高齡社區等社會資源。根據數據實驗結果，本研究的物流配送系統能夠減少溫室氣體排放和能源消耗。眾包配送模式提高了眾包配送需求節點比率，同時降低了卡車配送需求節點比率，從而減少了旅行成本和碳排放成本，實現了環保和永續的物流配送系統。此外，使用無排放的小型車輛或自行車進行眾包配送可以進一步減少物流對環境的負面影響。在我們的研究中，進行了敏感度分析，結果顯示增加中轉點的數量可以降低總體成本和碳排成本，特別是在三階梯模型中，整合不同類型的中轉點能夠大幅降低成本。然而，我們也需要仔細平衡眾包成本和卡車服務時間，以確保成本效益和服務品質。總體而言，這些研究結果為物流管理和城市規劃中的中轉點策略選擇提供了重要的參考價值。

對於未來的發展，可進一步研究以下幾個方面：

- (1) 在眾包配送模式中，可以探索使用更多的非固定式中轉點，例如商業區的飯店、咖啡廳等，以進一步優化配送網路並減少卡車里程和碳排放。
- (2) 研究更環保的交通工具和能源，如電動車輛、太陽能充電等，以進一步降低碳排放和能源消耗。

總結而言，本研究在物流配送中考慮了環境因素，並提出了利用共享停車位和高齡社區作為中轉點的眾包物流配送系統。這一系統不僅可以減少碳排放，還可以建立具有經濟社會效益的企業模式，實現環境的永續性和社會資源的活化。未來的研究可以進一步完善和優化這一系統，推動更綠色和永續的物流配送發展。

參考文獻

- Aday, R. H., & Kehoe, G. (2008), “Working in old age: Benefits of participation in the senior community service employment program,” *Journal of Workplace Behavioral Health*, 23(1-2), 125-145.
- Anderluh, A., Nolz, P. C., Hemmelmayr, V. C., & Crainic, T. G. (2021), “Multi-objective optimization of a two-echelon vehicle routing problem with vehicle synchronization and ‘grey zone’ customers arising in urban logistics,” *European Journal of Operational Research*, 289(3), 940-958.
- Androultsopoulos, K. N., & Zografos, K. G. (2017), “An integrated modelling approach for the bicriterion vehicle routing and scheduling problem with environmental considerations,” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 82, 180-209.
- Archetti, C., Guerriero, F., & Macrina, G. (2021), “The online vehicle routing problem with occasional drivers,” *Computers & Operations Research*, 127, 105144.
- Arslan, A. M., Agatz, N., Kroon, L., & Zuidwijk, R. (2019), “Crowdsourced delivery—A dynamic pickup and delivery problem with ad hoc drivers,” *Transportation Science*, 53(1), 222-235.
- Bambury, D. (2015), “Drones: Designed for product delivery,” *Design Management Review*, 26(1), 40-48.
- Barr, A., & Wohl, J. (2013), “Exclusive: Walmart may get customers to deliver packages to online buyers,” *REUTERS–Business Week*, (March).
- Bektaş, T., & Laporte, G. (2011), “The pollution-routing problem,” *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(8), 1232-1250.
- Chen, Y., Guo, X. and Ran, J. (2010), “The shared parking facilities to the building in cities,” *Modern Urban Research*, 25, 21-25.
- Cai, Y., Chen, J., Zhang, C., & Wang, B. (2018) , “A parking space allocation method

to make a shared parking strategy for appertaining parking lots of public buildings,” *Sustainability*, 11(1), 120.

Chen, C. M., Lv, S., Ning, J., & Wu, J. M. T. (2023) , “A Genetic Algorithm for the Waitable Time-Varying Multi-Depot Green Vehicle Routing Problem,” *Symmetry*, 15(1), 124.

Coe, E., (2005) , “Average carbon dioxide emissions resulting from gasoline and diesel fuel,” *Technical report, United States Environmental Protection Agency*, <<http://www.epa.gov/otaq/climate/420f05001.pdf>> (Accessed date 11.02.11).

Cuda, R., Guastaroba, G., & Speranza, M. G. (2015), “A survey on two-echelon routing problems,” *Computers & Operations Research*, 55, 185-199.

Demir, E., Bektaş, T., & Laporte, G. (2012), “An adaptive large neighborhood search heuristic for the pollution-routing problem,” *European Journal of Operational Research*, 223(2), 346-359.

Drexl, M., & Schneider, M. (2015), “A survey of variants and extensions of the location-routing problem,” *European Journal of Operational Research*, 241(2), 283-308.

Eskandarpour, M., Ouelhadj, D., Hatami, S., Juan, A. A., & Khosravi, B. (2019), “Enhanced multi-directional local search for the bi-objective heterogeneous vehicle routing problem with multiple driving ranges,” *European Journal of Operational Research*, 277(2), 479-491.

Franceschetti, A., Demir, E., Honhon, D., Van Woensel, T., Laporte, G., & Stobbe, M. (2017), “A metaheuristic for the time-dependent pollution-routing problem,” *European Journal of Operational Research*, 259(3), 972-991.

Gan, M., Liu, X., Chen, S., Yan, Y., & Li, D. (2018), “The identification of truck-related greenhouse gas emissions and critical impact factors in an urban logistics network,” *Journal of Cleaner Production*, 178, 561-571.

Ghannadpour, S. F., & Zarrabi, A. (2019), “Multi - objective heterogeneous vehicle routing and scheduling problem with energy minimizing,” *Swarm and*

evolutionary computation, 44, 728-747.

Guo, W., Zhang, Y., Xu, M., Zhang, Z., & Li, L. (2016), “Parking spaces repurchase strategy design via simulation optimization,” *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 20(3), 255-269.

Halim, R., Kauppila, J., Martinez, L., & Merk, O. (2017), “International freight,” *ITF Transport Outlook*, 69-100.

Huang, K., & Ardiansyah, M. N. (2019), “A decision model for last-mile delivery planning with crowdsourcing integration,” *Computers & Industrial Engineering*, 135, 898-912.

Jeste, D. V., & Childers, J. (2017), “Strategic planning for transformative senior living: Developing tomorrow's leadership and workforce,” *Seniors Housing & Care Journal*, 25(1).

Kafle, N., Zou, B., & Lin, J. (2017), “Design and modeling of a crowdsource-enabled system for urban parcel relay and delivery,” *Transportation Research Part B: Methodological*, 99, 62-82.

Kim, D., Ko, J., & Park, Y. (2015), “Factors affecting electric vehicle sharing program participants' attitudes about car ownership and program participation,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 36, 96-106.

Kramer, R., Subramanian, A., Vidal, T., & Lucídio dos Anjos, F. C. (2015), “A matheuristic approach for the pollution-routing problem,” *European Journal of Operational Research*, 243(2), 523-539.

Lee, E. E., Depp, C., Palmer, B. W., Glorioso, D., Daly, R., Liu, J., Tu, X.M., Kim, H.-C., Tarr, P., Yamada, Y., & Jeste, D. V. (2019), “High prevalence and adverse health effects of loneliness in community-dwelling adults across the lifespan: Role of wisdom as a protective factor,” *International Psychogeriatrics*, 31(10), 1447-1462.

Li, C., Mirosa, M., & Bremer, P. (2020), “Review of online food delivery platforms and their impacts on sustainability,” *Sustainability*, 12(14), 5528.

Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T., Chung, S. H., & Lam, H. Y. (2014), “Survey of green vehicle routing problem: Past and future trends,” *Expert Systems with Applications*, 41(4), 1118-1138.

Litman, T. (2016), “Parking management: strategies, evaluation and planning ,”*Victoria, BC, Canada: Victoria Transport Policy Institute.*

Macrina, G., Di Puglia Pugliese, L., Guerriero, F., & Laganà, D. (2017), “The vehicle routing problem with occasional drivers and time windows,” *In Optimization and Decision Science: Methodologies and Applications: ODS, Sorrento ,Italy, September 4-7, 2017* 47 (pp. 577-587). Springer International Publishing.

Morlett Paredes, A., Lee, E. E., Chik, L., Gupta, S., Palmer, B. W., Palinkas, L. A., Kim, Ho-Cheol & Jeste, D. V. (2021) , “Qualitative study of loneliness in a senior housing community: the importance of wisdom and other coping strategies,” *Aging & mental health*, 25(3), 559-566.

Prodhon, C., & Prins, C. (2014), “A survey of recent research on location-routing problems,” *European Journal of Operational Research*, 238(1), 1-17.

Shao, C., Yang, H., Zhang, Y., & Ke, J. (2016), “A simple reservation and allocation model of shared parking lots,” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 71, 303-312.

Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., & Bektaş, T. (2015), “The time-dependent two-echelon capacitated vehicle routing problem with environmental considerations,” *International Journal of Production Economics*, 164, 366-378.

Wang, A., Guan, H., Qin, Z., & Zhu, J. (2021), “Study on the intention of private parking space owners of different levels of cities to participate in shared parking in China,” *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2021.

Xu, S. X., Cheng, M., Kong, X. T., Yang, H., & Huang, G. Q. (2016), “Private parking slot sharing,” *Transportation Research Part B: Methodological*, 93, 596-617.

Yan, Q., Feng, T., & Timmermans, H. (2020), “Investigating private parking space owners’ propensity to engage in shared parking schemes under conditions of

uncertainty using a hybrid random-parameter logit-cumulative prospect theoretic model,” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 120, 102776.

Yang, B., Yuan, Z., Yang, Y., Yin, R., & Wang, Y. (2017), “The study on allocation model of shared parking slots in multi-parking lots,” *International Conference on Mechatronics, Materials, Chemistry and Computer Engineering*, ICMMCCE 2017 (pp. 457-465). Atlantis Press.

Zhang, W., & Wang, S. (2018), “Pricing of shared-parking lot: An application of hotelling Model,” *In International Conference on Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services*, (pp. 310-317). Springer, Cham.

Zong, F., Zhang, H. and Z. Juan. (2010), “Bayesian network-based parking behaviour analysis systems,” *Engineering-Theory & Practice*, 30, 948-955.

蘇 怡 文 (2017) , 韓 國 高 齡 人 力 資 源 政 策 , 網 站 :
https://itriexpress.blogspot.com/2017/12/blog-post_85.html。

國研院科技政策研究與資訊中心 PRIDE 指標資料庫(2019),65 歲以上人口泡泡圖，網站：https://pride.stpi.narl.org.tw/index/bubble_world。

臺北市就業服務處(2020),高齡者就業促進調查計畫調查報告，網站：https://www-ws.gov.taipei/001/Upload/452/relfile/22218/3452062/848fbfaf_db55_4cae_8c20_81a277953da5.pdf。

美國勞工部依據美國老人法(Older Americans Act)編列經費所實施的「老人社區服務就業計畫」(Senior Community Service Employment Program, SCSEP) ，網站：<https://www.dol.gov/agencies/eta/seniors>。

附錄 A

附表 A-1 無碳排模型總體成本之比對比較表

模型 情境	2a_ODE_cost	3a_ODE_cost	H&A_cost	ODE_H_3a_Gap%	ODE_H_2a_Gap%	ODE_2a_3a_Gap%
test0	2082.9	1479.4	2308.9	56.1%	10.9%	40.8%
test1	2050.3	1520.9	2271.2	49.3%	10.8%	34.8%
test2	2121.8	1511.3	2369.1	56.8%	11.7%	40.4%
test3	2060.7	1520.5	2256.0	48.4%	9.5%	35.5%
test4	2099.8	1505.3	2330.1	54.8%	11.0%	39.5%
test5	2158.3	1518.6	2391.1	57.4%	10.8%	42.1%
test6	2108.6	1557.0	2335.8	50.0%	10.8%	35.4%
test7	2202.6	1536.6	2413.4	57.1%	9.6%	43.3%
test8	2165.4	1541.7	2402.5	55.8%	10.9%	40.5%
test9	2133.7	1509.8	2378.6	57.5%	11.5%	41.3%
Average	2118.4	1520.1	2345.7	54.3%	10.7%	39.4%

附表 A-2 碳排模型總體成本之比對比較表

模型 情境	1a_cost	2a_cost	3a_cost	1a_2a_Gap%	1a_3a_Gap%	2a_3a_Gap%
test0	16815.7	14349.6	9508.9	17.2%	76.8%	50.9%
test1	16381.4	14130.4	9751.1	15.9%	68.0%	44.9%
test2	17071.0	14645.9	9595.5	16.6%	77.9%	52.6%
test3	17267.3	14000.7	9715.8	23.3%	77.7%	44.1%
test4	17321.3	14542.6	9610.1	19.1%	80.2%	51.3%
test5	18837.8	14848.8	9646.6	26.9%	95.3%	53.9%
test6	17359.9	14469.3	9894.1	20.0%	75.5%	46.2%
test7	19476.3	15029.2	9969.5	29.6%	95.4%	50.8%
test8	19084.0	14968.9	9743.9	27.5%	95.9%	53.6%
test9	19278.5	14734.2	9589.9	30.8%	101.0%	53.6%
Average	17889.3	14572.0	9702.5	22.7%	84.4%	50.2%

附表 A-3 無碳排模型總體成本之比對與各種策略的卡車數 k、回收卡車數 rk、從共享停車位出發眾包數 mb 和高齡社區出發眾包數 zb 之服務需求節點數量以及個別使用量比較表

情境	模型	卡車與眾包服務需求節點數量			卡車、回收卡車與眾包使用量			
		k	mb	zb	k	rk	mb	zb
test0	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	12	5	0	3	2	3	0

	3a_model	5	7	5	2	2	5	2
test1	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	9	8	0	3	2	4	0
	3a_model	3	9	5	2	2	5	2
test2	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	9	8	0	3	2	3	0
	3a_model	2	10	5	2	2	5	2
test3	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	12	5	0	3	2	3	0
	3a_model	3	9	5	2	2	6	2
test4	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	10	7	0	3	2	4	0
	3a_model	4	8	5	2	2	6	2
test5	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	10	7	0	3	2	4	0
	3a_model	4	8	5	2	2	6	2
test6	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	8	9	0	3	2	4	0
	3a_model	3	9	5	2	2	5	2
test7	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	10	7	0	3	2	4	0
	3a_model	3	9	5	2	2	6	2

test8	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	10	7	0	3	2	4	0
	3a_model	4	8	5	2	2	5	2
test9	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	9	8	0	3	2	4	0
	3a_model	2	10	5	2	2	6	2

表 A-4 純高齡社區、純共享停車位和整合共享停車位與高齡社區兩種中轉點做為中轉點與個別成本之比較表

情境	M0Z4			M5Z0			M5Z4		
	模型	1a_cost	2a_cost	3a_cost	1a_cost	2a_cost	3a_cost	1a_cost	2a_cost
總體成本	16815.7	16815.7	16815.7	16815.7	14349.6	13769.4	16815.7	14349.6	9508.9
卡車總體行駛成本	15512.1	15512.1	15512.1	15512.1	12924.0	12366.2	15512.1	12924.0	8377.0
回收卡車總體行駛成本	0.0	0.0	0.0	0.0	249.5	249.5	0.0	249.5	249.5
共享停車位租借成本	0.0	0.0	0.0	0.0	23.4	31.2	0.0	23.4	39.0
高齡社區租借成本	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4
共享停車位眾包總成本	0.0	0.0	0.0	0.0	46.4	63.0	0.0	46.4	80.8
高齡社區眾包總成本	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.1
共享停車位眾包固定成本	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	15.6	0.0	11.7	19.5
高齡社區眾包固定成本	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8
共享停車位眾包可變成本	0.0	0.0	0.0	0.0	34.7	47.4	0.0	34.7	61.3
高齡社區眾包可變成本	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.3
卡車&回收卡車總體碳排成本	1303.5	1303.5	1303.5	1303.5	1106.3	1059.4	1303.5	1106.3	724.2

卡車總體碳排成本	1303.5	1303.5	1303.5	1303.5	1086.1	1039.2	1303.5	1086.1	703.9
回收卡車總體碳排成本	0.0	0.0	0.0	0.0	20.2	20.2	0.0	20.2	20.2

附表 A-5 純高齡社區、純共享停車位和整合兩種中轉點情況與各種策略的卡車數 k、回收卡車數 rk、從共享停車位出發眾包數 mb 和高齡社區出發眾包數 zb 之服務需求節點數量以及個別使用量比較表

情境	模型	卡車與眾包服務需求節點數量			卡車、回收卡車與眾包使用量			
		k	mb	zb	k	rk	mb	zb
M0Z4	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	17	0	0	3	0	0	0
	3a_model	17	0	0	3	0	0	0
M5Z0	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	12	5	0	3	2	3	0
	3a_model	10	7	0	3	2	4	0
M5Z4	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	12	5	0	3	2	3	0
	3a_model	5	7	5	2	2	5	2

附表 A-6 固定高齡社區數量遞增 1 個共享停車位與個別成本之比較表

情境	M0Z4			M1Z4			M2Z4		
	模型	1a_cost	2a_cost	3a_cost	1a_cost	2a_cost	3a_cost	1a_cost	2a_cost
總體成本	16815.7	16815.7	16815.7	16815.7	16564.0	14790.8	16815.7	15742.4	14331.8
卡車總體行駛成本	15512.1	15512.1	15512.1	15512.1	15144.7	13578.9	15512.1	14455.1	13057.7

回收卡車總體行駛成本	0.0	0.0	0.0	0.0	111.9	22.4	0.0	50.1	72.5
共享停車位租借成本	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0	7.8	15.6
高齡社區租借成本	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4	0.0	0.0	10.4
共享停車位眾包總成本	0.0	0.0	0.0	0.0	17.8	0.0	0.0	10.7	16.2
高齡社區眾包總成本	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.2	0.0	0.0	56.2
共享停車位眾包固定成本	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	3.9	7.8
高齡社區眾包固定成本	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0	7.8
共享停車位眾包可變成本	0.0	0.0	0.0	0.0	13.9	0.0	0.0	6.8	8.4
高齡社區眾包可變成本	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.4	0.0	0.0	48.4
卡車&回收卡車總體碳排成本	1303.5	1303.5	1303.5	1303.5	1281.7	1142.9	1303.5	1218.8	1103.2
卡車總體碳排成本	1303.5	1303.5	1303.5	1303.5	1272.7	1141.1	1303.5	1214.7	1097.3
回收卡車總體碳排成本	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	1.8	0.0	4.1	5.9
情境	M3Z4			M4Z4			M5Z4		
模型	1a_cost	2a_cost	3a_cost	1a_cost	2a_cost	3a_cost	1a_cost	2a_cost	3a_cost
總體成本	16815.7	15411.9	14000.3	16815.7	15411.9	14000.3	16815.7	14349.6	9508.9
卡車總體行駛成本	15512.1	14107.4	12732.2	15512.1	14107.4	12732.2	15512.1	12924.0	8377.0
回收卡車總體行駛成本	0.0	72.5	72.5	0.0	72.5	72.5	0.0	249.5	249.5
共享停車位租借成本	0.0	15.6	31.2	0.0	15.6	31.2	0.0	23.4	39.0
高齡社區租借成本	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	10.4
共享停車位眾包總成本	0.0	25.1	47.7	0.0	25.1	47.7	0.0	46.4	80.8
高齡社區眾包總成本	0.0	0.0	35.8	0.0	0.0	35.8	0.0	0.0	28.1
共享停車位眾包固定成本	0.0	7.8	15.6	0.0	7.8	15.6	0.0	11.7	19.5

高齡社區眾包固定成本	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	7.8
共享停車位眾包可變成本	0.0	17.3	32.1	0.0	17.3	32.1	0.0	34.7	61.3
高齡社區眾包可變成本	0.0	0.0	31.9	0.0	0.0	31.9	0.0	0.0	20.3
卡車&回收卡車總體碳排成本	1303.5	1191.4	1075.8	1303.5	1191.4	1075.8	1303.5	1106.3	724.2
卡車總體碳排成本	1303.5	1185.5	1069.9	1303.5	1185.5	1069.9	1303.5	1086.1	703.9
回收卡車總體碳排成本	0.0	5.9	5.9	0.0	5.9	5.9	0.0	20.2	20.2

附表 A-7 固定高齡社區數量遞增 1 個共享停車位與各種策略的卡車數 k、回收卡車數 rk、從共享停車位出發眾包數 mb 和高齡社區出發眾包數 zb 之服務需求節點數量以及個別使用量比較表

情境	模型	卡車與眾包服務需求節點數量			卡車、回收卡車與眾包使用量			
		k	mb	zb	k	rk	mb	zb
M0Z4	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	17	0	0	3	0	0	0
	3a_model	17	0	0	3	0	0	0
M1Z4	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	16	1	0	3	1	1	0
	3a_model	15	0	2	3	1	0	2
M2Z4	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	16	1	0	3	1	1	0
	3a_model	11	2	4	2	2	2	2
M3Z4	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	13	4	0	3	2	2	0

	3a_model	8	6	3	2	2	4	1
M4Z4	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	13	4	0	3	2	2	0
	3a_model	8	6	3	2	2	4	1
M5Z4	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	12	5	0	3	2	3	0
	3a_model	5	7	5	2	2	5	2

附表 A-8 固定共享停車位數量遞增 1 個高齡社區與個別成本之比較表

情境		M5Z0			M5Z1			M5Z2		
模型		1a_cost	2a_cost	3a_cost	1a_cost	2a_cost	3a_cost	1a_cost	2a_cost	3a_cost
總體成本		16815.7	14349.6	13769.4	16815.7	14349.6	12962.6	16815.7	14349.6	12949.0
卡車總體行駛成本		15512.1	12924.0	12366.2	15512.1	12924.0	11568.5	15512.1	12924.0	11568.5
回收卡車總體行駛成本		0.0	249.5	249.5	0.0	249.5	249.5	0.0	249.5	249.5
共享停車位租借成本		0.0	23.4	31.2	0.0	23.4	31.2	0.0	23.4	31.2
高齡社區租借成本		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.6	0.0	0.0	10.4
共享停車位眾包總成本		0.0	46.4	63.0	0.0	46.4	63.0	0.0	46.4	63.0
高齡社區眾包總成本		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.4	0.0	0.0	33.9
共享停車位眾包固定成本		0.0	11.7	15.6	0.0	11.7	15.6	0.0	11.7	15.6
高齡社區眾包固定成本		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	0.0	0.0	7.8
共享停車位眾包可變成本		0.0	34.7	47.4	0.0	34.7	47.4	0.0	34.7	47.4
高齡社區眾包可變成本		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.7	0.0	0.0	26.1

卡車&回收卡車總體碳排成本	1303.5	1106.3	1059.4	1303.5	1106.3	992.4	1303.5	1106.3	992.4
卡車總體碳排成本	1303.5	1086.1	1039.2	1303.5	1086.1	972.1	1303.5	1086.1	972.1
回收卡車總體碳排成本	0.0	20.2	20.2	0.0	20.2	20.2	0.0	20.2	20.2
情境	M5Z3			M5Z4					
模型	1a_cost	2a_cost	3a_cost	1a_cost	2a_cost	3a_cost			
總體成本	16815.7	14349.6	12945.6	16815.7	14349.6	9508.9			
卡車總體行駛成本	15512.1	12924.0	11568.5	15512.1	12924.0	8377.0			
回收卡車總體行駛成本	0.0	249.5	249.5	0.0	249.5	249.5			
共享停車位租借成本	0.0	23.4	31.2	0.0	23.4	39.0			
高齡社區租借成本	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	10.4			
共享停車位眾包總成本	0.0	46.4	63.0	0.0	46.4	80.8			
高齡社區眾包總成本	0.0	0.0	35.8	0.0	0.0	28.1			
共享停車位眾包固定成本	0.0	11.7	15.6	0.0	11.7	19.5			
高齡社區眾包固定成本	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	7.8			
共享停車位眾包可變成本	0.0	34.7	47.4	0.0	34.7	61.3			
高齡社區眾包可變成本	0.0	0.0	31.9	0.0	0.0	20.3			
卡車&回收卡車總體碳排成本	1303.5	1106.3	992.4	1303.5	1106.3	724.2			
卡車總體碳排成本	1303.5	1086.1	972.1	1303.5	1086.1	703.9			
回收卡車總體碳排成本	0.0	20.2	20.2	0.0	20.2	20.2			

附表 A-9 固定共享停車位數量遞增 1 個高齡社區與各種策略的卡車數 k、回收卡車數 rk、從共享停車位出發眾包數 mb 和高齡社區出發眾包數 zb 之服務需求節點數量以及個別使用量比較表

情境	模型	卡車與眾包服務需求節點數量			卡車、回收卡車與眾包使用量			
		k	mb	zb	k	rk	mb	zb
M5Z0	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	12	5	0	3	2	3	0
	3a_model	10	7	0	3	2	4	0
M5Z1	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	12	5	0	3	2	3	0
	3a_model	7	7	3	2	2	4	3
M5Z2	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	12	5	0	3	2	3	0
	3a_model	7	7	3	2	2	4	2
M5Z3	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	12	5	0	3	2	3	0
	3a_model	7	7	3	2	2	4	1
M5Z4	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	12	5	0	3	2	3	0
	3a_model	5	7	5	2	2	5	2

附表 A-10 不同中轉點成本與不同類別成本比較表

情境	總體成本			碳排總成本			眾包總成本			
	模型	1a_cost	2a_cost	3a_cost	1a_cost	2a_cost	3a_cost	1a_cost	2a_cost	3a_cost
1		16815.7	14349.6	9508.9	1303.5	1106.3	724.2	0.0	46.4	108.9

10	16815.7	14560.2	9953.5	1303.5	1106.3	724.2	0.0	46.4	108.9
20	16815.7	14794.2	10447.5	1303.5	1106.3	724.2	0.0	46.4	108.9
30	16815.7	15028.2	10941.5	1303.5	1106.3	724.2	0.0	46.4	108.9
40	16815.7	15234.4	11392.1	1303.5	1129.8	769.0	0.0	29.2	113.3
50	16815.7	15390.4	11730.1	1303.5	1129.8	769.0	0.0	29.2	113.3
60	16815.7	15546.4	12068.1	1303.5	1129.8	769.0	0.0	29.2	113.3
70	16815.7	15702.4	12406.1	1303.5	1129.8	769.0	0.0	29.2	113.3
80	16815.7	15858.4	12744.1	1303.5	1129.8	769.0	0.0	29.2	113.3
90	16815.7	16014.4	13082.1	1303.5	1129.8	769.0	0.0	29.2	113.3
100	16815.7	16170.4	13420.1	1303.5	1129.8	769.0	0.0	29.2	113.3
110	16815.7	16326.4	13758.1	1303.5	1129.8	769.0	0.0	29.2	113.3
120	16815.7	16482.4	14096.1	1303.5	1129.8	769.0	0.0	29.2	113.3
130	16815.7	16638.4	14434.1	1303.5	1129.8	769.0	0.0	29.2	113.3
140	16815.7	16783.5	14772.1	1303.5	1214.6	769.0	0.0	18.5	113.3
150	16815.7	16815.7	15064.3	1303.5	1303.5	858.0	0.0	0.0	94.8

附表 A-11 不同中轉點成本與各種策略的卡車數 k、回收卡車數 rk、從共享停車位出發眾包數 mb 和高齡社區出發眾包數 zb 之服務需求
節點數量以及個別使用量比較表

情境	模型	卡車與眾包服務需求節點數量			卡車、回收卡車與眾包使用量			
		k	mb	zb	k	rk	mb	zb
Cm1170Cz780	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	17	0	0	3	0	0	0

	3a_model	9	2	6	2	1	2	2
Cm312Cz208	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	14	3	0	3	2	2	0
	3a_model	7	4	6	2	2	3	2
Cm7.8Cz5.2	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	12	5	0	3	2	3	0
	3a_model	5	7	5	2	2	5	2

附表 A-12 不同眾包成本與不同類別成本比較表

情境	總體成本			碳排總成本			眾包總成本			
	模型	1a_cost	2a_cost	3a_cost	1a_cost	2a_cost	3a_cost	1a_cost	2a_cost	3a_cost
1	16815.7	14349.6	9508.9	1303.5	1106.3	724.2	0.0	46.4	108.9	
5	16815.7	14535.2	9944.3	1303.5	1106.3	724.2	0.0	232.0	536.4	
10	16815.7	14733.1	10446.6	1303.5	1108.9	726.8	0.0	395.7	1004.4	
15	16815.7	14931.0	10948.8	1303.5	1108.9	726.8	0.0	593.5	1506.7	
20	16815.7	15128.8	11451.0	1303.5	1108.9	726.8	0.0	791.4	2008.9	

附表 A-13 不同眾包成本與各種策略的卡車數 k、回收卡車數 rk、從共享停車位出發眾包數 mb 和高齡社區出發眾包數 zb 之服務需求
節點數量以及個別使用量比較表

情境	模型	卡車與眾包服務需求節點數量			卡車、回收卡車與眾包使用量			
		k	mb	zb	k	rk	mb	zb
CR3.9C01.95	1a_model	17	0	0	3	0	0	0

	2a_model	12	5	0	3	2	3	0
	3a_model	5	7	5	2	2	5	2
CR39C019.5	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	13	4	0	3	2	3	0
	3a_model	6	6	5	2	2	6	2
	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
CR78C039	2a_model	13	4	0	3	2	3	0
	3a_model	6	6	5	3	2	6	2

附表 A-14 不同卡車服務時間與不同類別成本比較表

情境	Lmin0Lmax540			Lmin30Lmax510			Lmin60Lmax510		
模型	1a_cost	2a_cost	3a_cost	1a_cost	2a_cost	3a_cost	1a_cost	2a_cost	3a_cost
總體成本	16815.7	14349.6	9508.9	16815.7	14349.6	9508.9	18461.8	16670.0	10070.0
卡車總體行駛成本	15512.1	12924.0	8377.0	15512.1	12924.0	8377.0	17030.7	15040.4	8760.3
回收卡車總體行駛成本	0.0	249.5	249.5	0.0	249.5	249.5	0.0	284.5	340.6
總體中轉點總成本	0.0	23.4	49.4	0.0	23.4	49.4	0.0	23.4	78.0
共享停車位租借成本	0.0	23.4	39.0	0.0	23.4	39.0	0.0	23.4	62.4
高齡社區租借成本	0.0	0.0	10.4	0.0	0.0	10.4	0.0	0.0	15.6
總體眾包總成本	0.0	46.4	108.9	0.0	46.4	108.9	0.0	34.7	127.4
共享停車位眾包總成本	0.0	46.4	80.8	0.0	46.4	80.8	0.0	34.7	92.6
高齡社區眾包總成本	0.0	0.0	28.1	0.0	0.0	28.1	0.0	0.0	34.8
共享停車位眾包固定成本	0.0	11.7	19.5	0.0	11.7	19.5	0.0	11.7	31.2

高齡社區眾包固定成本	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0	11.7
共享停車位眾包可變成本	0.0	34.7	61.3	0.0	34.7	61.3	0.0	23.0	61.4
高齡社區眾包可變成本	0.0	0.0	20.3	0.0	0.0	20.3	0.0	0.0	23.1
卡車&回收卡車總體碳排成本	1303.5	1106.3	724.2	1303.5	1106.3	724.2	1431.2	1287.0	763.8
卡車總體碳排成本	1303.5	1086.1	703.9	1303.5	1086.1	703.9	1431.2	1263.9	736.2
回收卡車總體碳排成本	0.0	20.2	20.2	0.0	20.2	20.2	0.0	23.1	27.6

附表 A-15 不同卡車服務時間與各種策略的卡車數 k、回收卡車數 rk、從共享停車位出發眾包數 mb 和高齡社區出發眾包數 zb 之服務需求節點數量以及個別使用量比較表

情境	模型	卡車與眾包服務需求節點數量			卡車、回收卡車與眾包使用量			
		k	mb	zb	k	rk	mb	zb
Lmin0Lmax540	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	12	5	0	3	2	3	0
	3a_model	5	7	5	2	2	5	2
Lmin30Lmax510	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	12	5	0	3	2	3	0
	3a_model	5	7	5	2	2	5	2
Lmin60Lmax510	1a_model	17	0	0	3	0	0	0
	2a_model	13	4	0	3	2	3	0
	3a_model	4	8	5	3	2	8	3