



東海大學

環境科學與工程學系

碩士論文

以多重代理人基模擬方法建立校園廢棄物之收集清運系統

Establishing Campus Waste Collection and Transportation
System using Multi-Agent Based Approach

研究生：沈憶萍

指導教授：陳鶴文 博士

陳維燁 博士

中華民國 106 年 12 月

東海大學碩士班研究生
論文指導教授推薦書

環境科學與工程學系沈憶萍君所提之論文

題目：以多重代理人基模擬方法建立校園廢棄物之收集清運系統

Establishing Campus Waste Collection and Transportation
System using Multi-Agent Based Approach

係由本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授： 陳鵬文 (簽章)
陳憶萍

106 年 12 月 16 日

東海大學環境科學系碩士班

論文口試委員審定書

環境科學與工程學系碩士班沈憶萍君所提之論文

題目：以多重代理人基模擬方法建立校園廢棄物之收集清運系統

Establishing Campus Waste Collection and Transportation
System using Multi-Agent Based Approach

經本委員會審議，認為符合碩士資格標準。

論文口試委員召集人 范煥岑 (簽章)

委員 陳維斌

黃錦明

陳建元

陳鶴文

中華民國 106 年 12 月 16 日

誌謝

在東海研究所這兩年的時間，首先感謝我的指導教授陳鶴文與陳維燁老師，不厭其煩的一再細心教導與指引方向，使我能夠有所成長，才使得本論文得以順利完成，在此謹敬上最高謝意與感激。論文審查期間，感謝黃錦明老師、范煥榮老師與陳建元老師願意擔任學生的口試委員，提供許多寶貴的意見，使本論文更加的完備，在此也致上崇高的敬意。

感謝所上諸位老師對學生的教導，以及我的研究路程中夥伴，學長姐-祥哥、硯勛、鈺雯，同學-曲廷、詠森，學弟妹-欣宜、小仔、品雯，有你們與我共度這兩年的時光讓我研究生活更加美好充實與豐富。

最後感謝家人，有你們細心栽培與照顧，讓我無後顧之憂的學習與完成學業，所以我的成就也是你們的驕傲。謹於此將完成學業的喜悅及榮耀獻給你們！

沈憶萍 謹致

中華民國 106 年 12 月

摘要

隨著人口增加、經濟社會的快速發展，全球正面臨著廢棄物大量增加的危機。廢棄物管理是一個複雜的管理問題，它涉及了社會、經濟、環境和立法等不同面向，因應不同的廢棄物管理問題，各種不同的廢棄物管理策略和處理技術被快速的發展出來。而廢棄物量會影響廢棄物收集及清運，不當的收集及清運，會導致廢棄物的累積，因此廢棄物的清運與收集扮演重要角色，面對收集及清運問題，長久以來都以經驗和地方習慣的方式去規劃對策，雖然看似已經趨近於完美，一旦遇到突發或特殊事件，使經驗和習慣改變，就得重新勘查、規劃，無形中會增加許多成本。

因此本研究想以更微觀的方式，微觀至個體，模擬代理人行為和相互作用，以下對上的方式反應系統和預測複雜現象，利用多重代理人基模型，結合行人選擇目的地行為，及事件下代理人的行為反應，建立廢棄物收集及清運系統，並且進行情境模擬，探討事件及代理人之行為變化。

研究結果顯示，子母車代理人分佈位置，影響學生及遊客代理人選擇哪一子母車代理人進行丟棄廢棄物行為，加上活動範圍不同、人數不同，因此觸發事件之子母車代理人也會有所不同。控制車庫代理人方式，可能影響子母車代理人廢棄物累積情形，以及垃圾車代理人清運時間。

關鍵字：廢棄物管理、多重代理人基模型、行為模擬

ABSTRACT

With the rapid economic development and increasing population, waste generation has increased rapidly around the world. Waste management is a complex management issues. It involves social, economic, environmental and legislative aspects. In response to different waste management issues, many waste management strategies and processing technologies have been rapidly developed. However, the waste generation will affect waste collection and transportation. Improper waste collection and transportation leads to accumulation of waste. Therefore, collection and transportation play an important role. Faced with the collection and transportation issues, it is usually plan strategy that based on experience and local habits. In this way, it costs more to re-plan if it encounters unexpected events and changes its experience and habits.

Therefore, this study attempt to micro-to-individual, simulate agent behaviors and interaction, using the agent based models take a "bottom-up" approach, combined with the behavior of pedestrian destination selection and the agent's behavior reaction under the event. Establish waste collection and transportation systems to explore event and the change of agent behaviors.

The results show that the location of the dumpsters can affect which dumpster is pedestrians chosen to discard waste. In addition, differences in space environment and pedestrian attributes, the dumpsters which triggered the event will be different. Controlling the depot may affect the waste accumulation situation of dumpster as well as the collection and transportation time of garbage truck.

Keywords: Waste Management, Multi-Agent Based Models, Behavioral Modeling

總目錄

誌謝	III
摘要	IV
ABSTRACT.....	V
總目錄	VI
表目錄	VIII
圖目錄	IX
第一章 緒論.....	1
1.1 研究緣起.....	1
1.2 研究目的.....	3
第二章 文獻回顧.....	4
2.1 廢棄物收集清運文獻.....	5
2.2 行人行為研究.....	6
2.3 代理人基模型.....	7
2.3.1 前言	7
2.3.2 什麼是代理人?.....	10
2.3.3 代理人基模型定義.....	12
2.3.4 代理人之架構及類別.....	18
2.3.5 多重代理人系統.....	20
2.3.6 代理人基模型的背景.....	21
2.3.7 代理人基模型的應用.....	24
2.4 小結.....	40
第三章 研究方法.....	41
3.1 研究架構.....	41
3.2 建立基本概念模型.....	42
3.2.1 事件定義.....	42
3.2.2 代理人定義.....	42
3.2.3 事件觸發規則建立.....	55
3.2.4 多重代理人之關聯建立.....	56
3.2.5 多重代理人與事件之互動模型.....	58
第四章 案例分析與結果.....	61
4.1 研究樣區.....	61
4.2 基本資料.....	62
4.3 模擬環境建置.....	66

4.4	事件建立.....	69
4.5	代理人建立.....	71
4.6	多重代理人與空間環境間情境模擬.....	92
4.6.1	情境設定.....	92
4.6.2	情境模擬結果.....	95
第五章	結論與建議.....	102
5.1	結論.....	102
5.2	建議.....	103
參考文獻	104



表目錄

表 2-1 代理人架構	18
表 2-2 代理人類別	18
表 2-3 多重代理互動行為面對議題	20
表 3-1 代理人定義	43
表 4-1 研究樣區學生上課時段	63
表 4-2 代理人設定與假設	65
表 4-3 Anylogic 空間標記	67
表 4-4 定義與設定各代理人之空間資訊	68
表 4-5 事件觸發類型	69
表 4-6 Anylogic 軟體元件	71
表 4-7 Anylogic 狀態圖元件	72
表 4-8 狀態觸發條件類型	73
表 4-9 學生代理人基本元件	74
表 4-10 學生代理人觸發狀態轉移類型與設定	75
表 4-11 遊客代理人基本元件	78
表 4-12 遊客代理人觸發狀態轉移類型與設定	79
表 4-13 子母車代理人元件	82
表 4-14 子母車代理人觸發狀態轉移類型與設定	83
表 4-15 車庫代理人使用之模塊說明	85
表 4-16 車庫代理人元件	86
表 4-17 車庫代理人使用之模塊設定	87
表 4-18 垃圾車代理人元件	89
表 4-19 遊客代理人觸發狀態轉移類型與設定	90
表 4-20 情境一設定	92
表 4-21 情境二設定	93
表 4-22 情境三設定	94
表 4-23 情境一之模擬結果	95
表 4-24 情境二之模擬結果	97
表 4-25 情境三之模擬結果	99

圖目錄

圖 2-1 廢棄物清理流程.....	4
圖 2-2 代理人基模型油品供應鏈範例.....	8
圖 2-3 代理人基模型可應用領域.....	9
圖 2-4 代理人基結構圖.....	10
圖 2-5 代理人狀態圖.....	13
圖 2-6 代理人在空間移動.....	15
圖 2-7 代理人突發狀況.....	16
圖 2-8 代理人合作模式.....	19
圖 2-9 代理人競爭模式架構.....	19
圖 3-1 研究流程圖.....	41
圖 3-2 行人代理人之基本狀態.....	45
圖 3-3 行人代理人之狀態轉換圖.....	46
圖 3-4 行人代理人之狀態觸發條件圖.....	47
圖 3-5 子母車代理人之狀態轉換圖.....	48
圖 3-6 子母車代理人狀態觸發條件圖.....	49
圖 3-7 車庫代理人之離散事件模塊圖.....	50
圖 3-8 車庫代理人之觸發離散事件模塊運作圖.....	51
圖 3-9 垃圾車代理人之狀態轉換圖.....	53
圖 3-10 垃圾車代理人狀態觸發條件圖.....	54
圖 3-11 事件觸發規則.....	55
圖 3-13 廢棄物清運之初步時間序列模型.....	57
圖 3-14 事件下，代理人之關聯.....	58
圖 3-15 廢棄物收集清運之擴充時間序列模型.....	60
圖 4-1 研究樣區.....	61
圖 4-2 垃圾車收集順序.....	64
圖 4-3 最高層級的主編輯器(Main).....	66
圖 4-4 學生代理人—Student agent.....	77
圖 4-5 遊客代理人—Tourist agent.....	81
圖 4-6 子母車代理人—Dumpster agent.....	83
圖 4-7 車庫代理人—Depot agent.....	88
圖 4-8 垃圾車代理人—Truck agent.....	91

圖 4-9 情境一:子母車代理人廢棄物量	96
圖 4-10 情境二:子母車代理人廢棄物量	98
圖 4-11 情境三:子母車代理人廢棄物量	100
圖 4-12 校園廢棄物收集清運模擬展示圖	101



第一章 緒論

1.1 研究緣起

隨著人口增加、經濟社會的快速發展，全球正面臨著一般廢棄物大量增加的危機，根據世界銀行 2012 年的估計，至 2025 年一般廢棄物的數量將從目前的 1.3 億噸/年上升到 2.2 億噸/年。台灣的人民日常生活產生的一般廢棄物量由中華民國統計資料網顯示，2001~2016 年，約是每人每日 0.9 公斤。一般廢棄物量如此驚人，如果不妥善管理廢棄物，會導致人民居住環境的惡化。而廢棄物管理是一個複雜的管理問題，它涉及了社會、經濟、環境和立法等不同面向，因應不同的廢棄物管理問題，各種不同的廢棄物管理策略和處理技術被快速的發展出來。

廢棄物管理系統儲存、收集、清運、中間處理及最終處置等五大過程。Arribas et al. (2010)在聖地牙哥利用 0-1 整數規劃建立一套固體廢棄物清運系統模式，因一個設計不當的清運收集系統不只對社會增加不必要的成本外，也會對衛生及環境造成影響，因此此模式以 0-1 整數規劃找出可行的收集路線，減少收集時間、降低運輸及經營成本並進行敏感度分析。Karagiannidis et al. (2013)為了避免灰渣對人體健康或環境危害，提出使用磷酸的化學方法於最終處置、混凝土塊內添加水泥的固化於最終處置、灰渣玻璃化於最終處置三種方案，發現化學處理有最低的總處理成本，固化法提高 70%的掩埋成本，玻璃化法則是高耗能高成本的處理方法。Korucu (2011)以科賈埃利，土耳其工業化程度最高地區為案例，為了找出最佳生活廢棄物最終處置設施場址，採用多準則決策分析方法及地理信息系統 (GIS)，於生態安全標準、公眾健康安全標準、經濟標準及社會標準下，其結果可提供決策選址之用。

而一般廢棄物量會影響廢棄物收集及清運，不當的收集及清運，會

導致廢棄物的累積(Das and Bhattacharyya 2015)。所以清運與收集的作業效率好與壞對整體頗具一定的影響力，面對收集及清運問題，長久以來都以經驗和地方習慣的方式作為較好的經驗法則去規劃對策，雖然看似已經趨近於完美，一旦遇到突發或特殊事件，使經驗和習慣改變，就得重新勘查、規劃，無形中會增加許多成本。

代理人是自動化的智慧型系統，以個體為出發點，自主感知環境的變化，再經過內部推論機制，可以對環境做出不同反應，進而影響整體系統。而代理人擁有各自的行為、習慣與推論機制等，所以表現出的反應也不盡相同，如同在實際生活中，人、物、環境間會相互察覺，並擁有不同習慣及看法而產生不同反應。

因此本研究想以更微觀的方式，微觀至個體，模擬代理人行為和相互作用，以下對上的方式反應系統和預測複雜現象，例如微觀至行人選擇至目的地丟棄廢棄物等行為，換言之，當代理人遇到特殊情況或者突發事件時，行為的改變如何影響整體系統。

1.2 研究目的

綜合上述原因，廢棄物收集及清運已成為必須探討之議題，用以往經驗法則所規劃的策略，在時間的考驗下儼然形成一定的成效，因此本研究以多重代理人基方法，結合行人選擇目的地行為，及事件下代理人的行為反應，建立廢棄物收集及清運系統，主要研究目的如下所述：

1. 利用多重代理人基模型建立廢棄物收集清運系統。
2. 利用情境模擬，探討事件及代理人行為之變化。



第二章文獻回顧

依據廢棄物清理法第二條規定，所稱廢棄物分下列二種：

1. 一般廢棄物：由家戶或其他非事業所產生之垃圾、糞尿、動物屍體等，足以污染環境衛生之固體或液體廢棄物。
2. 事業廢棄物：
 - (1) 有害事業廢棄物：由事業所產生具有毒性、危險性，其濃度或數量足以影響人體健康或污染環境之廢棄物。
 - (2) 一般事業廢棄物：由事業所產生有害事業廢棄物以外之廢棄物。

垃圾清理過程是垃圾從住家或其他場所排出後，經過適當貯存、收集及清運後，先進行垃圾中間處理，中間處理過後之剩餘殘渣則再進行最終處置，上述過程如圖 2-1 所示，有時候亦將垃圾中間處理及最終處置合併辦理，例如衛生掩埋即是一例。至於清理過程中可再利用或具回收價值之物品，則依序以資源回收方式處置。

本研究主要探討一般廢棄物或一般事業廢棄物，單位需先自行估計每日廢棄物量，再依廢棄物量調派垃圾車，如單位需垃圾子車，應自行規劃垃圾子車之位置。

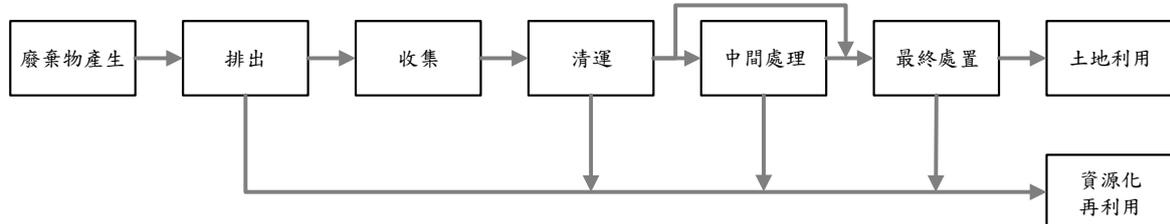


圖 2-1 廢棄物清理流程

資料來源:(陳哲寬 2002)

2.1 廢棄物收集清運文獻

曾佳媛 (2016)針對廢棄物清運路線的問題嘗試以均衡工作負荷為前提，考量於收運量、收運點數及收運距離等限制條件下，結合地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)及 Google Map 等空間資訊應用技術，提出建議的清運路線，有助於收運路線總營運成本降低，清運量上升，提高收運效率。

謝立得 (2010)探討垃圾清運及處理(置)作系統規劃，並引入中間處理設施設置之必要性，其中高雄市縣 4 座現存的焚化廠，定位為中間處理設施，並利用 0-1 混合整數規劃導行出一套最佳化垃圾清運處理(置)系統模式，另因無法及時對現狀系統作各種調查及紀錄，從而獲得模式中常係數及常數，因此加上合理的各種假設並利用 Lingo 軟體程式，以求得模式的最佳解，終而印證了所導行數學模式的完整性、可用性及周延性。

陳哲寬 (2002)以高雄市民及垃圾清運人員為對象，藉由問卷設計、調查，取得民眾及垃圾清運人員對於目前高雄市垃圾清運方式之滿意程度，及未來可能調整清運頻率之反應。問卷調查以 SPSS 統計軟體作為統計分析工具，各項問題經交叉統計，分析民眾及垃圾清運人員對目前清運方式、調整清運頻率之反應，並結合高市府環保局目前清運機具負荷及清運成本分析，再綜合各項統計分析結果，提出對高雄市未來垃圾清運頻率調整方向之建議，其分析結果，高雄市現階段垃圾清運頻率最適當的調整方案為減少清運一天，且最優先選擇應為星期日。

上述使用方法解決廢棄物的收集及清運問題，但如果遇到特殊事件或者突發狀況，往往會耗費更多時間、成本進行修正、更改，因此本研究使用代理人基模擬方法，結合行人個體的選擇至目的地行為，模擬當遇到特殊形況時，個體互動及行為反應。

2.2 行人行為研究

行人選擇至目的地行為會受到許多因素的影響，如以下文獻：

Mittal and Jhamb (2016)在印度背景下，購物者至購物中心購物的行為，主要會受到四個因素所影響：購物中心的商品、購物中心的選擇性、購物中心環境和設施，以及至購物中心的便利性，並且發現印度購物者的行為選擇與世界其他地區的購物者之間的程度相當，未來的研究有重要的意義。

Clifton et al. (2016)以俄勒岡州波特蘭為案例，模擬行人目的地選擇行為，建立多項邏輯行人目的地選擇模型，獨立變數包含：阻抗項（步行行程距離），規模（按就業類型、家庭），支持行人環境（公園，稱為 PIE 的環境變量的行人指數），步行障礙（地形，工業區）和旅行者的特點，其結果揭示距離是對行人目的地選擇的主要影響，目的地的規模或吸引力對於行走行為也很重要以及行走過程中得環境也很重要，因為好的環境對行人步行到目的地更有吸引力。

可以發現行人至目的地的選擇行為會受到許多因素所影響且複雜，因此本研究只考慮距離影響因素，來決定行人選擇之目的地。

2.3 代理人基模型

2.3.1 前言

在過去的模擬多屬於靜態的系統，系統中的每一物件都有事先被設定好的行為、規範與限制，並且在固定的規則與邏輯下運行。所謂的「傳統方法」，包含了多元迴歸、區位規劃模型、空間交互作用模型...等，雖然這些方法在學術中是被承認有效的，但幾乎面臨著相同問題，將複雜的環境變成一個穩定的空間，讓地理本質上成為一個均勻的實體，而每一個相同分類的人群或各種群體則擁有相同的特性，均按照相同的邏輯、行為模式運作，除了環境本身均勻的無差異性外，傳統模擬有幾個大瓶頸包含地理無法擴張延伸性、環境壅塞、地理空間與時間上的隔離，除了地理上的問題無法克服外，加上同族群物件行為模式一致，如此的模擬無法了解現狀、反映真實世界，更無法有效解決潛在問題。

隨著科技的發展，新的系統模擬方法—代理人基模型(Agent Based Modeling)被提出，與傳統模擬方法最大不同除了具有自主以及互動性之外，強調代理人每一個個體本身的變化、差異與其他個體的關係性，代理人在不同環境、地理系統、時間、空間影響的變化下有顯著的差異，讓模擬過程與影響更加貼近「現實」，這也是代理人基模型在模擬領域中堪稱二十一世紀一大突破。如圖 2-2 所示，代理人基模型油品供應鏈範例中，結合地理資訊系統(GIS)直接將代理人建立於地圖上運行，並且透過調整代理人的屬性、時間等因素，使模擬能更貼近真實狀況。

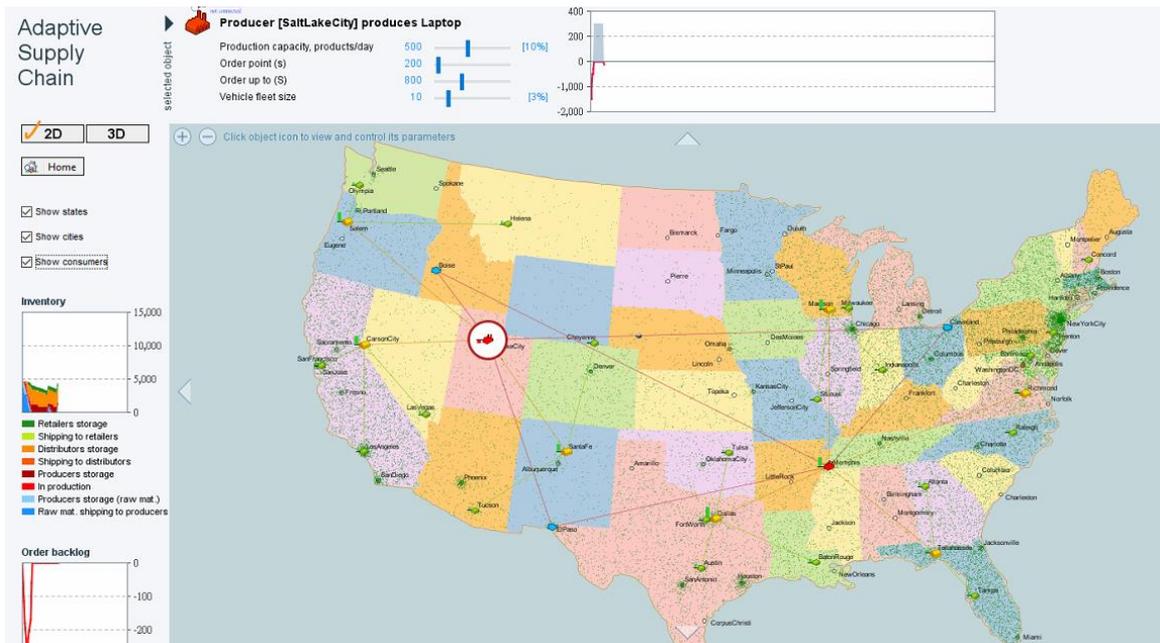


圖 2-2 代理人基模型油品供應鏈範例

資料來源:(皮托科技網站)

代理人基模型被運用在各種領域，從股市、供應鏈、消費市場，到預測流行並傳播等，甚至分析造成古文明衰敗的原因。這些模擬範疇顯現出代理人基模型的潛力，越來越多人認為代理人模型式進行研究、學術、實驗、科學的第三條道路，除了增強傳統演繹、歸納和推理的方法，更可以將因果、策略與概念等較抽象層級具體化。

現實生活環境相當複雜，環境也會隨著時間日益變更複雜，而模擬是一種在實行計畫之前，用於評估可能遭遇的風險，以及實行時可能遭遇到的問題，或觀察以實行的解決方案所潛在風險，但要建立與分析複雜的環境系統也是相當困難且複雜的，在單一系統內部的物件會產生相互交錯的關係，例如零件、人、生物群...等，同時加上時間、空間、氣候等外部條件因素，使整個系統變得更加龐大且複雜，故使用傳統的模擬方法是不適合的，例如：要模擬一家產品製造廠的經營策略，一般傳統方法每個步驟都受到規則與邏輯的限制，包括：每台機器的運作時間、每位人員的速度、規則、行為等都是固定的模式運作，無法自行決定策略及模擬特殊情況，只能利用既定的程序做為模擬的主軸，故自由度非

常低，在這情況下，就如同計算一般的線性代數將一個複雜的流程簡化，無法精確的反應出現實面，甚至會產生許多落差。代理人基模型具有放鬆管制又稱取消管制（Deregulation）的概念，因此大幅提升代理人在環境中的自由度，代理人可以自行決定決策性的策略，改變所處在的環境系統的運作方向與主軸。

基於代理人具有高自由度能自由移動、自行做決策，適用於模擬動態性和複雜性的系統，故代理人基模型可廣闊的應用在各種領域，例如：社會演進、策略規劃與管理、製造與生產、業務流程、市場經營與競爭、IT 產業與電信、醫療健保與製藥、交通運輸和倉儲、軍事與國防、鐵路、機場、車站、商場、供應鏈與物流等，如圖 2-3 所示。除了上述常見領域之外，在 2.3.7 章節會有詳細的代理人應用介紹。

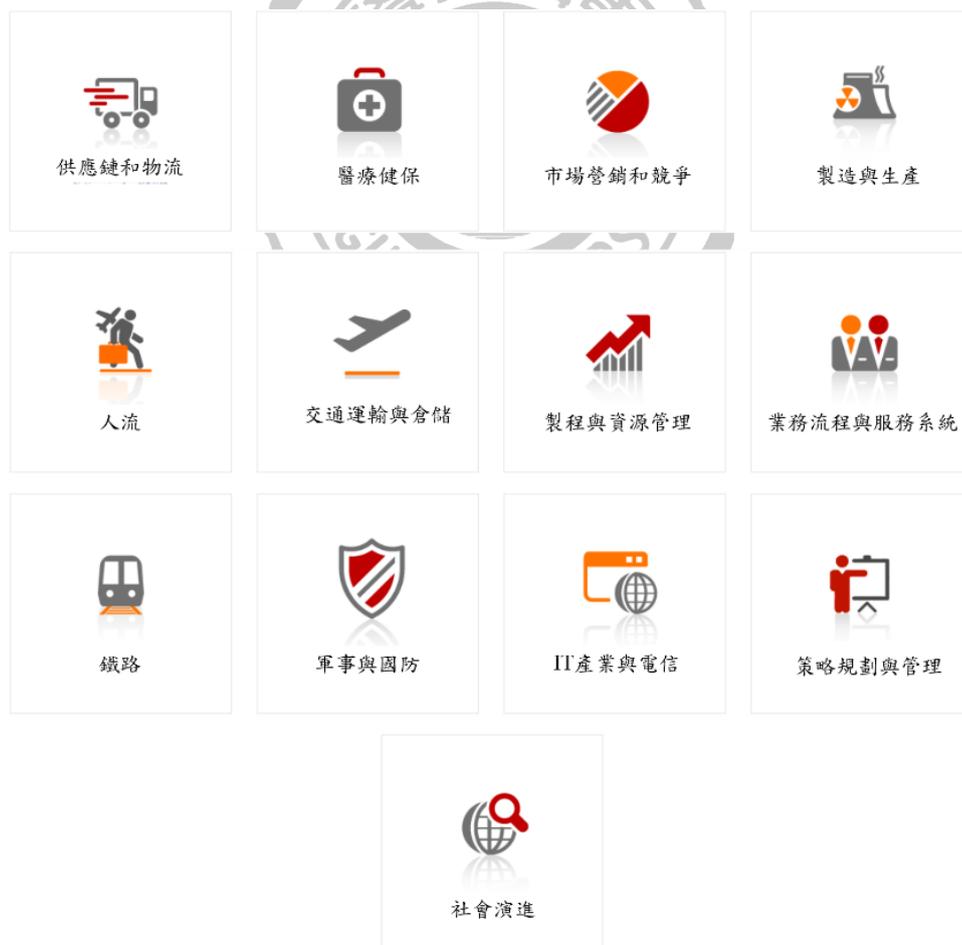


圖 2-3 代理人基模型可應用領域

資料來源:(皮托科技網站)

2.3.2 什麼是代理人?

代理人這個概念指涉的對象無所不包，可以隨學門及研究對象場景的需要而調整，是個不易理解與體會的名詞，其可解決不同面向的問題，加上電腦軟體科技日益進步，例如: StarLogo、Swarm、Netlogo、GAMA、Anylogic 等軟體同時加入其他的模擬方法如離散事件、系統動力學等模擬 Agent Based，故許多學術、研究領域雖然長期下不斷探討代理人的模擬程序、應用範圍、具體概念，仍然對代理人這名詞沒有一個明確的共識與定義。代理人的對象可以隨學門及研究對象場景的需要而調整，例如在生態學中，可以是動物、植物、鳥類、昆蟲；在醫學中，可以是細胞、病毒、染色體；在經濟學和管理學中，可以是股民、消費者、企業；而在政治學中，可以是國家、政黨、利益團體、選民。不同主題的模擬中，代理人可以有完全不同的意義，也不必是同一種類型。每個代理人都擁有個人的規則，同時這些規則會影響代理人本身、其他代理人、環境或是其他種類代理人的行為，彼此之間因而產生互動關係，如圖 2-4 所示。

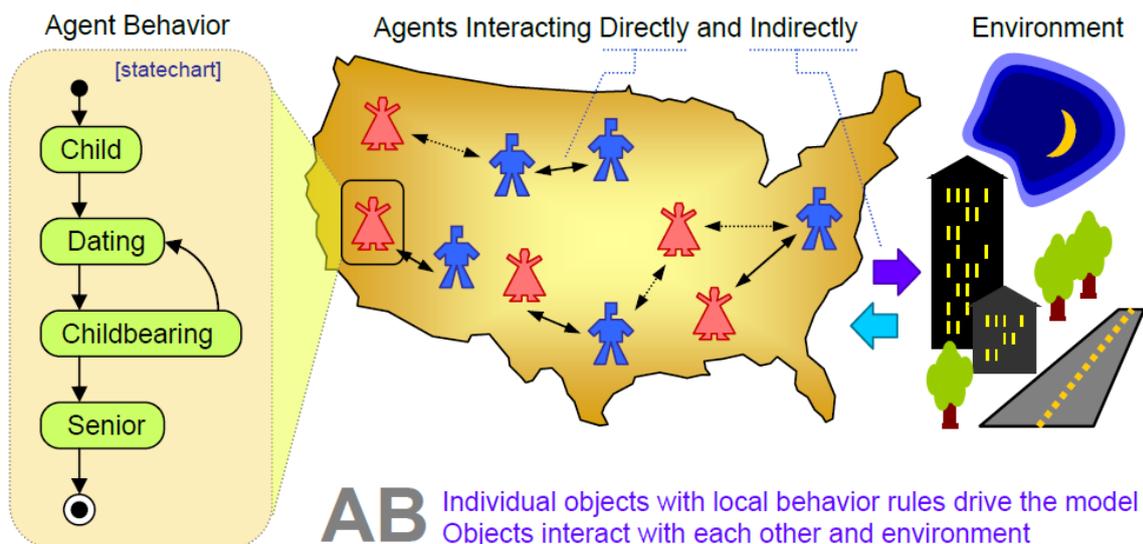


圖 2-4 代理人基結構圖

資料來源：(Borshchev and Filippov 2004)

代理人基模型最主要的概念為「代理人基模型不需知道系統的全貌，只需理解其個體有何種狀態，賦予代理人狀態並使代理人間能互動，可以更接近現實的動態環境，獲得系統潛在資訊的能力」。廣義來說，代理人的規則從簡單的 if-else 到複雜的人工智慧領域都可以，關鍵就是簡單的行為規則能夠產生複雜的行為結果，其中沒有太多的限制，但每個元件都具備適應性，才能夠被視為代理人，所謂適應性為，代理人會與所處在的環境做調適與改變，也會受到過往的經驗和事件而改變自己的行為，不斷保留或改變自己的行為與狀態，呈現一個動態的模式，因此代理人的基礎條件為下：

1. 具有基本的行為、規則，用來與現況和環境做反應
2. 透過規則來改變狀態，每個狀態都會有不同的行為，而規則的改變讓代理人具有適應性



2.3.3 代理人基模型定義

目前代理人與其技術，在各領域被廣泛地討論與應用，但是對於「代理人(Agent)」的定義仍沒有一個定論，每個領域研究的主軸與出發點也不盡相同，使得代理人特徵複雜且擁有多個面向。Ciancarini and Wooldridge (2001)認為在一個多代理人系統內，每個代理人應該具備自主性、反應能力、預先行動能力及社會性的活動能力。Farahvash and Boucher (2004)整理代理人的特性，代理人具有自主性、互動性、智慧性以及彈性。而 Aldea et al. (2004)認為代理人具有強健的、持續的及彈性等特性，來對動態且不明確的分散式種類問題來做適當的處理，而多代理人系統是與其他個別的代理人互動以交換資訊、透過合作來達成共同的目標與透過商來解決衝突的問題。綜合以上所述，雖然沒辦法明確從文獻找出一致的解釋來定義代理人，但有下列三個主要強調的特徵：自主性、多向性、相互作用性。

1. 自主性(Autonomy): 自主性部分，大致要滿足三個層面自主性(autonomy)、自我導向(self-directed)、自我獨立(self-contained)。代理人的本質與最大特色為自主性，代理人擁有自身體內的機制可以獨立、自主的與環境或其他代理人互動，此外，能夠在沒有干擾或任何來自代理人個體以外的制約控制情形下，代理人個體可以控制在它的系統內執行的行為，獨自做出決定以及行動，因此代理人的行為，會透過本身的感知(sensing)，感知外界的環境，並主動的對外界環境的刺激而做出相對應的反應。任何一個代理人個體都是能被辨識(identifiable)、獨立的個體(discrete individual)，每一個代理人個體都有各自的特徵、屬性、行為與決策能力，因此可以與其他代理人產生互動，又或者與其他代理人做出相同決定產生的群聚，不同決定產生的離散，這些都是代理人模型中狀態元件所造成的，這些狀態元

件可以是一個代理人的一部分或者多個代理人共享一個狀態，如圖 2-5 所示，狀態圖(state chart)描述代理人的行為模式，每個代理人的狀態圖都是獨立運作，雖然代理人可能共享同一個狀態圖，但是在當下代理人的狀態不一定會相同。



圖 2-5 代理人狀態圖

資料來源：(本研究繪製)

2. 多向性(Heterogeneity): 每個代理人都會有自己的屬性，包含年齡、性別、職業等，故每個代理人都是個獨立發展的個體，而代理人與代理人間可以組成一個由下而上所發展出的群集，以往的群集大多是先定義群集的特性，才從群集中定義出個體，但代理人可先利用單獨的個體逐漸發展後，相似的代理人會群聚成一個群集，但每組群集中的代理人還是擁有獨立判斷與行動的自主性。
3. 相互作用(Interacting):相互作用是動態系統的核心與原則，獨立性、多向性產生高自由度的相互作用，造就了代理人的社會性，代理人之間彼此可以互動，最常見的互動方式主要有:爭奪資源、空間、避免碰撞、相互辯識、訊息交流以及其他特定的應用方式，因此代理人模型可以廣泛的被應用，以下利用特點來描述相互作用:
 - (1) 目標導向:不同代理人個體有著各自的工作目標，並表現出有目標導向的行為活動，以實現目標為主要目的。
 - (2) 感知:代理人個體可以感知到自身周遭環境，也用有自身的知識與智慧。這些能力來自於代理人擁有「心智地圖(mental map)」或稱「狀態圖(state chart)」，使代理人可以透過感知，當所處的外界環境發生變化時，會做出相對的反應，不只是對外在環境的變化產生簡單的反應，所做的反應決策是會朝本身所設定的目標前進。
 - (3) 有限理論:代理人知識有限，在能力範圍內會合理的選擇模型，假設代理人在優化後的合理環境，代理人可以不受限制，自由的在空間中獲取資訊、思考與分析，因此代理人在合理的限制中，獨立的進行感知、判斷、行動、適應，藉此個體間產生多向性，各自有各自的判斷、行動與目的，其結果也各有不同。

- (4) 互動/交際: 代理人擁有與人類和其他代理人協調合作、溝通、交流的能力，藉以獲得資訊並且幫助任務順利達成。
- (5) 移動: 代理人程式必須能夠在不同類型的系統、機器、平台間穿梭，並且與其他代理人進行互動、取得資訊。
- (6) 適應/學習: 代理人透過過去的經驗能夠自我改變，以適應複雜的環境。代理人擁有學習能力，讓代理人能不斷的學習，從過去得經驗找出更好的解答，這種學習模式可以應用在代理人個人層面上的適應，例如: 改變學習的規則，改變代理人群體水平，改變學習頻率，重新出現資源、資訊爭奪的現象。

如圖 2-6、圖 2-7 所示，代理人可自由的在所設置的空間中做移動，同時代理人可與空間產生互動，也可模擬突發事件時，代理人的狀態改變。

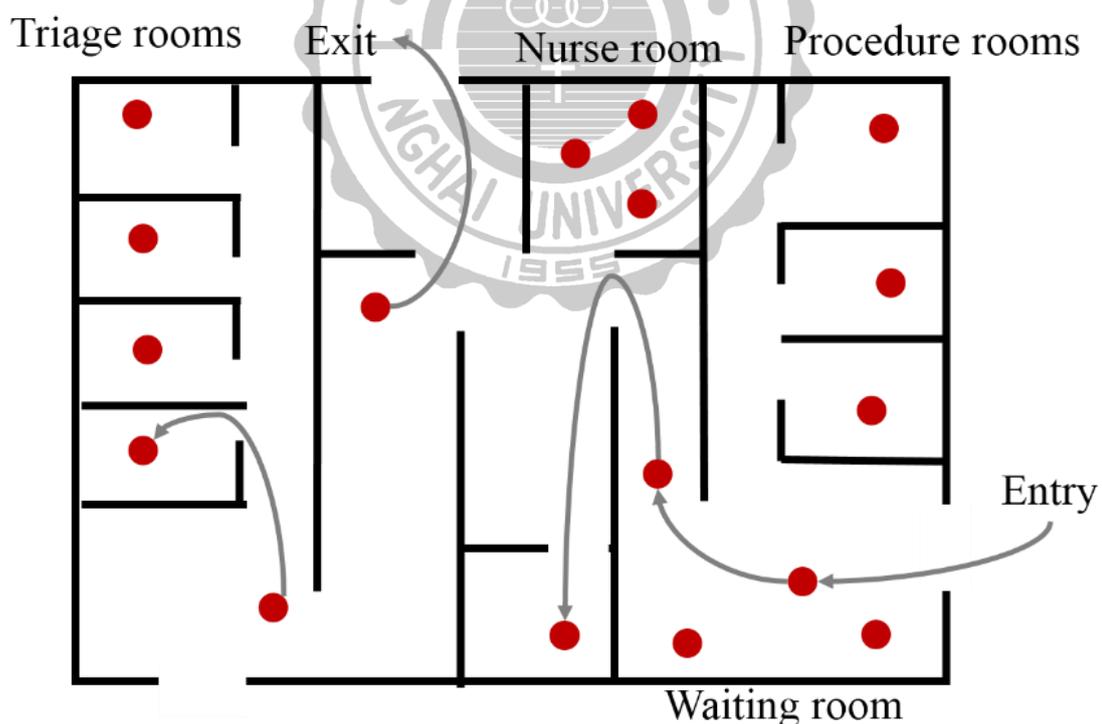


圖 2-6 代理人在空間移動

資料來源：(重繪自皮諾科技網站)

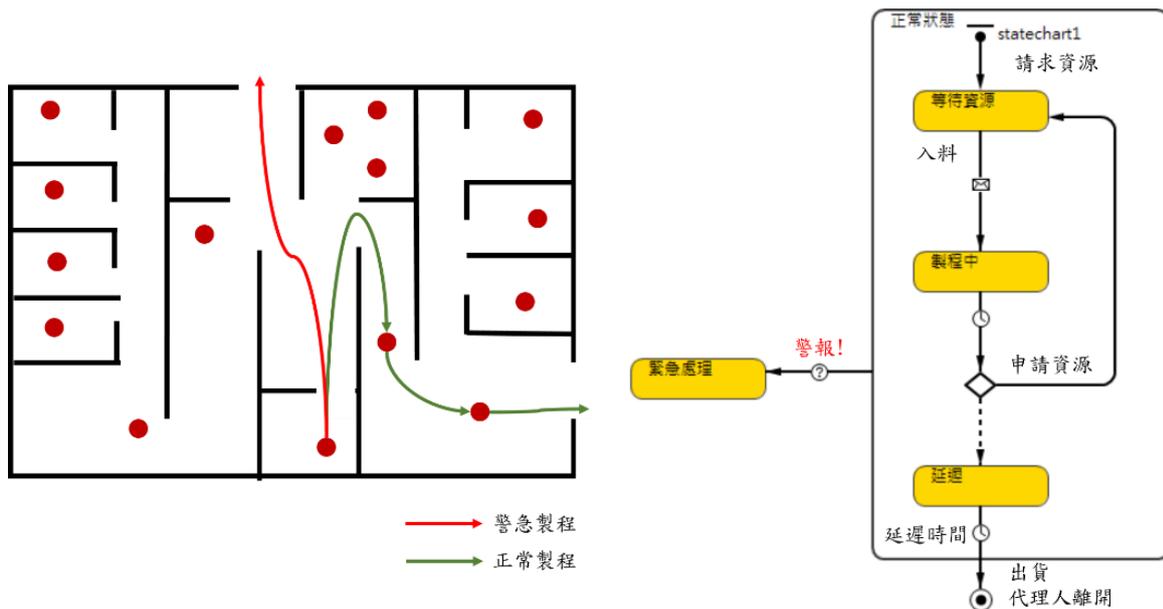


圖 2-7 代理人突發狀況

資料來源：(重繪自皮諾科技網站)

綜合上述的三個代理人的基本條件外，以下仍有些代理人的概念需再做補充說明：

1. 代理人存在一個環境當中，代理人會與環境做互動如同和其他代理人做互動，且代理人會有自己的「狀態」，故代理人與代理人間或與環境互動會做出當前狀態的行為，這也說明代理人的行為會有情境。
2. 代理人做出行為時並沒有一個明確的目標，其當下的目標不一定是該模擬的主要目標，代理人會依當前狀態去做評估，自行決定其行為為模式，且代理人的判斷及評估基準也會隨著狀態而改變。
3. 動態型的代理人具有記憶儲存的设计，能學習與適應，利用此能力可根據過往經驗和學習來調整自己的行為能力。
4. 代理人如有資料屬性，代表其當前所擁有的一個或多個資源，例如：金錢、股票、能源、利息等。

代理人的行為規則其複雜程度變化取決於代理人的認知負荷 (cognitive load) 的程度，簡單來說，不管是代理人內部或外部的模型，代理人擁有與環境做互動、當前所面臨的狀態、過去的經驗以及現在狀態等資訊時，都可被其拿來做使用，並且保留或改變自己本身的策略。

在代理人基模型中複雜的適應系統可以被建構出來，因此模擬出的結果可以更貼近現實，能達到預測的目的，但大多建模的目的是為了反映目前現況並非預測未來，因此太過複雜的系統並不常見，也不見得是建模的目的，故仍需視情況而定。例如:要建立一個供應鏈模型，其目的是要模擬現況，評估庫存管理辦法，故並不需要利用複雜的適應性。



2.3.4 代理人之架構及類別

為了使代理人適用於真實、動態且開放式的環境，Wooldridge and Jennings (1995)建立了許多架構模型，基本上可區分為以下三種類型，整理如表 2-1 所示。

除此之外，Huai (2000)依照代理人各自立場的不同，將代理人區分成合作式與競爭式兩種代理人，個別解釋如表 2-2 所示。

表 2-1 代理人架構

架構	說明	缺點	優點
審議式 (Deliberative Architectures)	依照擁有的環境資訊，進行思考、推理，找出適合的計畫，再去執行動作	在動態且複雜的環境下，無法及時地反應系統環境的變化，且運作時間過長	接近人類抽象式思考方式，容易了解其運作邏輯
反應式 (Reactive Architectures)	代理人在受到外界的刺激後，會馬上做出反應，因幾乎不用思考，所以能在很短的時間內產生動作	所蒐集到的資料不一定足夠反應式代理人做出判斷，並且對於不同的環境就會有不同的行為，造成在設計代理人時，幾乎無法從之前的情境得到經驗法則	在動態環境中，反應速度相當快
混合式 (Hybird Architectures)	代理人的行為有時候需要馬上做出反應，有時又需要謹慎思考下一步的行動，這種兩種特性兼具的代理人為混合型代理人	當產生矛盾或是衝突情況時，就需要一個協調者來輔助並控制這些活動	滿足多種不同的行為模式

資料來源:(本研究彙整)

表 2-2 代理人類別

類別	說明
合作模式代理人 (Cooperative Agent)	代理人之間，對於有限的資源爭奪問題，採取合作的機制，使得代理人彼此的資訊分享，溝通出對系統整體最好的解決方案，促使系統整體利益到達最佳化，如圖 2-8 所示。
競爭模式代理人 (Competitive Agent)	該模式的代理人只顧及本身利益，即區域最佳化，對於系統整體效能並無全盤考量，因此代理人之間為了爭奪有限的資源，完全不會有退讓的情況發生，並且參與的代理人採取資訊不分享的原則，避免代理人本身的利益損失，如圖 2-9 所示。

資料來源:(本研究彙整)

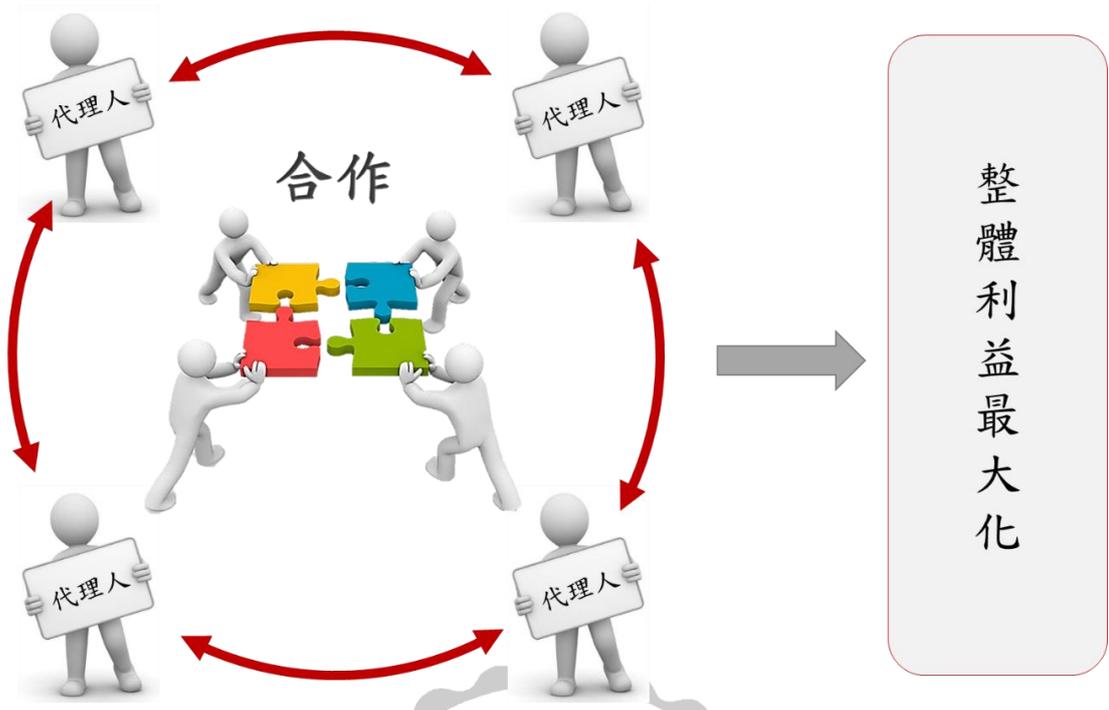


圖 2-8 代理人合作模式

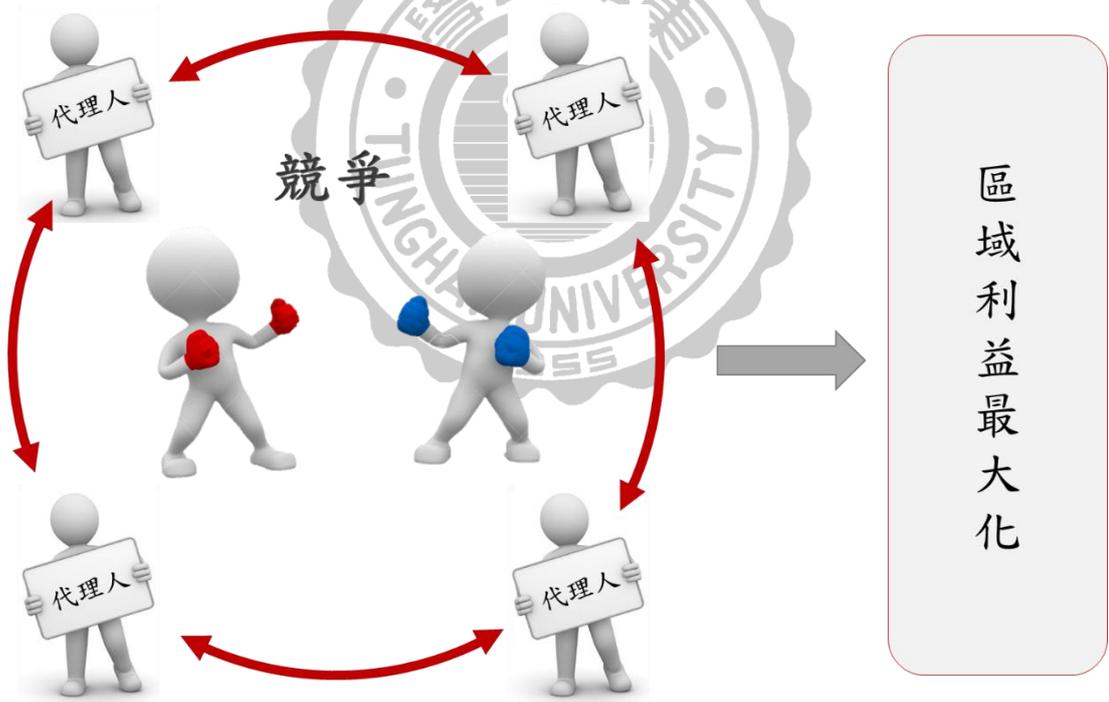


圖 2-9 代理人競爭模式架構

2.3.5 多重代理人系統

當單一代理人面對太複雜、過於困難的問題時，往往受限於其知識、計算能力及視野等無法獨力完成時，此時可由多個代理人共同解決問題，即為多重代理人。多重代理人系統則是一種採用分散式的代理系統，包括了二個以上的代理人，每個代理人都有特定的目標、行為與知識，透過競爭或合作共同完成任務。而每個代理人所擁有的知識可能為不同、不完全的資訊，也就是對某事物只有部分的觀點，或是只擁有解決當前問題的知識，因此各代理人間可透過溝通來交換彼此的資訊。多重代理人的工作模式與人類的組織一樣，將複雜的工作簡化成單一代理人可處理的程度，再由不同的代理人依其功能、知識來分配任務以解決當前問題，因此多重代理人具有下列幾項優點：

1. 可將一個完整的工作分成許多子工作，交由不同的代理人處理，如此可避免產生執行上的瓶頸。
2. 可同時處理多個工作。
3. 可處理並整合異質性的資料來源，提供使用者一致性的操作環境。

多重代理人中的代理人，與環境互動，也與身旁的代理人進行互動，因此必須考量的因素較單一代理人系統多，故有其困難之處，多重代理人之間的互動行為，依其所面對的議題可大致分為四類，如表 2-3 所示：

表 2-3 多重代理互動行為面對議題

類別	說明
合作 (Cooperation)	當面臨複雜任務時，可能需要代理人合作才得以完成任務，但過多的代理人投入可能會產生資源浪費、將任務複雜化；過少的代理人又會使任務無法完成。
協商 (Negotiation)	當多個代理人為了資源、利益產生衝突時，代理人間必須進行訊息的交換，衡量各種因素，找出最適合的解決方案。
任務分配 (Task allocation)	複雜的任務可分成許多個子任務，再依各代理人的能力將子任務適當的分配給代理人。
溝通 (Communication)	代理人間進行協商或合作時溝通是必要的，要與誰溝通、溝通的內容等皆須事先進行詳細的規劃。

資料來源:本研究彙整

2.3.6 代理人基模型的背景

為了能夠有明確的方向使用代理人，我們必須了解代理人基模型的本質。代理人基模型橫跨眾多領域，包括計算機科學、複雜科學、社會科學、系統動力學、經濟學、博弈論、系統科學、傳統的模擬與建模，同時可應用在多重代理人系統(MAS, multi-agent systems)、人工智慧(AI, artificial intelligence)、人工生命(ALife, artificial life)等概念中，代理人基模型的基礎概念適合在各種領域或技術中建模，其甚至可擴展到世界觀或哲學，但在代理人基模型開始發展前，已有其他類似的系統提供此概念與方法，以下將做詳細介紹：

1. 細胞自動機(CA, Cellular automaton):

細胞自動機是人工生命的第一個雛形，且為複雜性科學，或是複雜適應性系統的其中一支，是由一些特定規則的格子所組成，每個格子做為一個細胞，每一個細胞可以具有狀態，一個細胞的狀態是由上一個時刻所圍繞的細胞的狀態所決定，藉由細胞個體本身的內部特徵、規則，搭配會隨時間推移產生變化的外部環境運作的機制。

2. 社會力模型(Social force model)(Helbing and Molnar 1995):

社會力模型結合牛頓力學與行人動力學，利用牛頓力學中的排斥力、摩擦力與吸引力所得成的合力，搭配行人的速度與加速度，對空間和時間做微分產生連續性，最後藉由得到一段時間中行人在空間的位置、速度得到參數進而移動，是一種模擬時間和空間上連續的微觀模型。

綜合上述，簡而言之，代理人可以被視為一個能自動作業的自主體，但此自主體不侷限於生命體，也可非生命體，例如：人、車子、建築物、動物、植物、昆蟲、地理環境等，代理人可分成兩個不同概念，一是來

自於社會面向的族群，二是以物件導向設定的代理人，之後給定該物件機能以及陳述。

複雜適應系統(CAS , complex adaptive systems)

代理人基模型涉及複雜性科學、系統科學、系統動力學、計算機科學、管理科學和社會科學及傳統的建模與模擬等領域，ABMS 從這些領域整理出自己的理論基礎、建模技巧等，但 ABMS 有其直接的理論背景，複雜適應系統理論(CAS)及其所蘊涵的自下而上的建模方式，複雜科學提倡了兩個重要概念 Anderson (1999)：(1)「互動」即以相互作用觀點，指出個體間是會彼此相互影響；(2)「突現」即以層次性觀點，指出不同個體的差異性會突現出個體間的合作與競爭行為，進而突現出市場的多變特性。

複雜適應系統(CAS)理論是霍蘭(2000)年所提出，CAS 理論為系統中的成員稱為具有適應能力的主體(Adaptive Agent)。適應性是指主體能夠與環境以及其它主體進行相互作用。主體在這種持續不斷的相互作用的過程中，不斷地學習和積累經驗，並根據學到的經驗改變自身的結構和行為方式。此項觀念是構成複雜研究很重要的一環，因為複雜世界之所以能形成，便是來自於代理人間具有某種程度的彼此適應、適應環境以及變化之能力。整個系統的演變或進化，包括新層次的產生、分化和多樣性的出現，新的聚合而成或更大主體的出現等等，都是在這個基礎上逐漸衍生出來的。

複雜適應系統是由適應性主體相互作用、共同演化並層層湧現出來的系統。霍蘭圍繞適應性主體這個核心的概念提出了在複雜適應系統模型中應具備的基本特性：

1. 聚集:允許群體組成。
2. 非線性:指主體以及其屬性在發生變化時，並非遵從簡單的線性關係，

特別在主體與系統或環境反覆的交互作用中，這一點更為明顯。

3. 資訊流:資訊可以傳遞或流動。
4. 多樣性:多樣性是複雜適應系統不斷適應的結果，允許代理人能有不同的表現，但容易影響系統穩定性。

運作機制:

1. 標誌:允許代理人命名與識別。
2. 內部模型:允許代理人有自己的規則。
3. 區塊的建構:允許整個區塊由多個不同層次的物件區塊組成，讓系統具有區域性。

CAS 雖然提供代理人基模型重要參考，但兩者還是有想當大的差異，代理人基模型的一個重要特色是「由下而上」(bottom-up)地呈現出現象的複雜面貌。「由下」指的是在電腦模型設計之中，讓每位代理人都有採用幾項原則就可以描述的行為特質。「而上」則指的是每位代理人經過一段時間的互動之後會形成可以觀察到的樣貌或型態 (patterns)。而 CAS 的重點在於如何產生自動化的代理人，與複雜且符合現實世界的系統。因此 CAS 優點加上代理人基模型中擁有自己特色的代理人，可以充分的模擬個體與個體間的互動，同時也與環境、社會結構互動，進而模擬複雜、抽象的世界。

一個或多個代理人群體，被設置在一個模型或模擬環境中，且代理人可以在環境中自由的活動，這就可以被稱為代理人基模型，代理人可以是有生命的、無生命的，就如同學生在學校生活狀態，只是狀態會隨著時間、空間或事件等不斷的在改變。

2.3.7 代理人基模型的應用

軍事、國防和安全(Military, defense and safety)

在國家防禦機制上也面臨許多無法預測的情形，許多個案事件和發生地點及時間都是隨機的，如現今許多國家常發生的恐怖攻擊及隨機殺人事件，沒有預告也不知發生地點，且發生都相當即時，故如使用過去傳統方法的數量資料做模擬與分析，幾乎無法模擬與預測。但利用代理人模擬技術，只要給予代理人戰爭或恐怖攻擊的邏輯、行為、規則，代理人將自行運行、判斷所知的規則，找到對自身有效的攻擊方法，藉此測試所規劃的防禦方式、人員疏散、救援方法是否可以達到預期效果。

同時對於天然與人為災害，包含颱風、地震、海嘯、火災、化學災害、工安爆炸等，也能利用代理人技術設定環境代理人，讓模擬環境可以更貼近真實情形，藉此了解重大災害發生時，可能會產生的影響、影響的規模範圍以及針對災害性質及災區做避難設施及人員疏散的規劃，確保人員能在有效的安全時間到達避難位置。

案例探討：

施工現場具有動態性和不可預測的變化，故在施工現場同時使用多種設備易導擁擠、造成資源利用總體效率下降及工作人員安全的疑慮等問題，故 Marzouk and Ali (2013)提出了一種估計工地鑽孔樁生產率的模型，同時考慮到施工場所的安全要求和空間可用性，開發的模型考慮了交通擁堵流量、安全性、空間、資源、故障、地質特性（工程約束）和操作持續時間的不確定性，在動態環境下，每個代理人也都具備其基本特徵如移動速度、最短路徑和消耗時間等，最終模型能夠通過考慮這些不同的條件來預測打樁生產率、規劃場地空間可用性安全措施。

市場營銷和競爭(marketing and competition)

每個企業都追求客戶群最大化，想要實現這目標就必須要找出有效的市場行銷策略，企業以顧客需要為出發點，根據經驗獲得顧客需求量以及購買力的信息、商業界的期望值，有計劃地組織各項經營活動，通過相互協調一致的產品策略、價格策略、渠道策略和促銷策略，為顧客提供滿意的商品和服務，同時也須考慮競爭對手的策略、優勢，新技術的發展，潛在客戶的鎖定及發掘，這大部分都是動態，隨著時間快速變化的，但代理人模型可以建構一隨時間推進的模擬模式，模式可以模式化個體異質的特質、學習行為、非線性的互動效果，來描述市場發展與競爭的過程。市場模型有助於解決以下幾點：

1. 發展長期行銷策略:評估一個長期性的商業策略，當決定推出一個產品，並預計產品再市場 N 年以上，藉由評估此產品的價值、地位、競爭力以及改善與重新定義產品屬性。
2. 制定中期營銷策略:對於產品的組合、性質、特色評估，確定下一個市場需求的定位、產品屬性、特色與價格策略。
3. 執行銷售與需求預測:透過過去的資料、經驗進行推測與判斷，可以用來支持準確的需求、銷售預測，而這些預測可以用來決定營運、廣告預算、促銷與折扣方案，盡可能的增加收益。
4. 建立主動管理:現實與計畫通常是分歧的，為了減少這種趨勢，必須預見市場變化的條件，進而搶占市場成為上場先驅。

案例探討:

Walther et al. (2009)開發一框架用於分析汽車行業的產品策略，該框架結合系統動力學和代理人基模型，其結果有不同產品的組合形式，以符合歐盟對新車二氧化碳排放量及替代燃料的要求，可以提供決策者參考。

Jo et al. (2015)於公共投資項目提出了一種新的動態可行性分析方法，使用系統動力模型和代理人模型的結合模擬模型，系統動力模型用來表示構成的系統元件之間的關係、項目的收益和成本，代理人模型描述了用戶的行為，以橋樑建設為案例，研究結果提供在動態環境中分析項目可行性的框架。

Gong et al. (2016)為解決中國住宅天然氣行業增加收費問題，使用代理人模型評估幾個增加收費的區域對住宅天然氣市場的影響，並針對供需行為模型進行價錢的調整結果顯示適當制止增加天然氣收費計畫，可以提高社會公平性，且仍然確保運營商的收入。

Fischer and Riedler (2014)使用代理人模型，模擬異質性代理人與有限理性代理人在內生定價下貿易風險資產的相互作用情形。代理人擁有資產負債表，其中包含資產方面的貿易風險資產和現金，負債方面的股本資本和債務。其結果發現資產負債表大致成對數常態分佈，而較高的資金槓桿會導致代理人之間失衡。

Tian et al. (2016)使用代表農村決策的代理人模型，探索與現行的糧食補貼政策相比，補貼長期租用土地使用權的農村家庭替代政策的效果。針對鄱陽湖周邊八個村莊進行社會調查及訪談並考慮經濟績效與平等的政策影響，模擬結果在貧窮、平均及良好農地資源的村莊有所差異，而租金補貼政策在刺激平均農地資源村莊的土地租賃市場方面是最有效的。

供應鏈與物流(Supply chains and logistics)

在沒有新技術的導入的情況下，是很難讓供應鏈與物流維持在最佳的管理效率，從產品的製造、分銷、原材料供應，到送貨人員配送、倉儲、運輸等，這是一個結構相當龐大的管理，模擬建模有助於處理複雜性，提升獲利能力，提高客戶服務品質從而提高競爭力，而代理人模型

可以根據市場趨勢、公司目標和競爭對手策略，創建自適應的經營管理策略，應對需求波動、供應商變更、競爭對手的活動的變化，對整個供應鏈、市場營銷和人力資源問題的基礎上制定全盤計劃。

案例探討:

Akanle and Zhang (2008) 提出製造機構最佳化供應鏈的配置的方法，以應對未來客戶的需求，使用多代理人系統來模擬供應鏈中可用的資源以及資源和他們在操作的環境下產生的變化。需求由客戶訂單的時間依賴序列模擬，並且供這些訂單是按照時間順序一個接一個地由代理人基供應鏈模型處理的，在此期間供應鏈模型中的代理人與每個客戶訂單中的任務交互，在迭代機制的協調下，識別資源的最佳組合來滿足每個訂單，單個訂單產生的資源組合群集以識別經常使用的資源組，其根據定性標準進一步的分析，作為未來的最佳供應鏈的配置。

製造與生產(Manufacturing and production)

對於製造業的發展、最佳化或重整的決策，有許多因素是需要被考量的，這些分析、改善的成本是相當高昂的，並且在實施之前往往很難被證明其潛在的好處。傳統上，決策是依據直覺和過去的經驗做出的，有時頂多會藉助電子表格工具的幫助，這種脫離現實的管理手法可能造成風險，甚至可能會毫無意義。系統模擬在製造業被廣泛的應用，從流程優化到生產線的各種問題，不只特定流程進行分析，而是製造系統整體來分析，透過變更各種系統參數的影響，並做出正確的概率或多劇本的決策。系統模擬不只是具體的描述與模擬，更能符合實際狀況。

案例探討:

Shehwaro et al. (2016)指出勞動密集的建設案是需要適當的管理和有效的利用勞動力資源，改善勞動生產率可以提高建設案的績效進而節省大量時間和成本，其中學習曲線被視為影響勞動生產率至關重要的因子。

並且過去的研究多使用例如系統動力學 (SD) 和離散事件仿真 (DES) 之類的傳統模擬方法來表示學習曲線效應的模型，但是這些研究都沒有使用過代理人基模型 (ABM) 的技術。因此初步的使用代理人基模型分析學習對勞動生產率的影響，在模型中施工現場視為一個活躍的環境，在這環境中代理人與代理人、環境相互作用，進而開創了一個學習、改進的適應性環境。其結果證明使用代理人基模型來模擬學習對建築行業勞動生產率的影響是具有潛力的。

交通運輸和倉儲(transportation and warehousing)

供應鏈涉及許多方面，從倉儲決策到交通管理的最佳化，想要在這裡領域裡保持領先的地位，須要耗費許多的努力。倉庫規劃將初期設計階段視為關建，但在規劃時容易產生誤差，造成倉庫功能性降低，如想要改善可能會造成更大的成本。

因此，進行系統模擬加以評估，簡化了複雜的設計過程，針對倉庫空間上的設置和操作的流程進行最佳化，倉庫的系統模擬意味著開發一個針對倉庫的運算模型，該模型提供了低成本的實驗，可以降低風險及成本，找出倉庫最佳的參數組合，除了可以模擬新方法是否有效，同時也能透過模型檢視整個倉庫的運作情形。

案例探討:

在手動操作的倉庫中各種操作，例如收貨、放貨、包裝和揀貨作業等，揀貨作業的行駛距離對倉庫成本和效率具有深遠的影響，而倉庫環境受到許多參數的影響，因此估計這個距離是困難的，Shqair et al. (2014) 提出了一個全面的統計研究，以評估不同倉庫參數及其相互作用如何影響旅行的距離。為了估計旅行距離，使用代理人基模型來模擬 324 種不同的情境，研究表明只有一個交叉通道和使用分類存儲策略表會減少行

駛距離，此外選擇最佳路線策略取決於倉庫佈局，證明了考慮不同參數之間的交互的重要性。

製程與資源管理(project and asset management)

不確定性常出現在資源、統計學、經濟學、金融、保險、心理學、社會學及資訊工程，不能準確知道某個事件或某種決策的結果，或者只要事件或決策的可能結果不止一種，就會產生不確定性。一般而言我們會把不確定的因素忽略或加以假設，但結果往往會與將來實際發生的情況，可能有相當大的出入，造成我們的推測僅只是“最佳推測”。而能源大多屬於高價產業，通常需要透過高階的技術及高階的設備所生產，這通常面臨可靠度的問題，要維持運作不僅需要考慮設備工程的維護、修理、保養、汰換等問題，還得考量如和最大效率的運用、資源的分配以及資源利用最小化等，因此整個能源的生產、控制和監督等工作都關係著能源與資源的管理。

案例探討:

為了達成緊急供應鏈 (ESCs) 目標，即危機期間供應管理資源的配置最佳化及在安全威脅的情況下，必須立即執行行動，包括開發和維護 ESC 提供後勤支援功能，在實施適當的採購政策，以提供資源，避免出現可能使整個鏈條的運作癱瘓的缺貨，物流 ESC 經理必須考慮到成本最小化和約束的目標，因此 Ben Othman et al. (2017)提出了一個決策支持系統 (DSS) 以解決分佈式設置中的 ESC 資源調度問題。DSS 使用優化和協商方案來解決受危機影響的地區的資源調度，同時考慮到代理人基方法對 ESC 管理的分佈式解決方案的要求，開發的工具不僅可以對緊急情況期間或之後的供應需求，還可以支持決策者在不同環境下調度資源，這種做法適用於兩個真實的情況：馬里和日本的危機，並由軍事後勤人員所驗證。

Zhang et al. (2011)整合能源管理的政策與法規、能源管理技術、電器設備、人類的行為，建立一代理人模型來模擬辦公大樓的用電量，並使用該模型測試不同電力管理策略的效用，以解決辦公大樓用電問題。

策略規劃與管理(strategic planning and management)

在整個策略管理上，常常會遇到不確定的風險及因素，而決策者或管理工程師面對不確定的因素時總是會忽略掉，這種忽略不確定的「掉以輕心」策略，既無法正面抵擋未來的威脅，也將喪失藏在高度不確定中的機會，甚至有些決策者或管理工程師面對不確定的因素時，就會完全放棄嚴謹的規劃，憑直覺靈感做決策。這種「想到就做」的方式，在沒有正確資訊的情況下投資，容易導致策略失敗，這些未知傳統的策略規劃程序可能幫不了什麼忙，決策者或分析師靠著自行的想像，模擬出一些不同的情境，並試著改變一些特定變數，來測試不同的預測對這些變數的敏感程度，不過一般來說，一旦決定採取這種規劃模式，通常是要確認一個最可能發生的情境，然後再根據該情境，制定出一套公司、企業將來可據以採行的策略。此一策略規劃模式相當適合相對穩定的環境，然而當外在環境變得高度不確定時，此一模式就會變成一個具高危險性的工具，往往會造成經濟上的損失。

利用具有最先進智慧代理人基系統模擬，透過分析各種可能的情形，在整個策略的過程中，找出相互作用性，並且能為模擬系統內的不確定性提供了一個很好的平台，同時模型也可以依照合理的情況，找出“最可能”的潛在危機，以降低或消除風險。

案例探討:

在網路行動化後，可移動資料源及位置關聯擷取成為最重要之資訊服務領域，為此柯維中 (2002)提出一個位置關聯之行動資訊服務系統，並針對使用者所可能發出之資料查詢類型，分別設計運用行動代理人之

動態資料管理策略，並且進一步分析和計算策略成本，驗證動態管理策略之有效性，並於模擬中探討各種策略其運用之最佳時機，包括運用時之最佳環境，以及針對環境所作之最佳策略設定，透過模擬實驗結果得知所提之動態資料管理策略能夠有效減少網路傳輸成本，增進系統效能。

IT 產業與電信(IT and telecom)

在 IT 產業或電信業中，網路節點對於數據傳遞技術來說是非常重要的項目，不僅是傳遞的方式，節點的設置位置也是值得關注。在大型企業中，他們的信息基礎設備是相當複雜且發達的，這些成本往往都是很可觀的，除了設備還包含了通訊、電子設備、頻率、頻道、維修、租金、維護、保養、汰換、投資報酬率、升級等，而在客戶端客戶的新增與流失、營收的增減與 IT 產業之間的相關性，IT 的設備基礎結構因涉及龐大成本，因此正確的節點配置訪法及數量，在面對日後擴張、更新才會相當迅速及便利，而錯誤的決策不僅是增加後續的決策的困難度，也會造成下游接受資訊的部門的嚴重影響，甚至造成更大的損失。在 IT 產業及電信領域，常利用系統模擬來解決各是各樣的問題，例如：

1. 評估創新 IT 所帶來的效應
2. 評估 IT 基礎設備必要性及其投資效益
3. 網路通信最佳化
4. 原先的技術是否可以滿足客戶需求
5. 平衡資本與營運成本

案例探討：

為了克服授權頻譜沒有效率使用的問題，出現了感知無線電網路，其中，沒有執照的次要使用者有機會使用有執照的主要使用者的授權頻譜，以減少頻譜的浪費在感知無線電網路中，路由程序對主要使用者發送到主要使用者是至關重要，當由主要使用者生成多個數據流時，應考

慮多代理路由的解決方法，因為每個主要使用者的路由性能會受到其他主要使用者路由決定所影響。Pourpeighambar et al. (2017)在次要使用者數據包之間利用短暫的頻譜空間進行路由，加入了多跳感知無線電網路中的分佈式協作多代理路由問題，採用 Decentralized Partially Observable Markov Decision Process (DEC-POMDP) 進行建模，其中主要使用要盡量減少端對端的延遲，同時保持對次要使用者的干擾低於一定的閾值，並且開發了一種基於學習的方案來解決問題，模擬結果證明了此方法的性能接近於最優方法，此外也發現提出的方案將數據包所經歷的端到端延遲維持在低水平。

社會演進(Social processes)

社會演進是研究人類團體互動，因而彼此建立社會關係的各種活動，這種活動是連續性的交互作用，有五種不同的類型，即競爭 (Competition)、衝突 (Conflict)、適應 (Accommodation)、合作 (Cooperation)，與同化 (Assimilation) 五個交互作用方式，除了社會結構的相互作用、演變和學習能力，同時還要考慮變化後的社會需求、企業爭奪、市場競爭、環保指數、國民健康甚至人口轉移的問題等，故是綜合許多問題目前最複雜且難以評估的系統。利用代理人的系統模擬，模型可以提供決策者高的自由度，不但擴大模型的能力及能模擬的複雜度，讓決策者可以預測城市、社會、國家的變化，解決複雜的議題。

案例探討:

Iwamura et al. (2014)探討亞馬遜圭亞那地區的土著人與自然環境相互作用的關係，分析狩獵或森林模型及土著人的生計的可持續性，提出代理人模型去審查人口增長、狩獵、生存農業、土地覆蓋變化和動物種群，該模型可以用來了解依靠自給農業和狩獵的土著可持續性條件，以及情景分析，以探討外部干預的影響。

Gaube and Remesch (2013)以奧地利首都維也納為案例，使用代理決策模型，於人口發展和遷移方面，模擬不同家庭類型的新住宅模式。模型模擬不同家庭類型在一般城市規劃、可持續性城市規劃、昂貴的中心、無綠色區域的四種場景下，所形成的空間模式，結果表明，鄰近綠地的存在對小規模城市地區的家庭分佈具有最重要的影響。

Benenson et al. (2008)為了評估在停車位短缺的住宅區在增加停車位供應數時的影響，提出一個以代理人基模型為基礎的 PARKAGENT 模型，利用地理資訊系統去定義城市的空間系統，例如各個交通設施及街道，之後結合代理人模型描述系統中代理人的行為規則，例如車位尋求、停車及離開的行為等，詳細且即時的描述每位駕駛員對於停車位數量、停車費差異及對其他駕駛員行為的反應，模擬出大量代理人之間可能發生的複雜動力學，以及道路空間對代理人的影響。

Babakan and Taleai (2015)開發代理人的模型研究伊朗首都德黑蘭在不同的運輸發展下，租戶與住戶選擇的影響，在提出的模型中，租戶家庭被認為是做出多目標決策的代理人，並且為了租用一個首選的住宅區相互競爭，三個運輸情景包括新公路、地鐵和巴士捷運系統（BRT）的建設，評估代理人居住選擇的變化。

Dia (2002)提出了一種基於代理的方法，在現實交通資訊的影響下對動態駕駛者的行為進行建模，為了提供不同資訊給駕駛者，開發了一種多項 Logit 模型的交通模型，去調整旅遊模式及決定其他因子的數值，找出影響駕駛者的因子，之後基於這些駕駛者的行為模型，評估旅遊資訊對駕駛者的影響。

Agarwal and Kickhöfer (2015)調查交通擁塞最佳化對車輛排放水平的影響，提出一個車輛壅塞和廢氣排放的聯合優化模式，使用基於代理人的模擬框架，模擬在德國慕尼黑大都市地區的現實情況，不同組合定

價策略的外部效益影響下，考慮個人屬性和選擇行為，利用迭代的過程模擬代理人如何學習適應其環境，對於策略的實施會產生何種成效，找出最佳的管理策略。

謝心怡 et al. (2014)為了讓農民有更彈性之供水的方式，從以往農民依照排定時間與固定水量之供水方式，進而轉為能夠在非特定時間提供農民取用所需灌溉水量之供水系統，整合了網格式地理資訊系統(Raster GIS)、系統動態模擬及個體式模擬，模擬農民在時間-空間維度相互影響下之灌溉行為，評估從以往依照各區域及給水時間順序供水之方式，轉為農民自主性灌溉後用水量之差異。

Zhang et al. (2011)整合能源管理的政策與法規、能源管理技術、電器設備、人類的行為，建立一代理人模型來模擬辦公大樓的用電量，並使用該模型測試不同電力管理策略的效用，以解決辦公大樓用電問題。

Huang and Ma (2016)為了解系統中個人的實際狀態和污染者之間的交易互動，使用代理人模型建立代表台灣高雄和屏東地區的虛擬世界，該區域有排放上限與交易的計畫，模型以自下而上的方法模擬每個受控制行業的動態行為，模型可以設置不同的程序或將設置與其他措施組合，來預測交易市場的影響。

Ali et al. (2017)使用代理人模型，模擬消費者和公用事業管理水系統模型的供需關係，家庭被視為代理人，並擁有用水之行為。供水管理代理人制定水資源使用限制，模擬水庫中的水平衡及多種氣候情景下，測試水的可用性對降水流量和溫度變化的敏感性，用於北卡羅萊納州的供水系統，評估乾旱管理計畫的可持續性。

人流(Pedestrian flows)

代理人基的模擬可以規劃複雜的環境空間問題，例如；機場、車站、商場、對於空間中的設施、環境、人流的優化，其主要的目標是可以達到以下幾項：

1. 評估建築物或物理環境特定對象的負荷量或產能:公共建築物中常會遇到空間中設施的佈置位置問題，能在有限的空間中同時兼顧人員的負荷量及保持良好的服務區服務效益。
2. 避免空間瓶頸問題，找出堵塞位置:在人口密集程度高的公共或商業服務建築物中，將人員引導至服務區時易產生交會與交通壅塞的情形，故除了在正常情況下能保持交通的流暢，在移動空間中也必須進行突發事件發生時的人數壓力測試，確保在人潮高峰期能保持流暢
3. 服務與業務流程的優化:須釐清每個流程的服務項目，例如:服務人員數量、售票亭、通關驗證口、販售區、結帳台等，這些流程在服務時人員都須經由排隊與引導，每個服務點都可能產生人群密度高的情況，導致壅塞的情形發生。
4. 擬定緊急事件發生的疏散計畫:一個高度密集的人群聚集地，確保人員的安全是重要的議題，能反應出不同災害發生時如地震、火災、恐怖攻擊、爆炸等，人員可能會出現的反應，同時可評估設施所設置位置的適宜性，針對高度危險的範圍進行補強與改善，且預測潛在的危害。
5. 評估服務區的客戶容納量:在某選定區域計算此區的通過人數、總到客量或是廣告看板可被瀏覽的次數。評估服務空間可帶來的利潤、此區承租店面的意願或租金的調漲所到來的影響。
6. 評估周遭交通環境:人要進入公共設施前，必經過周遭的交通要道，

為了避免高峰期人潮壅塞導致交通癱瘓，如駕駛在停車場尋找車位產生回堵情形，如何規劃疏導車輛和人潮也是重要的課題。

案例探討:

Karbovskii et al. (2016)藉由代理人基的建模方法應用於短期的大型人群狀態預測，設定人群的流量與速，空間環境的設置與模擬人群的行為，使用人群密度作為踩踏的預測因子，估計人群壓力，找出潛在的危險區域，降低踩踏傷害的風險。

Zou et al. (2016)為了減輕交通堵塞的問題，推動交通管理政策，使旅遊者願意重新安排他們的出發時間和交通方式，他利用代理人基模型建立旅遊者的行為模型，根據一系列的行為規則及有限的信息，讓旅遊者考慮累積經驗、空間、時間和花費成本等資訊，來預測旅行者的決策行為，找出最佳的交通管理策略。

車站(Station)

車站在是一個地區的重要基礎建設，提供乘客運輸的服務，同時也在公共運輸系統中扮演著集中、分散乘客的重要節點，故在營運上應考慮以簡捷、流暢、避免動線衝突為原則的動線設計，以提供乘客迅速、流暢的進出車站，在這多種運輸模式所組成的系統中，主要會牽涉到公共運輸、交通、人潮、甚至都是人口變動等問題，故當我們想對車站這公共運輸系統進行模擬與改善時，我們應先了解以下問題:

1. 了解可能影響乘客安全的潛在危險因素，例如:列車脫軌、故障、緊急救護等。
2. 了解系統的運作模式，以及預測可能的突發狀況。
3. 整合運輸網發生的事故，預測列車延遲時間以提供給乘客。
4. 預測所有狀況發生時可能帶來的影響，規劃狀況發生時運輸優先順序、運輸資源與運輸量。

5. 系統維護的分配，同時能夠不影響正常營運時間。
6. 針對特定事件以及肇事率高的地點、車輛、個案進行分析找出解決根本之道。

案例探討:

在大眾運輸工具中，服務品質除了服務人員的服務態度外，場站空間配置不良也會造成旅客的不便，可能影響行走動線、空間擁擠，導致服務品質低下的營運結果。為避免在日後營運維護時才發現有空間配置及動線上的規劃問題，林羿均 (2016)應用代理人基模型取代現實中扮演人的角色，透過物件轉換方式與代理人模型技術結合，根據邏輯推算來模擬乘客於空間中可能發生的行為，並結合建築資訊模型 BIM 技術，依據使用需求劃分場站空間，建置仿真捷運站模型，最後根據場站的特性，提供空間與動線規劃最佳化方案。

商場(Malls)

在商場中主要會考慮到，分散在各地的連鎖商場，以及物流公司的貨運調配，對於大型的連鎖商場而言，如要降低成本，首先要能解決或優化分散的商場和送貨流程，在各個連鎖商場中的補貨及其之間貨運調派是個複雜的系統，商場本身的運輸路徑小、搬運人員、搬運工具眾多等，都會提高工作的失誤率，人員的疏失提高，成本的損失也會相對增加。利用一般被動式的數學模式求解，並沒辦法即時接收到資訊輸入到模式，以及無法考慮到不確定性的問題，故系統無法進行動態分析。

基於上述的不確定性原因，利用代理人基系統，可以主動式的模擬物流公司倉庫的狀態，找出異常行為，代理人的設置可以是員工、貨物、貨架、運送工具，透過模擬可得知貨物在貨架上是否正確或均勻分布、工作人員所負載的量與再狹窄的運輸環境中每位員工的速度等，除此之

外還有需多因素都可能造成延遲，因此利用代理人基模擬，針對商場貨物庫存的實際狀況進行模擬，找出延遲的原因解決此問題。

案例探討:

Brintrup (2010)利用代理人基模型模擬複雜自主的供應鏈系統，目的是透過進化多目標優化縮短交貨時間，提高收益讓成本最小化，在模式中代理人處於競爭環境中，擔當客戶和生產者的角色，代理能夠在這樣複雜的環境中運行，有效地結合政策與其市場的協同關係。除了優化其生產策略外，同時代理人還可在分析過程來選擇自己的動態調整其決策參數，最後可提供一個自動化的供應鏈模型，輔助決策者做決策。

鐵路(Railroads)

在大型的公共運輸轉運中心或大型廣場中，往往一天的人流量就高達十萬人，除了要面臨尖峰時刻的人潮壅擠問題外，對於緊急疏散、動態的號誌切換、來客數的預測等，都必須透過模擬找出在有限的空間環境中，如何解決高密度人流的方法，同時可確保人員的安全。除了上述人員的交通運輸，利用鐵路的長途運輸貨物也是鐵路模擬中常面臨的問題，例如，大型原料生產公司擁有數個原料場，在同業公司的競爭下，如何用較低的運輸成本來運送大量的原料，利用供應鏈模擬的概念，設定原料的運送列車以及運輸點的供應量或需求量，找出列車的運送上限以及多少車廂才可符合運輸效益，得到最佳化的運送成本。

案例探討:

何庭武 (2015)提出以本體論與智慧型代理人技術為基礎之高鐵列車緊急事故調度模式，讓智慧型代理人具備列車調度知識，能夠即刻做出最佳決策。首先以設計知識模型來表達包含行控中心控制員、列車駕駛員、基地管理員與電力控制員等，其次，設計列車調度的推論規則來模擬各調度員之間的溝通過程。最後並以高鐵實際案例作為模型測試驗

證用，驗證結果顯示此模型能產生與人工調度最佳結果一致的調度班表，且大幅減少人工調度所需時間。

醫療健保與製藥(Healthcare and pharma)

醫療服務業主要目標是減少資源的浪費同時能提高提高全民健康水平，如可以將單獨的病人和特定的醫療服務數據相鏈接，基於病人的遺傳特性、身體生理狀況、心理和社交網絡來改善醫師對臨床的決策，如定人的照護、病人的自我管理、病人的治療方式等，在政策和程序層面也可做不同的評估，促進健康改善以及預防風險的成本效益。

基於上述的改善目標，代理人基模型可針對不同的虛擬環境做測試，結合理論和實際數據的方式，針對指定區域、目標群體的健康、醫療、照護策略等做評估，了解在不同環境和醫療程序的情況下，整體健康環境的變化以及找出變化的原因，甚至了解醫療組織的成立價值，不只是整體的評估，更可深入到個人層面去了解是否對整體結構有所影響，也可做製藥公司的品管、疫情、醫院、醫療方面的即時預測以及醫院營運的經濟效益等。

案例探討:

對於新興傳染病的疫情預測是一個巨大的挑戰，除了數據量不足、對疾病動態的理解有限以及各種外在的干擾因素導致的不確定性，在這情況下，Venkatramanan et al. (2017)提供了一個綜合框架，用於將各種數據源整合到明確的疾病動態模型和社會行為模型中，綜合人口的計算是根據與人口普查數據一致的人口屬性與家庭結構，然後在 24 小時期間內設置每個人分配活動時間的先後順列，同時每個活動都有地理位置，每個人在自己處在的位置中都會有社交聯繫的網絡，利用社交網絡計算出感染的機率。

2.4 小結

建立模擬系統是解決現實世界中各類問題的一種手段，這些問題往往為動態且複雜，採用抽象的方法，忽略不相關的細節，保留重要的部分，使模型遠比現實世界的系統更為簡單。在大多數的模擬系統中時常使用數學模型來表示，利用數學概念和語言來表達不同的行為。但當要模擬較大量、複雜與變化性大的行為時，數學模型可能無法清楚表達，這類問題如垃圾車的駕駛、人丟棄行為等應用。

透過多代理人模擬方法，利用代理人的行為及互動能力，能夠幫助系統模擬較複雜的動態問題，由不同的代理人分工合作以達成整個目標。而整個廢棄物收集及清運系統包括各式各樣的丟棄行為人、收集及清運單位及基礎設施，互動情況動態且複雜。代理人可用不同的行為及特性模擬不同的個體，透過自主的行為及知識與其他代理人、環境進行互動，因此是適合代理人模擬方法進行模擬。

模擬一般、一般事業廢棄物收集及清運最為困難部分是人會擁有較多的選擇與突發狀況不同等因素有不同的行為，故要準確、真實的模擬較為困難。然而使用代理人可以分別給予不同的知識、行為、推理機制等，模擬出不同情況下，代理人的行為反應等，讓其自主的在系統中移動，並能與其他代理人互動，使得整個系統更符合真實情形。

第三章 研究方法

3.1 研究架構

圖 3-1 為本研究之流程圖，首先本研究先確立目的與系統邊界，接著系統與目的相關的物件內包含人、事、物確立，以及哪些物件需視為代理人必須確立，定義事件、系統內代理人的屬性、狀態以及行為並且建立代理人與代理人間、代理人與環境間的關聯，其詳細步驟由以下章節詳細介紹。

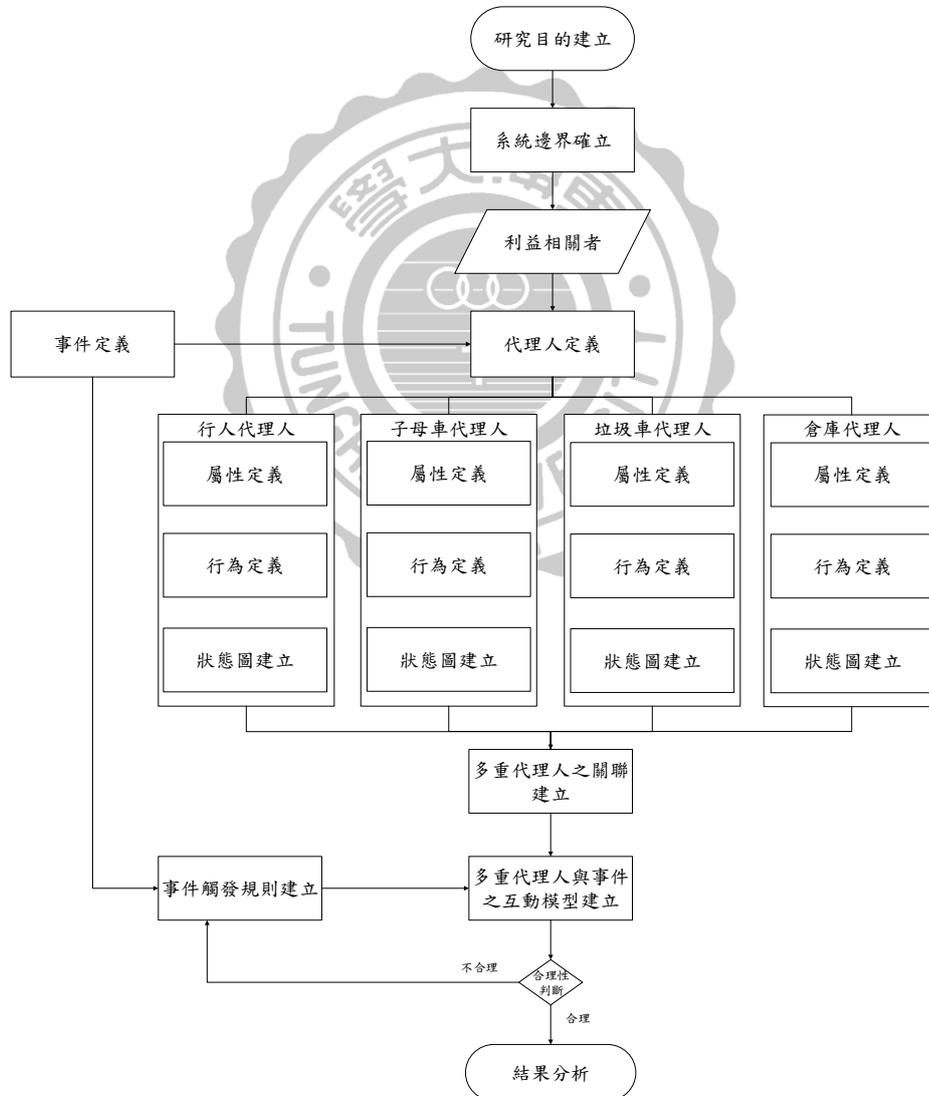


圖 3-1 研究流程圖

3.2 建立基本概念模型

由第二章文獻討論，可以了解廢棄物收集及清運涉及許多方面，是個複雜的系統，而代理人基模型是適合描述複雜系統的工具，而且可以依據目的，將我們所關心的物件視為代理人，由自下而上的方式模擬整個系統，以更微觀的角度去探討，因此本研究使用代理人基模型方法，建立廢棄物收集及清運系統。

3.2.1 事件定義

事件是觸發程式、條件、動作及維度的組合，他可能會影響代理人的屬性、行為以及狀態，本研究的事件為「子母車代理人廢棄物已達可容許最大量」，因此在定義代理人時會將事件觸發後可能發生的屬性、行為以及狀態考慮進去，一旦事件觸發後，則會直接產生變動。

3.2.2 代理人定義

代理人基模型是個很簡單且直觀的方法，直接反應出現實環境中所觀察到的問題，並且在現實環境中，所關注的人、事、物視為代理人，例如在廢棄物收集及清運系統中，垃圾車、子母車、廢棄物產生者等可以是代理人。代理人可以是現實環境中的任何物件，並且決定哪些物件必須視為代理人後，觀察、定義出代理人的調度方法、行為模式以及狀態。

代理人有其屬性、行為以及狀態，代理人的屬性是指代理人的特質或特點等，例如一個對象的顏色和形式以及人的年紀和身材等等，行為是指代理人的動作、行動方式以及對所處環境與其他代理人或物體的一種反應，換句話說就是代理人面對內在或外在刺激後的協調反應，就如同人類為了適應工作和環境的需要，必須經常改變自己的行為，狀態是指代理人所處的狀況，例如緊張狀態或物質的固、液、氣態等等。

現實中大部分的環境與系統都非常複雜，因此代理人沒給定明確的

假設，只給予狀態圖(state chart)及狀態(state)，狀態圖是用來描述系統行為的技術，用來描述代理人當下的狀態，以及會造成狀態轉換的條件或事件，基本上改變狀態轉換的方法，是透過 if-else 一種典型規則，用來敘述當滿足一特定條件，則執行滿足條件後改變執行的事件，或滿足條件後必須改變的狀態。狀態間的連結線則是需滿足的條件，以及滿足後轉移到下一狀態的路徑。

本研究模擬了五種類型的代理人，如表 3-1 所示，包含子母車代理人、垃圾車代理人、車庫代理人、行人代理人以及遊客代理人，各個代理人的屬性、行為、狀態，將在以下逐一的詳細解釋。

表 3-1 代理人定義

	行人代理人	子母車代理人	車庫代理人	垃圾車代理人
屬性	<ul style="list-style-type: none"> 廢棄物量 位置 時程 行走速度 完成丟棄動作之時間 	<ul style="list-style-type: none"> 位置 體積 	<ul style="list-style-type: none"> 位置 垃圾車代理人數量 工作日 	<ul style="list-style-type: none"> 車速 必須到哪些子母車的列表
狀態	<ul style="list-style-type: none"> 靜止於初始位置 移動至目的地 靜止於目的地 移動至子母車 丟棄 移動至初始位置 	<ul style="list-style-type: none"> 未滿 已滿 	<ul style="list-style-type: none"> 排序指令 釋放、指派垃圾車 等待 	<ul style="list-style-type: none"> 在車庫 移動至子母車 清運 回車庫
行為	<ul style="list-style-type: none"> 移動目的地 找距離最近的子母車代理人 丟棄廢棄物 	<ul style="list-style-type: none"> 儲存廢棄物 發出指令 	<ul style="list-style-type: none"> 控制垃圾車代理人 	<ul style="list-style-type: none"> 接收指令 收集和清理垃圾 返回車庫

I. 行人代理人

行人代理人代表人，他們具有移動特性，每天會產生固定的廢棄物量，待一段時間後，會找距離最近的子母車代理人丟棄廢棄物，他具有一些屬性：

1. 廢棄物量：表示行人代理人每次丟棄之廢棄物量。
2. 位置：表示行人代理人所在位置。
3. 時程：表示行人代理人離開、回到初始位置時程。
4. 行走速度：表示行人代理人行走之速度。
5. 完成丟棄動作之時間：表示行人代理人丟棄一次廢棄物所需時間。

本研究假設行人代理人最基本狀態分為目的地外與目的地內，而這兩個狀態又分別有其他狀態，因此整理這些狀態，並且透過狀態圖來描述：

1. 行人代理人的狀態分別為：目的地外與目的地內。
2. 其中當行人代理人處於目的地外時，可以再分成：靜止於初始位置、移動至初始位置，而處於目的地內時，可以再分成：移動至目的地、靜止於目的地、移動至子母車、丟棄廢棄物。
3. 因此行人代理人總共有六個狀態：
 - (1) 靜止於初始位置
 - (2) 移動至目的地
 - (3) 靜止於目的地
 - (4) 移動至子母車
 - (5) 丟棄
 - (6) 移動至初始位置

照上面三階段，可以將行人狀態，依序繪成如下圖 3-2 所示。

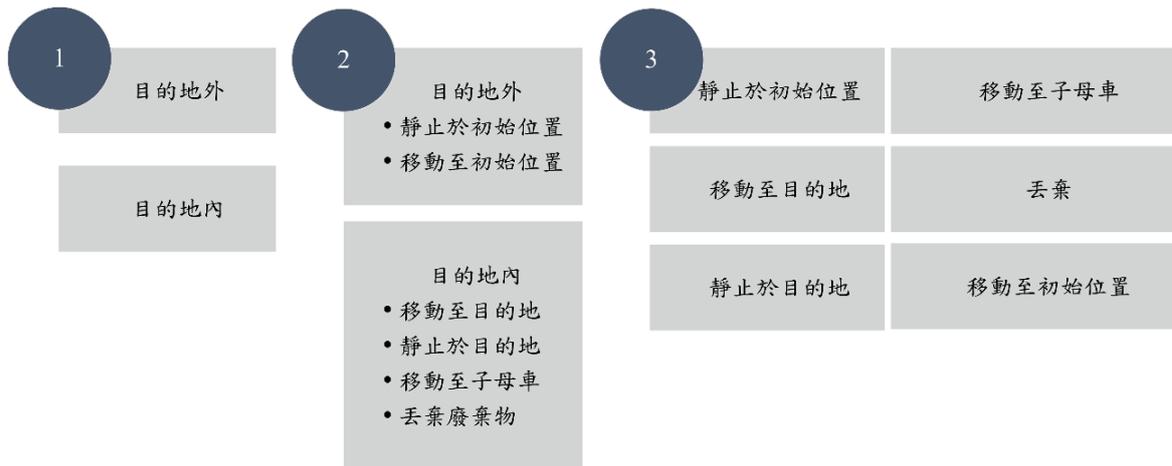


圖 3-2 行人代理人之基本狀態

當行人代理人處於靜止於初始位置的狀態時，表示行人代理人停於目的地外之位置，在移動至目的地狀態時，表示行人代理人移動至目的地，靜止於目的地狀態時，表示行人代理人隨機散佈於目的地內，在移動至子母車狀態時，表示行人代理人移動至子母車代理人之位置，在丟棄狀態時，表示行人代理人進行丟棄廢棄物之動作，而在移動至初始位置狀態時，表示行人代理人回到初始之位置。

探討行人代理人的狀態的改變，最初行人代理人都是處於靜止於初始位置狀態，靜止於目的地外的位置，等待需要至目的地的時間到，行人代理人會轉變成移動至目的地狀態，行人代理人抵達目的地後，轉變成靜止於目的地狀態，經過一段時間，行人代理人需要丟棄廢棄物時，轉變成移動至子母車狀態，等到行人代理人到達以後，轉變成丟棄狀態，當行人代理人丟棄完成後，則會回到靜止於目的地狀態或轉變成移動至初始位置狀態，如果轉變成移動至初始位置狀態，則在行人代理人抵達初始位置後，轉變成靜止於初始位置狀態，如下圖 3-3 所示。

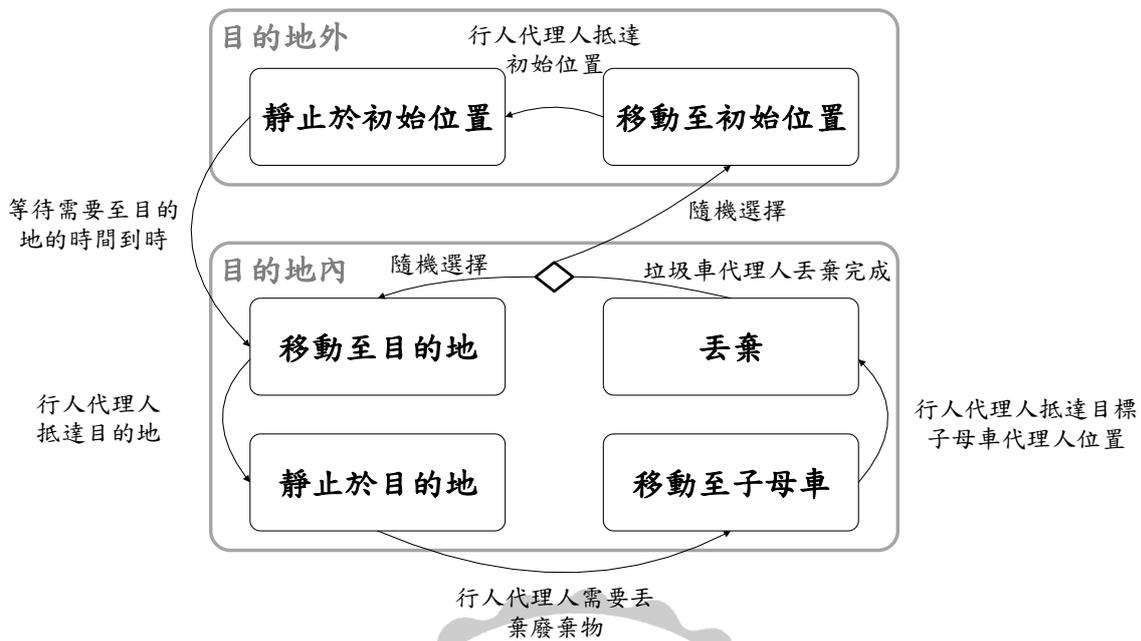


圖 3-3 行人代理人之狀態轉換圖

完成整個狀態圖，需要了解這些狀態轉換的觸發條件，當行人代理人需要至目的地的時間到，狀態轉換的觸發條件至目的地時間到，狀態就會由靜止於初始位置轉變成移動至目的地狀態，行人代理人抵達目的地後，狀態轉換的觸發條件為行人代理人的抵達，狀態會由移動至目的地狀態轉變成靜止於目的地狀態，等待一段時間，行人代理人需要丟棄廢棄物時，會移動至子母車代理人位置，觸發條件為需要丟棄廢棄物之一段時間，狀態會由靜止於目的地狀態轉變成移動至子母車狀態，等待行人代理人抵達子母車代理人之位置，狀態轉換的觸發條件為行人代理人的抵達，狀態就會由移動至子母車狀態轉變成丟棄狀態，在丟棄狀態時行人代理人會開始進行丟棄行為，等待丟棄完成後會回到移動至目的地狀態或移動至初始位置狀態，狀態轉換的觸發條件為丟棄廢棄物所需時間，狀態會由丟垃圾狀態轉變回移動至目的地狀態或轉變成移動至初始位置狀態，其轉變成哪一狀態，由一隨機函數所決定，如果轉變成移動至初始位置狀態，則行人代理人會回

到初始位置，等待行人代理人抵達初始位置後，狀態轉換的觸發條件為行人代理人的抵達，狀態會由移動至初始位置狀態轉變成靜止於初始位置狀態，繼續等待下一次需要去目的地的時間，如下圖 3-4 所示。

根據不同的狀態，其他代理人可能會有不同的反應，因此在本研究中，當行人代理人處於丟棄狀態時，代表行人代理人正在進行丟棄行為，因此子母車代理人的廢棄物量會增加，廢棄物量累積到達子母車代理人可收集之廢棄物量的上限，其子母車代理人狀態會轉變成已滿狀態，並觸發事件必須發出指令通知車庫代理人指派垃圾車代理人進行清運。

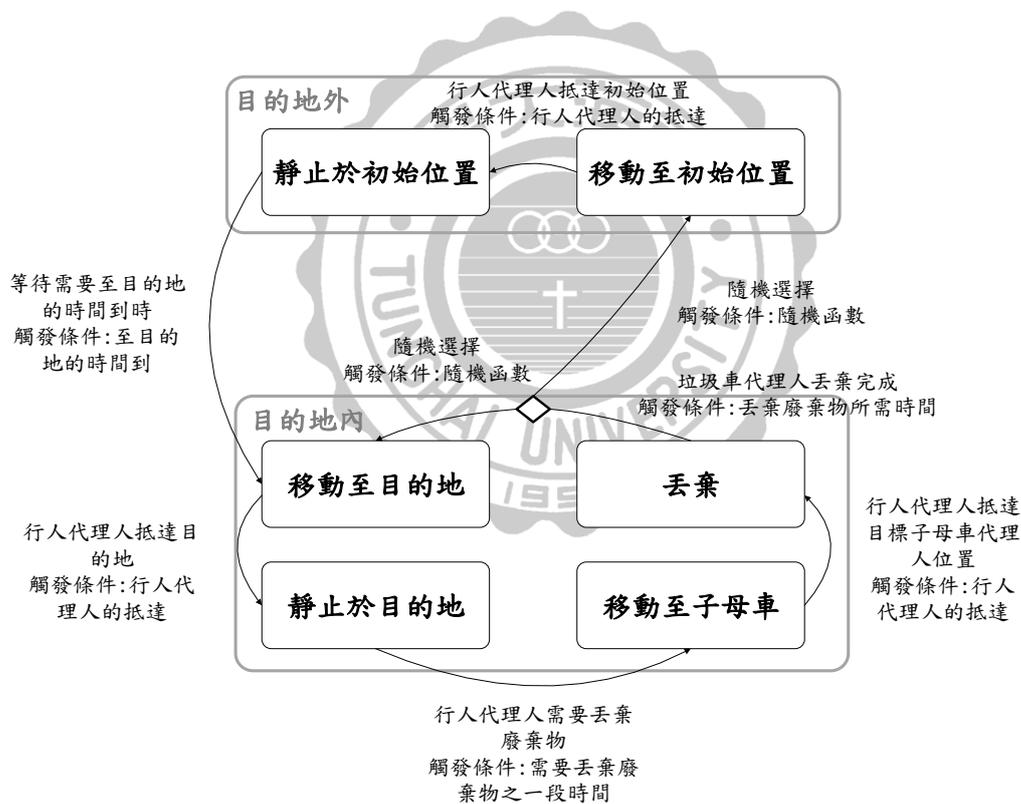


圖 3-4 行人代理人之狀態觸發條件圖

II. 子母車代理人

子母車代理人代表垃圾的收集中心，用來裝載廢棄物的車子，行人將廢棄物丟棄於定點設置的子車之中，等到垃圾堆積到一定程度時，垃圾處理人員再駕駛垃圾車到各子母車之設置地點，將子母車內的垃圾傾倒於垃圾車中，最後運至垃圾場集中處理，它具有以下的屬性：

1. 位置:該子母車收集位置
2. 體積:該子母車所能容那之垃圾量

並且在本研究中子母車會有兩個狀態：

1. 未滿
2. 已滿

當子母車代理人處於未滿的狀態時，表示他收集來自於行人所丟棄的廢棄物，並且等待垃圾車將廢棄物清運，而在已滿狀態時，表示子母車代理人收集之廢棄物已達最大量。

探討子母車代理人的狀態改變，最初子母車代理人都是能正常的收集廢棄物，在子母車未滿以前都會呈未滿狀態，但子母車代理人收集廢棄物量已達上限時會由未滿的狀態轉為已滿狀態，當垃圾車代理人到達以後經過清運，則會回到原本未滿狀態，如下圖 3-5 所示。

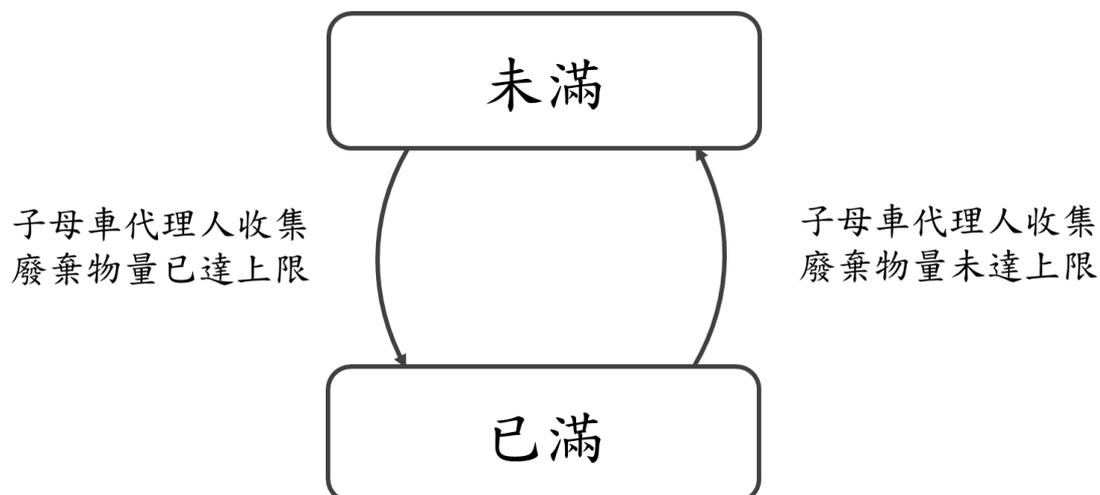


圖 3-5 子母車代理人之狀態轉換圖

完成整個狀態圖，需要了解這些狀態轉換的觸發條件，經過行人代理人丟棄廢棄物行為，使子母車廢棄物量增加，狀態轉換的觸發條件為當子母車代理人廢棄物量大於或等於最大可容許之廢棄物量時，狀態就會由未滿轉變至已滿狀態，經過垃圾車代理人清運完成之後，狀態轉換的觸發條件為當子母車代理人廢棄物量小於最大可容許之廢棄物量，子母車代理人則回到原本未滿的狀態，收集行人代理人所丟棄之廢棄物，如下圖 3-6 所示。

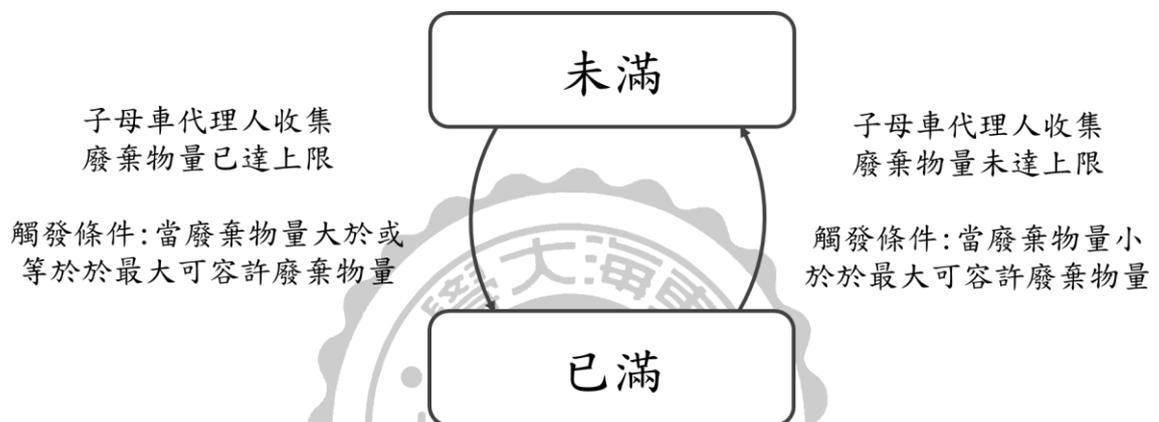


圖 3-6 子母車代理人狀態觸發條件圖

完成整個離散事件模塊，需要了解離散事件模塊運作的觸發條件，當子母車代理人處於已滿狀態時會發出指令，而車庫代理人收到指令後會開始指派垃圾車代理人，觸發離散事件模塊運作的是車庫代理人接收到指令，如下圖 3-8 所示。

根據不同的模塊其他代理人可能會有不同的反應，因此在本研究中，當模塊指派及釋放垃圾車代理人時，垃圾車代理人可以收到訊息離開車庫代理人位置，並開始進行廢棄物的清運，等待清運完成後回到車庫代理人位置，在等待下一次的車庫代理人的指派與釋放。

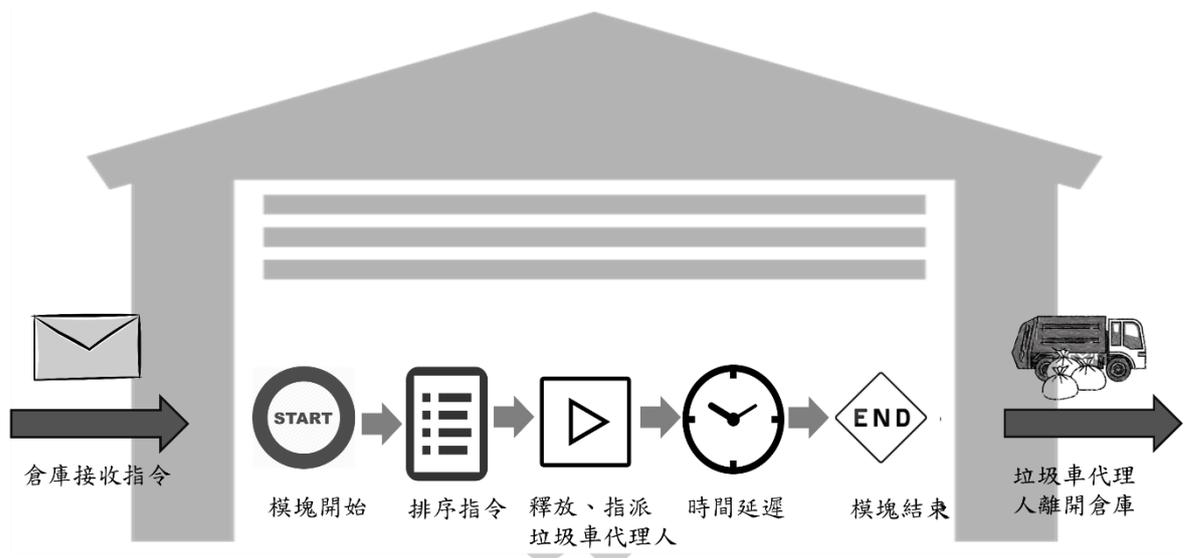


圖 3-8 車庫代理人之觸發離散事件模塊運作圖

IV. 垃圾車代理人

垃圾車代理人代表載運廢棄物的特殊貨車，並且會沿著子母車位置進行清運，完成清運後，會將廢棄物轉移到車庫，它具有一些屬性：

1. 最大容量：這一屬性表示它可以存儲的最大垃圾量。
2. 當前容量：這一屬性表示當前時刻存儲的垃圾量。
3. 垃圾清單：在旅行期間代理人必須訪問的子母車的列表

並且在本研究中垃圾車代理有四個主要的狀態：

1. 在車庫
2. 移動至子母車
3. 清運
4. 回車庫

當垃圾車代理人處於在車庫的狀態時，表示垃圾車代理人停於車庫代理人之位置並且為車庫代理人可用資源，在移動至子母車狀態時，表示垃圾車代理人移動至目標子母車，在清運狀態時，表示垃圾車代理人清運目標子母車之廢棄物，而在回車庫狀態時，表示垃圾車代理人移動至車庫代理人位置。

探討垃圾車代理人的狀態改變，最初車庫代理人尚未指派垃圾車代理人，垃圾車代理人都是靜止於車庫代理人的位置，在車庫代理人指派垃圾車代理人後，垃圾車代理人轉變成移動至子母車狀態，等到垃圾車代理人到達以後，垃圾車代理人轉變成清運狀態，當垃圾車代理人清運完成後，垃圾車代理人轉變成回車庫狀態，等待垃圾車代理人抵達後，垃圾車代理人則會回到原本在車庫的狀態，如下圖 3-9 所示。

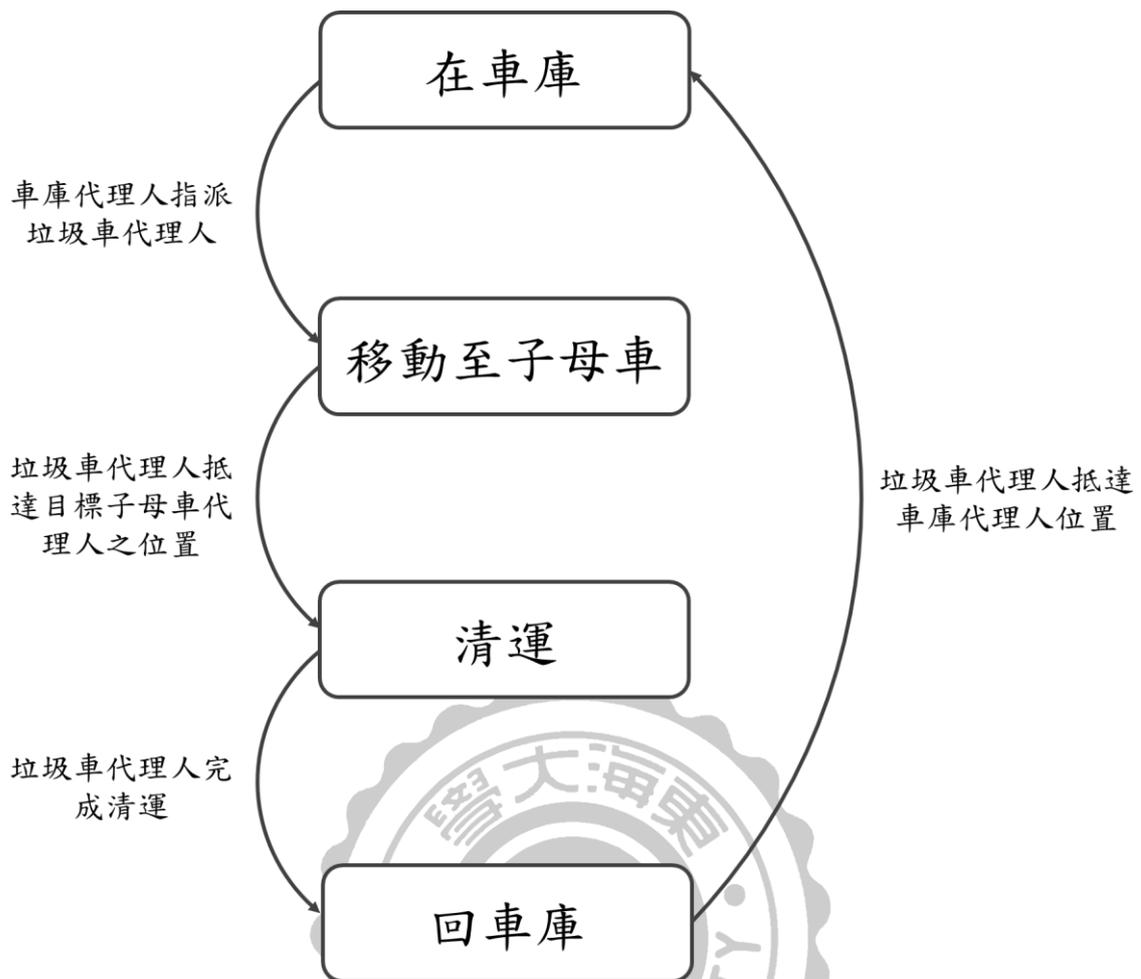


圖 3-9 垃圾車代理人之狀態轉換圖

完成整個狀態圖，需要了解這些狀態轉換的觸發條件，當車庫代理人收到子母車代理人所發出的指令，讓車庫代理人知道需要指派垃圾車代理人進行廢棄物的清運，車庫代理人則會開始指派垃圾車代理人，狀態轉換的觸發條件為當垃圾車代理人收到來自於車庫代理人的指派，狀態就會由在車庫轉變成移動至子母車狀態，經過垃圾車代理人的移動並抵達目標子母車代理人之位置，狀態轉換的觸發條件為垃圾車代理人的抵達，狀態會由移動至子母車狀態轉變清運狀態，垃圾車代理人會開始進行清運行為，等待清運完成並回到車庫，狀態轉換的觸發條件為清運完成所需時間，狀態會由清運狀態轉變成回車庫狀態，等待垃圾車代理人抵達車庫代理人位置，狀態轉換的觸發條件為垃圾車代理人的抵達，狀態會由回車庫狀態回到原本在車庫狀態，繼續等待車庫代理人給予的

指派，如圖 3-10 所示。

根據不同的狀態，其他代理人可能會有不同的反應，因此在本研究中，當垃圾車代理人處於清運狀態時，代表垃圾車代理人正在進行清運，因此子母車代理人的廢棄物量會減少，讓子母車代理人可以回到原本未滿的狀態，繼續收集行人代理人的廢棄物。

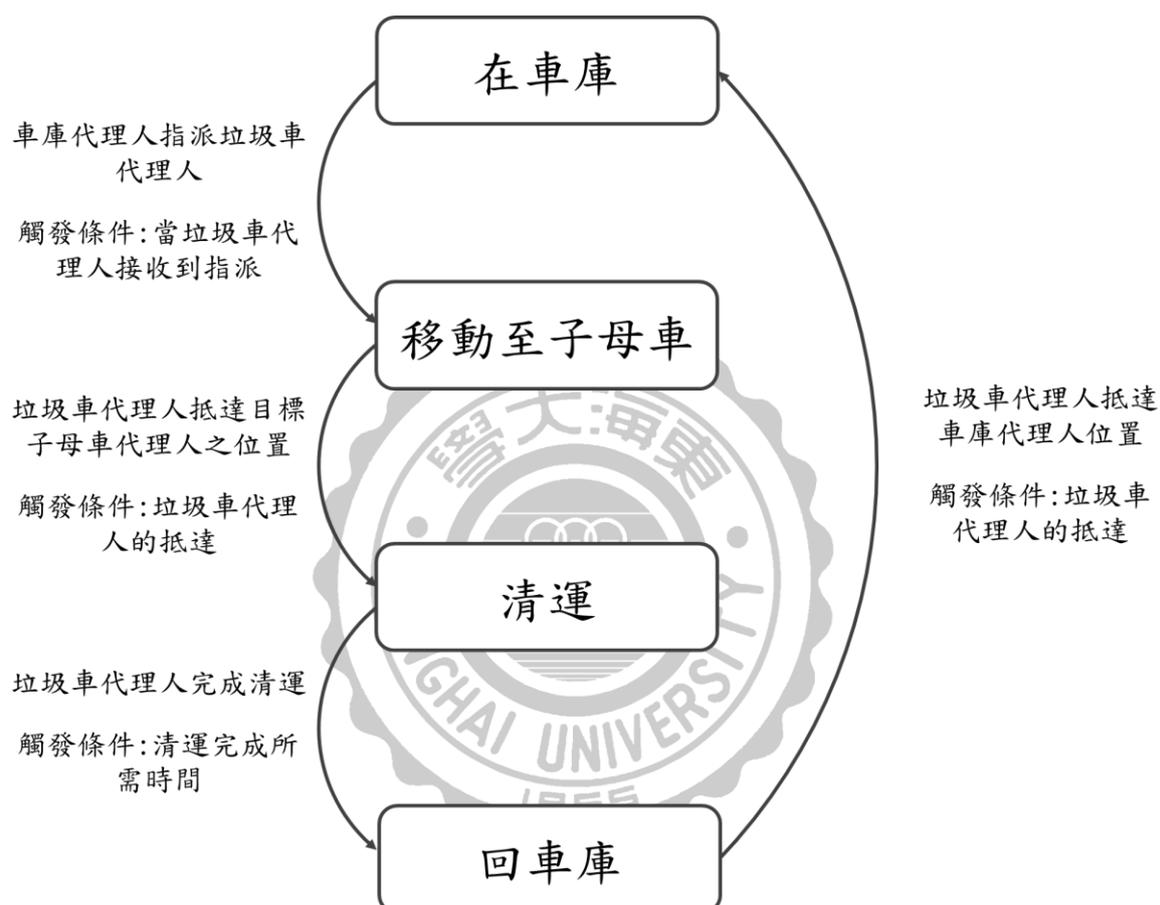


圖 3-10 垃圾車代理人狀態觸發條件圖

3.2.3 事件觸發規則建立

事件的發生可能會影響代理人的屬性、行為以及狀態，本節要來說明事件發生的規則，如下圖 3-11 所示，子母車代理人經過行人代理人丟棄廢棄物行為，當子母車代理人處於已滿狀態時，代表子母車代理人廢棄物量已達可容許之上限，需要垃圾車代理人進行清運，觸發事件為子母車代理人處於已滿狀態，但因垃圾車代理人有收集清單，一次的清運計畫會收集所有子母車代理人之廢棄物，因此觸發規則條件整理如下：

(一)子母車代理人處於已滿狀態

(二)子母車代理人廢棄物為第一個到達可容許最大量

需全符合列出的兩項條件(如子母車代理人廢棄物有同時為第一個到達可容許最大量也只會觸發一次事件) 事件才會觸發，子母代理人觸發第一次事件，垃圾車代理人開始第一次的收集計畫，完成一次清運計畫之子母車代理人才會重新開始觸發事件，事件觸發時會傳送一個指令給車庫代理人，讓車庫代理人知道需要指派垃圾車代理人進行廢棄物的清運。



圖 3-11 事件觸發規則

3.2.4 多重代理人之關聯建立

藉由上節了解系統中的代理人，接著要談及代理人與代理人、代理人與環境間的關聯，本節建立初步模型，設計為無事件發生的情形下代理人之關聯，如圖 3-12 所示，無事件驅動的情形下，只有行人代理人與子母車代理人間有關聯的產生。

代理人相互驅動的方法是透過訊息的傳遞，除了建立代理人之關聯，討論如何設計代理人的溝通與事件之間的排序，做出訊息序列圖可以了解代理人彼此的訊息傳遞，並且有效的幫助建立模型，本研究主要的代理人有車庫代理人、垃圾車代理人、行人代理人、子母車代理人，代理人間需要透過資訊才可以傳遞與溝通，資訊包含：

- 行人代理人抵達:行人代理人抵達後，傳遞消息給子母車代理人



圖 3-12 無事件下，代理人之關聯

在圖 3-13 中，垂直箭頭表是每一個各別的代理人，水平實線表示一定會發生的訊息傳遞過程，表示該代理人正在進行某一事件或動作並且可能在結束某事件或動作後，會發送訊息給其他代理人，觸發其他代理人執行某事件或動作，時間序列(Time flows)是向下推移的，事件也可以放置在時間序列圖上，並做橫向聯結，讓相關的物件連結與溝通。

初步的時間序列模型，設計為無事件發生的情形下，只有行人與子母車代理人有傳遞訊之動作，粗線表示該代理人正在進行某一事件或動作，並且可能在結束某事件或動作後，會發送訊息給其他代理人，觸發其他代理人執行某事件或動作，依照最初設定：

1. 行人代理人至子母車代理人之位置，抵達後傳遞已抵達之訊息給子母車代理人
2. 子母車代理人收到行人代理人抵達訊息後，在開始做收集動作

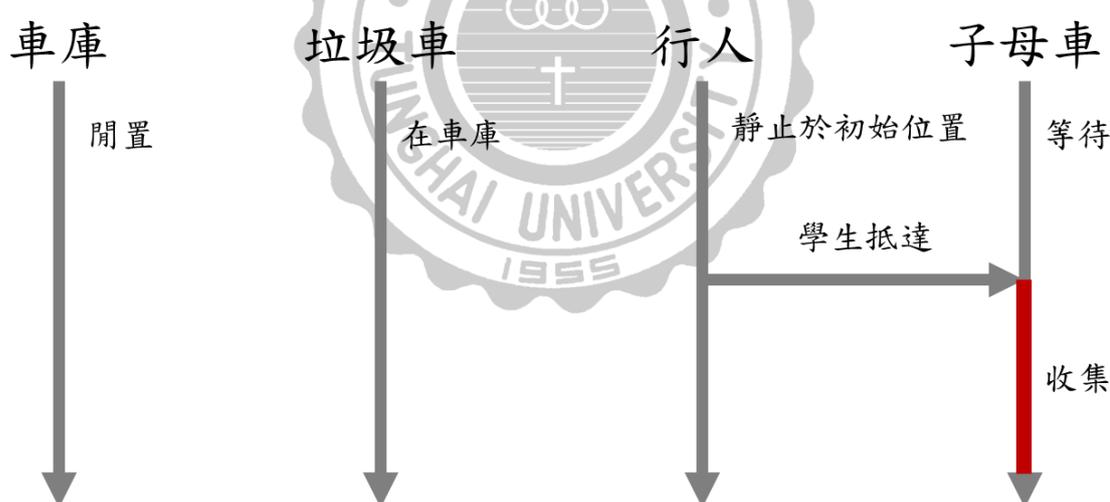


圖 3-13 廢棄物清運之初步時間序列模型

3.2.5 多重代理人與事件之互動模型

當行人代理人丟棄廢棄物，使子母車代理人達到可容許廢棄物量的上限，並且為第一個到達廢棄物可容許上限，事件就會觸發，並且發送指令，請求車庫代理人指派垃圾車代理人進行清運，而垃圾車代理人接收到訊息時會被驅動，並且前往子母車代理人之位置進行清運。上節沒有加入子母車已達可容許最大量之事件，因此為最簡易之模型，接著為了解整個系統中代理人間彼此的關聯性，將擴充模型包含增加子母車已達可容許最大量事件，如圖 3-14 所示，為代理人於事件觸發下之關聯。

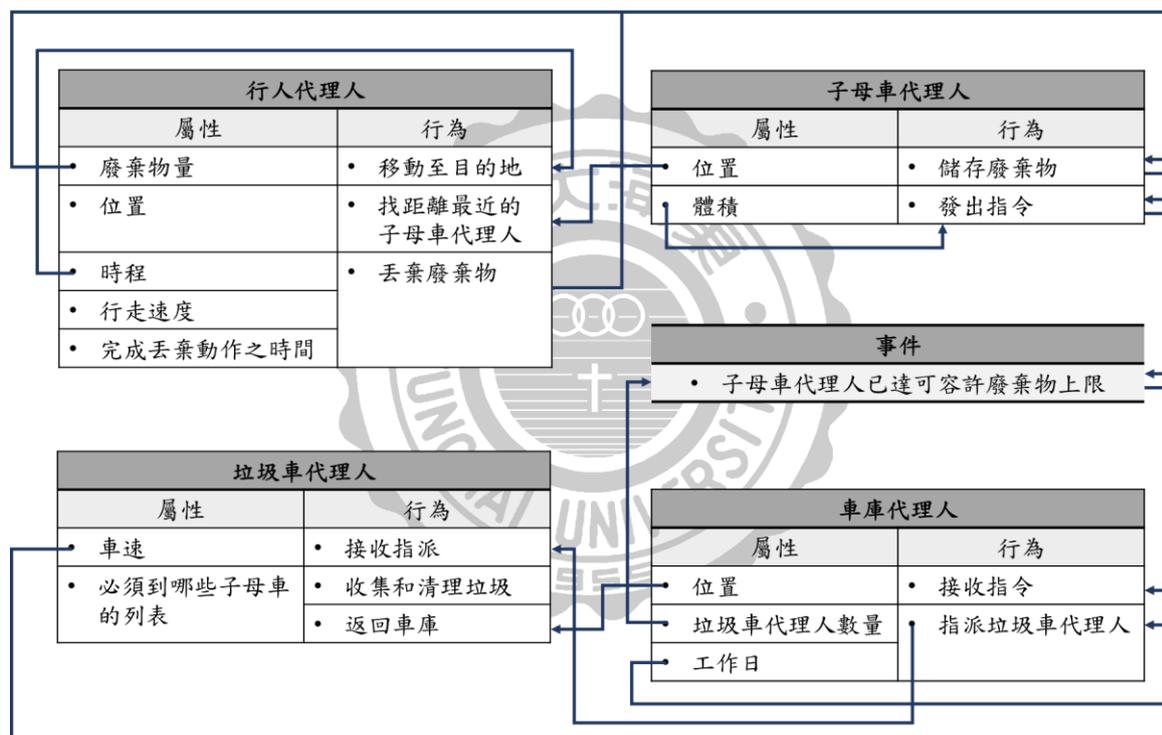


圖 3-14 事件下，代理人之關聯

為了解代理人的訊息傳遞方式與時間之關聯性，建立擴充時間序列模型，擴充時間序列模型設計為事件發生的情形下，並且再添加一子母車代理人，讓代理人之間的時間性、關聯性更加清楚展現，其傳遞與溝通資訊包含：

- 指派:消息從車庫代理人傳給垃圾車代理人
- 行人抵達:行人代理人抵達後，傳遞消息給子母車代理人
- 垃圾車抵達:垃圾車代理人抵達後，傳遞消息給子母車代理人
- 清運完成:從垃圾車代理人傳遞給子母車代理人訊息，告知清運完成

如圖 3-15 所示，擴充時間序列模型中，一開始經過行人代理人傳送抵達訊息給子母車代理人後，子母車代理人收集廢棄物，子母車代理人還是處於最初未滿的狀態，並無任何事件的發生，因此可以看到其餘的代理人也都處於最初的狀態:車庫代理人的閒置狀態以及垃圾車代理人的在車庫狀態，等待子母車已達可容許最大量事件發生後，各代理人開始執行著不一樣的事件動作：

1. 子母車已達可容許最大量事件發生後，子母車代理人傳送需求的訊息給車庫代理人
2. 車庫代理人接受到需求指令後，開始指派垃圾代理人進行廢棄物的清運工作
3. 垃圾車代理人接收到指派的命令後，開始行駛至子母車代理人位置
4. 子母車代理人接收到垃圾車代理人抵達的訊息後，開始進行收集動作
5. 垃圾車代理人收集完成後，發出完成訊息給子母車代理人，並且繼續前往下一個子母車代理人前進，直到整個任務完成後行駛回到車庫。
6. 子母車代理人接收到垃圾車代理人收集完成訊息後，回到未滿狀態

7. 車庫代理人收到垃圾車抵達訊息後，開始等待下一次事件發生所發出的訊息

第一個子母車代理人發生已達可容許廢棄物最大量事件後，開始一次的收集任務，在此期間即使第二個子母車也達可容許廢棄物最大量事件，事件並不會觸發，直到垃圾車代理人完成一次收集計畫之子母車代理人，才會重新觸發事件，發送訊息於車庫代理人。

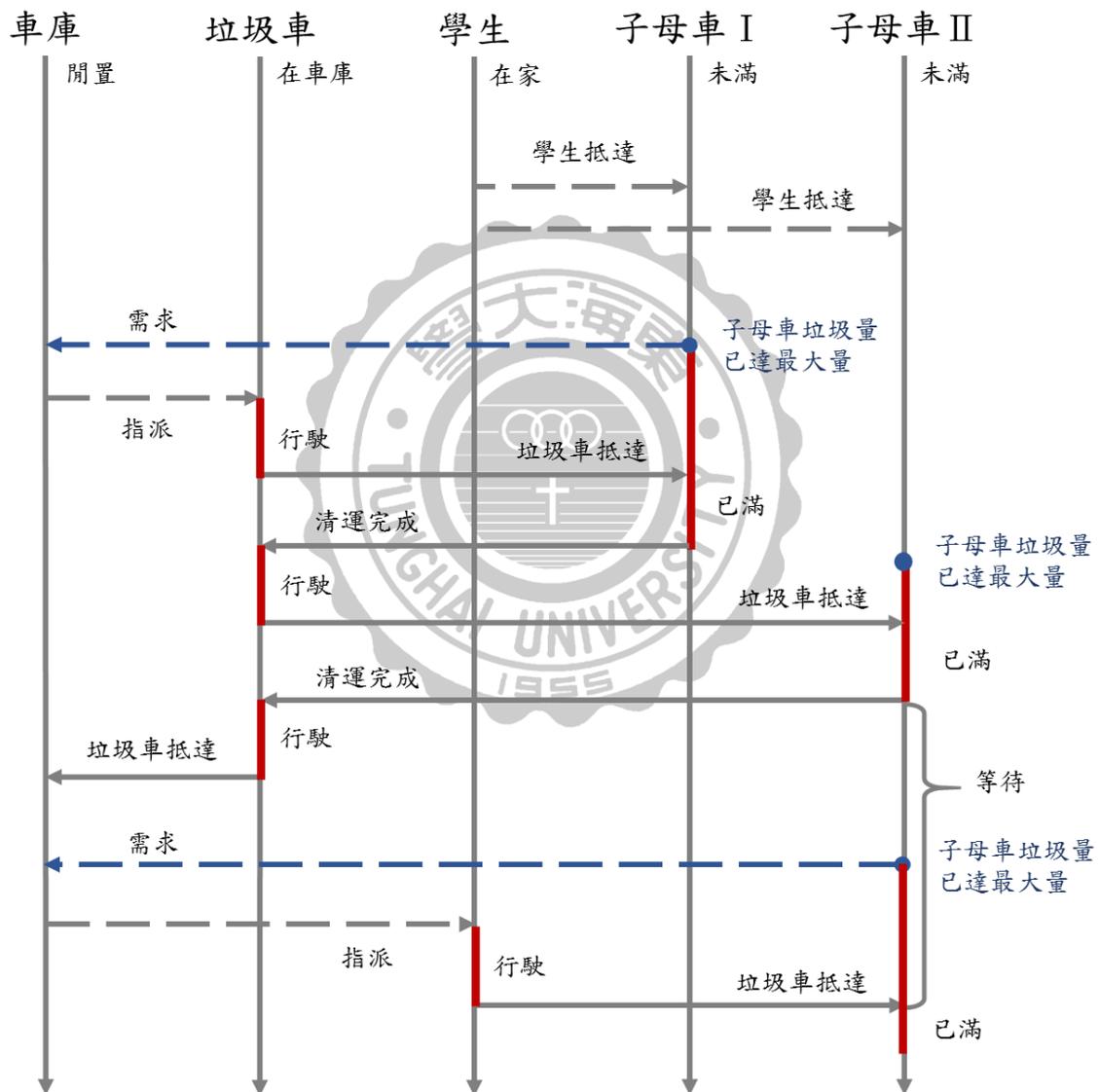


圖 3-15 廢棄物收集清運之擴充時間序列模型

第四章 案例分析與結果

4.1 研究樣區

本研究樣區位於臺中市西屯區的東海大學，由圖 4-1 所示，樣區可以出入共有 11 處，包含汽車可進出的大門及第二校區校門，主要可分為：教學區、行政區、生活機能區、附屬學區、學生宿舍及教職員宿舍區以及其他區，其中學生大致於教學區上課。

樣區內擁有台中市著名景點：路思義教堂、相思林、乳品小棧等，樣區外西側亦有東海別墅商圈，常出現在旅遊書當中，亦成為附近居民與觀光客的休閒場所。

本研究主要探討廢棄物的收集、清運，共有 18 個子母車分布於樣區，其廢棄物採子母車收集方式，並且垃圾車於固定時間清運。

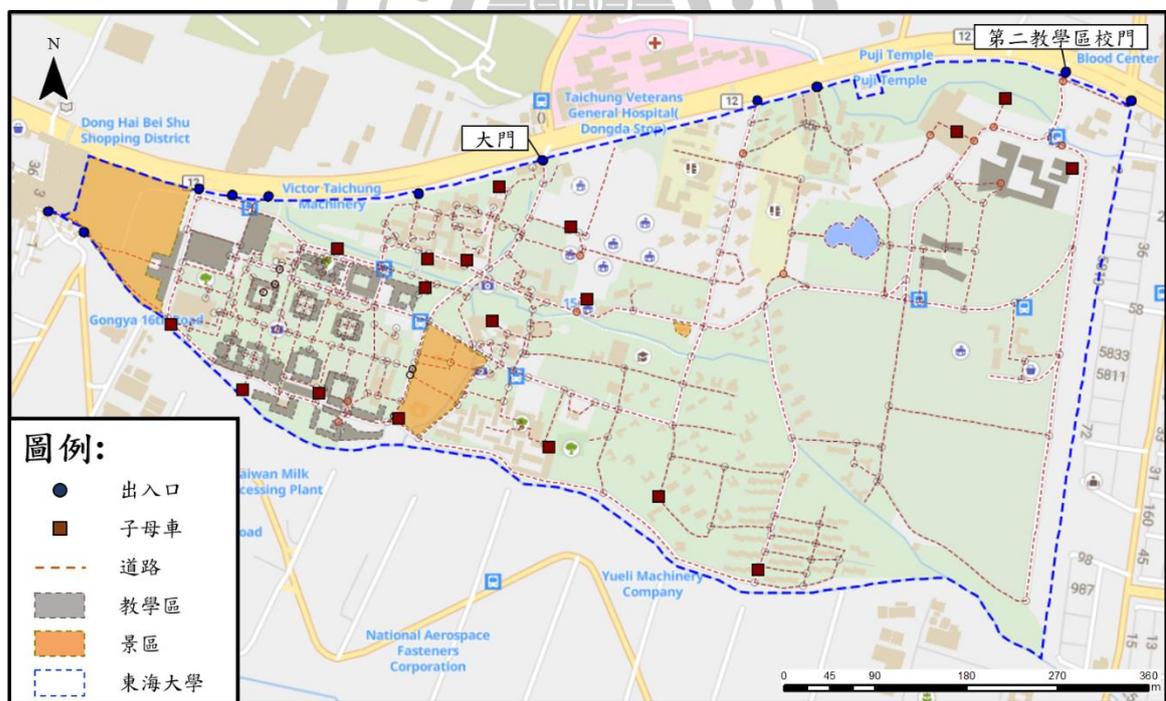


圖 4-1 研究樣區

4.2 基本資料

本研究以代理人基軟體 Anylogic 模擬，模擬的時間單位為小時，模擬時間為兩週時間，系統內視為代理人有行人分為兩種代理人：學生代理人與遊客代理人、子母車代理人、車庫代理人以及垃圾車代理人，此小節針對各代理人進行資料收集，以及假設的條件、設定加以詳細說明。

1. 學生代理人:

樣區學生上課時段第一堂課開始於上午 7 點 10 分，最後一堂結束時間於晚上 10 點 10 分。本研究假設

- (1) 學生代理人總數設定為 1100 人
- (2) 學生代理人初始位置平均分散於樣區各出入口，一週給定的天數，依照樣區每堂上課時段，如表 4-1 所示，以百分之二十的隨機機率，決定是否進入樣區中教學區(隨機分布於教學區)，並且於最後一堂課結束，學生代理人會全數離開樣區，回到各自的初始位置
- (3) 學生代理人隨機 1~2 小時至子母車代理人位置，丟棄 1 公斤之廢棄物，丟棄廢棄物所需時間為隨機 0.5~5 分鐘
- (4) 丟棄完廢棄物後以百分之五十的隨機機率，選擇是否繼續留在樣區
- (5) 行走速度為隨機每小時 3~5 公里

2. 遊客代理人:

本研究假設:

- (1) 遊客代理人人數為 500 人
- (2) 初始位置於樣區汽車可進出之出入口，以及兩個靠近東海商圈之出入口，一週給定的天數，於當天早上八點，每隔兩小時以百分之五十的隨機機率，決定是否進入樣區中景區(隨機分布於景區)，並且於晚上八點，遊客代理人會全數離開樣區，回到各自的初始位置
- (3) 遊客代理人隨機 1~2 小時至子母車代理人位置，丟棄 1 公斤之廢棄

物，丟棄廢棄物所需時間為隨機 0.5~5 分鐘

(4) 丟棄完廢棄物後以百分之五十的隨機機率，選擇是否繼續留在樣區

(5) 行走速度為隨機每小時 3~5 公里

3. 子母車代理人:

子母車代理人位置設於樣區 18 個子母車位置，本研究假設:

(1) 子母車代理人最多可容納 500 公斤重之廢棄物

4. 車庫代理人

本研究假設:

(1) 車庫代理人位於樣區外之空地

(2) 符合事件「子母車代理人可容許廢棄物已達最大量」觸發規則，就會接收指令

(3) 擁有 1 台垃圾車代理人

(4) 一週給定的天數，為工作日

表 4-1 研究樣區學生上課時段

上課節次 Unit	起始 Start	結束 End
0	07:10	08:00
1	08:10	09:00
2	09:10	10:00
3	10:20	11:10
4	11:20	12:10
5	13:10	14:00
6	14:10	15:00
7	15:20	16:10
8	16:20	17:10
9	17:20	18:10
10	18:20	19:10
11	19:20	20:10
12	20:20	21:10
13	21:20	22:10

5. 垃圾車代理人

樣區目前廢棄物清運分為教學區以及住宅區，樣區行駛之車輛，最大限速為每小時 30 公里。本研究主要探討教學區之廢棄清運方式，垃圾車代理人會依照教學區之收集順序，於子母車代理人位置進行清運，其收集順序如圖 4-2 所示。

本研究假設：

- (1) 初始位置於車庫代理人位置
- (2) 可載運之廢棄物為最大量
- (3) 收集單一子母車廢棄物之時間為： $(\text{單一子母車代理人廢棄物}(\text{kg}) * 0.01)$ 分鐘
- (4) 行駛速度為樣區內最大限速

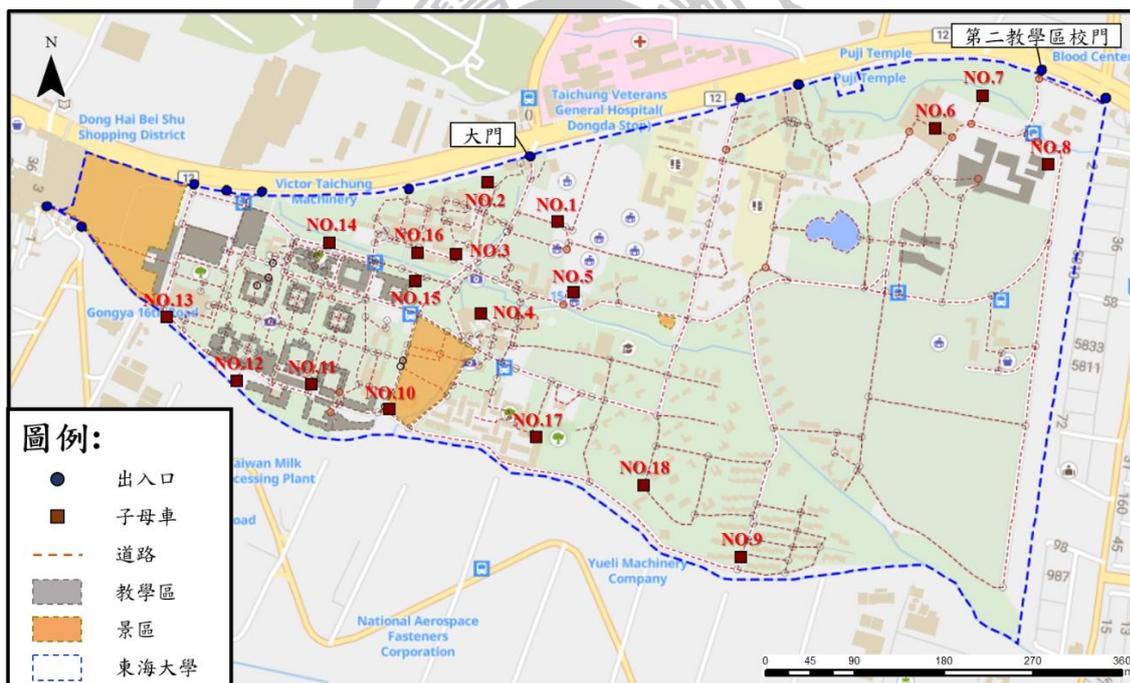


圖 4-2 垃圾車收集順序

由上述各代理人的設定與假設，整理如下表 4-1 所示。

表 4-2 代理人設定與假設

代理人	設定與假設	說明
學生代理人	人數	1100 人
	初始位置	平均分散至各出入口
	目的地	教學區
	時程	樣區上課時段以百分之二十的隨機機率，決定是否進入樣區中教學區
	廢棄物量	隨機 1~2 小時丟棄 1 公斤之廢棄物
	完成丟棄動作	隨機 0.5~5 分鐘
	行走速度	隨機每小時 3~5 公里
遊客代理人	人數	500
	初始位置	樣區汽車可進出之出入口，以及兩個靠近東海商圈之出入口
	目的地	景區
	時程	當天早上八點，每隔兩小時以百分之五十的隨機機率，決定是否進入樣區中景區，於晚上八點，會全數離開景區
	廢棄物量	隨機 1~2 小時丟棄 1 公斤之廢棄物
	完成丟棄動作	隨機 0.5~5 分鐘
	行走速度	隨機每小時 3~5 公里
子母車代理人	位置	樣區之子母車位置
	容量	最多可容納 500 公斤重之廢棄物
車庫代理人	位置	樣區外之空地
	擁有垃圾車代理人數量	1 台
垃圾車代理人	位置	樣區外之空地
	收集順序	樣區收集順序
	車速	每小時 30 公里
	可載運之廢棄物	最大量
	收集單一子母車廢棄物之時間	(單一子母車代理人廢棄物(kg)*0.01)分鐘

4.3 模擬環境建置

整個模型的基礎會在最高層級的主編輯器(main)中架構，子母車代理人設定為 Dumpster、垃圾車代理人設定為 Truck、車庫代理人設定為 Depot、學生代理人設定為 Student 以及遊客代理人設定為 Tourist，以及環境中任何的設定條件、都將在主編輯中(Main)中定義—模型頂層的物件。如圖 4-3 所示，在主編輯器中(Main)，可以編輯環境、空間與佈局。

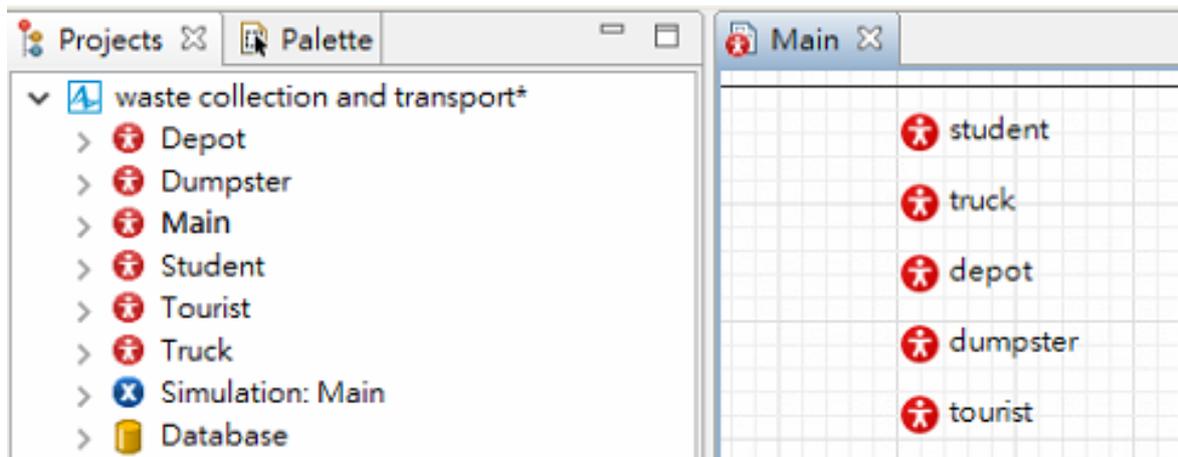


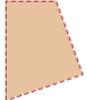
圖 4-3 最高層級的主編輯器(Main)

在主編輯器中，需要設定環境空間，來供代理人在環境中運行，Anylogic 有四種類型的空間表示方法：

- Continuous two-dimensional：連續的 2D 空間
- Continuous three-dimensional：連續的 3D 空間
- Discrete space (grid of cells)：離散空間(單位空間)
- GIS (Geographic Information System)：地理資訊系統

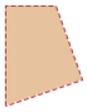
本研究代理人以 GIS 地理資訊系統做為模擬環境，可以將代理人放置於 GIS 地理空間環境中進行模擬，代理人可以使用 GIS 的「空間標記」來添加空間資訊，例如：代理人位置、所走的路徑等，常用的「空間標記」如下表 4-2 所示，並在以下詳細說明。

表 4-3 Anylogic 空間標記

空間標記	說明
 GIS 點(Point)	在地圖上使用 GIS 點定義城市、商店或的任何點的位置
 GIS 路線(Route)	在地圖上使用 GIS 路線繪製路線、道路和鐵路等
 GIS 區域(Region)	在地圖上使用 GIS 區域定義多邊形區域，例如：社區、園區等
 路線供應者 (Route provider)	如果有幾種不同類型的代理人使用不同類型的道路（汽車、火車、自行車、人），則需要在模型中添加 Route provider，並且支持四種類型的道路網絡：汽車（適用於所有類型的車輛）、鐵路、自行車和行走。

使用 GIS 的「空間標記」定義與設定各代理人之空間資訊，如下表 4-3 所示：

表 4-4 定義與設定各代理人之空間資訊

空間標記	說明	設定
 GIS 點(Point)	定義子母車代理人之位置	依照垃圾車代理人收集順序，命名為 NO.1~NO.18，設定於東海大學校園內所有子母車之位置
	定義學生代理人初始位置	命名為 S1~S11，設定於東海大學行人可進出之所有出入口
	定義遊客代理人初始位置	命名為 TP1~ TP4，設定於東海大學遊客經常進出之出入口
 GIS 路線(Route)	繪製學生代理人與遊客代理人可能行走之路線	繪製東海大學內所有行人可行走之路線
	定義東海大學之位置	命名為 THU，設定東海大學校園
 GIS 區域(Region)	定義東海大學教學區之位置	命名為 TA，設定東海大學教學區
	定義東海大學景區之位置	命名為 SA，設定東海大學景區
 routeProvider 路線供應者 (Route provider)	定義垃圾車代理人可行駛之路線	命名為 routeProviderTruck，使用汽車類型的網絡

4.4 事件建立

Anylogic 軟體中事件觸發有三種類型，如表 4-4 所示其中條件觸發事件類型，當條件第一次為真時，事件只會觸發一次之後不再監視條件，如果要在事件觸發一次後繼續監視條件，使用 restart() 函式。

表 4-5 事件觸發類型

事件	類型	說明
	到時觸發事件	在某個特定時刻（或某個特定日期）觸發事件
 event	條件觸發事件	檢視特定條件，並在此條件成為真時觸發事件
事件 (Event)	速率觸發事件	週期性的以參數速率指數型分佈時間間隔觸發事件



本研究事件為「子母車代理人廢棄物已達可容許之最大量」，命名為 generateDemand，觸發事件類型為條件觸發事件，其條件在以下詳細說明事件之設定：

1. 子母車代理人處於已滿狀態:使用 inState()函式，表示子母車代理人於已滿狀態會觸發事件。
2. 子母車代理人廢棄物為第一個到達可容許最大量:因為第一個子母車代理人處於已滿狀態時觸發事件，之後即使有子母車代理人處於已滿狀態並不會觸發事件，垃圾車代理人離開車庫代理人開始一次收集計畫，子母車代理人經過一次清運，才會再次觸發事件。

清運完之子母車代理人，使用 restart()函式，使事件可以重新觸發，每次事件觸發後，使用 send()函式，傳送一指令給車庫代理人。



4.5 代理人建立

代理人可能需要基本的設定，以方便建立他們的屬性、行為等，Anylogic 軟體中常用的元件如下表 4-5 所示，並加以詳細說明。

表 4-6 Anylogic 軟體元件

代理人組成元件	說明
 parameter 參數(Parameters)	用於定義模型對象的靜態特性，通常在模擬中是個常數值，僅在需要調整模型行為時才修改參數值
 variable 變數(Variable)	用於儲存模型模擬的結果或用於模擬會隨時間而變化的特徵
 function 函式(Function)	Java 的函式功能，以便將經常使用到的程式功能包裝成函式形式，如此一來能反覆地呼叫該函式來完成某件特定工作
 schedule 時間表(Schedule)	可以定義特定時間值產生的變化

狀態圖可以用來描述代理人的行為，Anylogic 軟體中常用的狀態圖元件如下表 4-6 所示：

表 4-7 Anylogic 狀態圖元件

狀態圖元件	說明
 狀態圖入口點 (Statechart Entry Point)	用於狀態圖的初始狀態
 狀態(State)	對條件或事件的有特定反應的位置
 轉換(Transition)	表示狀態從一個狀態切換到另一個狀態
 分支(Branch)	表示轉換分支或連接點，分支可以創建具有多個目標狀態的轉換

如果滿足轉換的觸發條件，則狀態從一個狀態切換到另一個狀態，並執行給定的行為，狀態的轉換基本上有四種觸發條件類型，如表 4-7 所示：

表 4-8 狀態觸發條件類型

觸發條件類型	說明
 到時(Timeout)	當所設定的時間結束後，則轉換到下一個狀態
 速率(Rate)	間隔一段的平均時間，發生狀態改變
 條件(Condition)	當達成特定條件時做出反應
 訊息(Message)	接收到特定的消息，消息以字串的形式傳送
 智能體到達(Agent arrival)	可用於會移動的代理人，當到達指定的位置時，則進入下一個狀態

(a) 學生代理人—Student agent

代理人 Student 學生，是一個在環境中活動的對象，代表東海大學學生，學生代理人起始位置於東海大學各個入口，並且在主編輯器(Main)中設置，此外學生代理人會依照給定時程進入校園或離開校園(起始位置)，並且在代理人的屬性中，建立學生代理人移動的速度。

學生代理人設定基本元件如下表 4-8 所示包含六種狀態並且命名如下：

- 在家(AtHome)
- 移動至學校(GoingToSchool)
- 移動至子母車(GoingToDumpster)
- 在學校(InSchool)
- 丟棄(Unloading)
- 移動至家裡(GoingBack)

表 4-9 學生代理人基本元件

組成元件	命名	設定
 parameter 參數 (Parameters)	location	為 GISPoint，代表學生代理人的初始位置
 variable 變數 (Variable)	port	為子母車代理人類型
 schedule 時間表 (Schedule)	GoToTASchedule	於特定時程發送“class time”之訊息給學生代理人，代表學校上課時程，並且學生隨機選擇是否進入校園
	GoHomeSchedule	學生代理人除了會隨機選擇是否離開校園外，於特定時程發送“leave school”之訊息給學生代理人，代表學生代理人離開校園

如圖 4-4 所示，狀態的轉換主要有訊息(Message)、智能體到達(Agent arrival)以及到時(Timeout)來驅動，學生代理人各自擁有自己的狀態，並依照觸發設定進行轉換，其觸發狀態轉移類型及設定如表 4-9 所示。

表 4-10 學生代理人觸發狀態轉移類型與設定

觸發條件類型	命名	設定
 到時(Timeout)	HaveWaste	連續均勻分布隨機數 uniform()，產生一區間之隨機數，代表學生代理人隨機幾小時，需要至子母車代理人丟棄廢棄物。
	FUnloading	連續均勻分布隨機數 uniform()，產生一區間之隨機數，代表學生代理人隨機幾分鐘，完成丟棄動作，觸發後，使用 randomTrue()函式，表示隨機決定轉換至移動至家裡(GoingBack)狀態，或轉換至移動至學校(GoingToSchool)狀態
	ClassTime	訊息類型為字串，該訊息來自於時間表所發出“class time”字串，觸發後，使用 randomTrue()函式，表示隨機決定轉換至移動至學校(GoingToSchool)狀態，或轉換至在家(AtHome)狀態
 訊息(Message)	NotClassTime	訊息類型為字串，該訊息來自於時間表所發出“leave school”字串
	ArrivedToTA	代表學生代理人抵達教學區
 智能體到達 (Agent arrival)	ArrivedToD	代表學生代理人抵達子母車代理人位置。
	ArrivedToL	代表學生代理人抵達最初位置(location)

學生代理人擁有六種基本狀態，並且在不同的狀態可能會做出不一樣的行為，因此針對學生代理人的擁有行為之狀態進行討論，其狀態設定如下：

- 移動至學校(GoingToSchool): 於此狀態下，使用 `moveTo()` 函式，讓學生代理人移動至 SA 區域，即為東海大學教學區，其移動路徑為抵達目的地之最短路徑。
- 移動至子母車(GoingToDumpster): 於此狀態下，學生代理人會尋找離自己最近的子母車代理人，設定為 $distance = \min(\text{distanceTo}(\text{每個子母車代理人之位置}))$ ，表示 $distance$ 等於學生代理人與各子母車代理人距離的最小值， $\text{if}(\text{distanceTo}(\text{單一子母車代理人之位置}) == distance)$ ，如果學生代理人與單一子母車代理人距離等於 $distance$ ，則變數(`port`)等於目標子母車代理人，並且使用 `moveTo()` 函式，移動至變數(`port`)。
- 丟棄(Unloading): 於此狀態下，讓變數(`port`)子母車代理人中的存量(`waste`)增加，代表學生代理人一次丟棄的廢棄物量。
- 移動至家裡(GoingBack): 於此狀態下，使用 `moveTo()` 函式，讓學生代理人移動至參數(`location`)之位置，也就是學生代理人在各入口的初始位置，其移動路徑為抵達目的地之最短路徑。

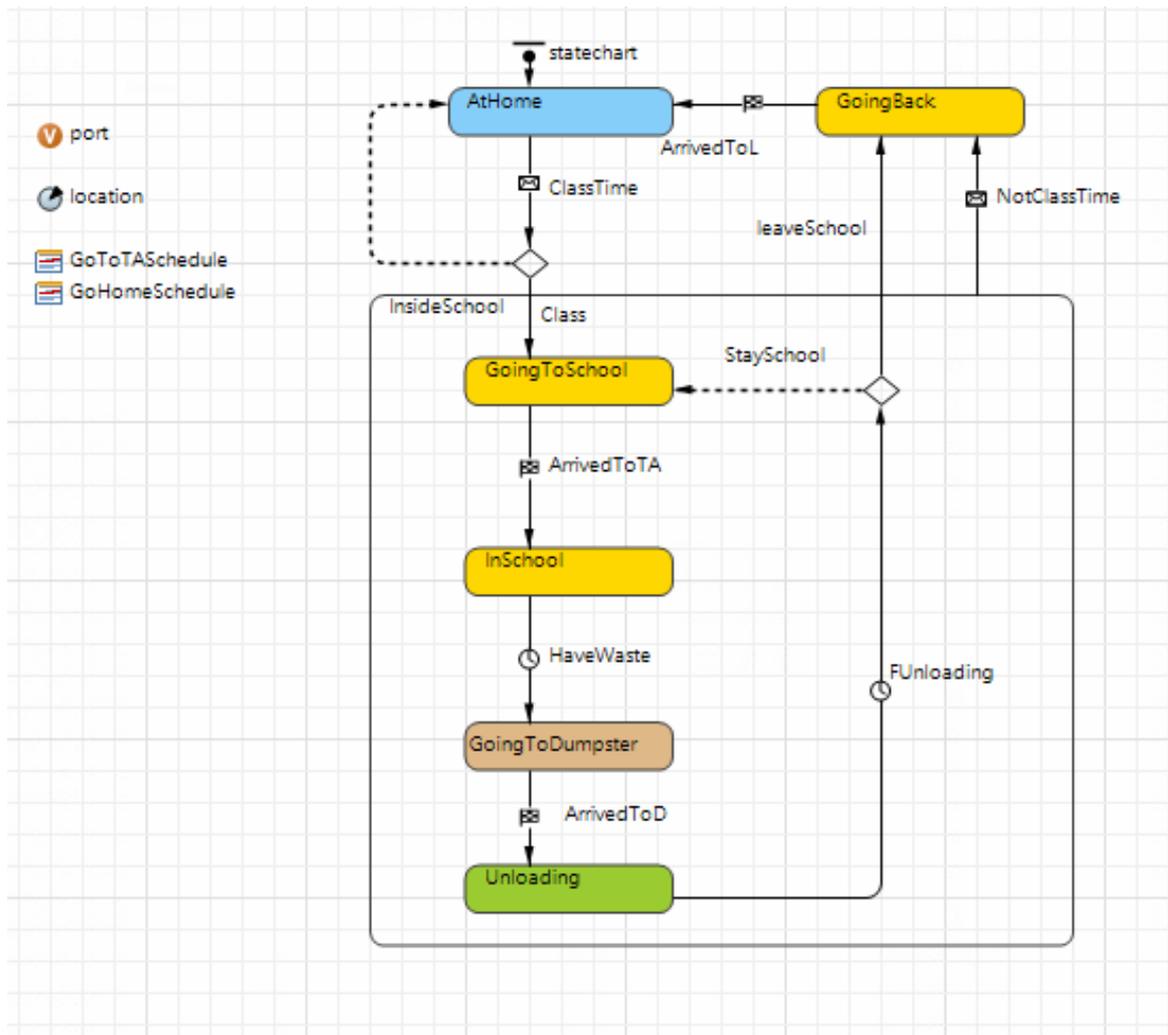


圖 4-4 學生代理人—Student agent

(b) 遊客代理人—Tourist agent

代理人 Tourist 遊客，是一個在環境中活動的對象，代表樣區內景點區旅遊之遊客，遊客代理人起始位置於汽車可進出及樣區西側之出入口，並且在主編輯器(Main)中設置，此外遊客代理人會依照給定時程進入校園或離開校園(起始位置)。需要在代理人的屬性中，建立遊客代理人移動的速度。

遊客代理人中，設定基本元件如下表 4-10 所示，包含六種狀態並且命名如下：

- 在家(AtHome)
- 移動至學校(GoingToSchool)
- 移動至子母車(GoingToDumpster)
- 在學校(InSchool)
- 丟棄(Unloading)
- 移動至家裡(GoingBack)

表 4-11 遊客代理人基本元件

組成元件	命名	設定
 parameter 參數(Parameters)	location	為 GISPoint，代表學生代理人的初始位置
 variable 變數(Variable)	port	為子母車代理人類型
 schedule 時間表(Schedule)	GoToSASchedule GoHomeSchedule	於特定時程發送“Travel time”之訊息給學生代理人，代表遊客旅遊時程，並且遊客隨機選擇是否進入校園 遊客代理人除了會隨機選擇是否離開校園外，於特定時程發送“leave school”之訊息給遊客代理人，代表遊客代理人離開校園

如圖 4-5 所示，狀態的轉換主要有訊息(Message)、智能體到達(Agent arrival)以及到時(Timeout)來驅動，遊客代理人各自擁有自己的狀態，並依照觸發設定進行轉換，其觸發狀態轉移類型及設定如表 4-11 所示。

表 4-12 遊客代理人觸發狀態轉移類型與設定

觸發條件類型	命名	設定
 到時(Timeout)	HaveWaste	連續均勻分布隨機數 uniform()，產生一區間之隨機數，代表遊客代理人隨機幾小時，需要至子母車代理人丟棄廢棄物。
	FUnloading	連續均勻分布隨機數 uniform()，產生一區間之隨機數，代表遊客代理人隨機幾分鐘，完成丟棄動作，觸發後，使用 randomTrue()函式，表示隨機決定轉換至移動至家裡(GoingBack)狀態，或轉換至移動至學校(GoingToSchool)狀態
 訊息(Message)	Traveltime	訊息類型為字串，該訊息來自於時間表所發出“Travel time”字串，觸發後，使用 randomTrue()函式，表示隨機決定轉換至移動至學校(GoingToSchool)狀態，或轉換至在家(AtHome)狀態
	NotTravelTime	訊息類型為字串，該訊息來自於時間表所發出“leave school”字串
 智能體到達 (Agent arrival)	ArrivedToSA	代表遊客代理人抵達景區
	ArrivedToD	代表遊客代理人抵達子母車代理人位置。
	ArrivedToL	代表遊客代理人抵達初始位置(location)

遊客代理人擁有六種基本狀態，並且在不同的狀態可能會做出不一樣的行為，因此針對遊客代理人的擁有行為之狀態進行討論，其狀態設定如下：

- 移動至學校(GoingToSchool): 於此狀態下，使用 `moveTo()` 函式，讓遊客代理人移動至 SA 區域，即為東海大學景區，其移動路徑為抵達目的地之最短路徑。
- 移動至子母車(GoingToDumpster): 於此狀態下，遊客代理人會尋找離自己最近的子母車代理人，設定 $distance = \min(distanceTo(\text{每個子母車代理人之位置}))$ ，表示 $distance$ 等於遊客代理人與每個子母車代理人距離的最小值， $if(distanceTo(\text{單一子母車代理人之位置}) == distance)$ ，如果遊客代理人與單一子母車的距離等於 $distance$ ，則變數(`port`)等於單一子母車代理人，並且使用 `moveTo()` 函式，移動至變數(`port`)。
- 丟棄(Unloading): 於此狀態下，讓變數(`port`)子母車代理人中的存量(`waste`)增加，代表遊客代理人一次丟棄的廢棄物量。
- 移動至家裡(GoingBack): 於此狀態下，使用 `moveTo()` 函式，讓遊客代理人移動至參數(`location`)之位置，也就是遊客代理人的初始位置，其移動路徑為抵達目的地之最短路徑。

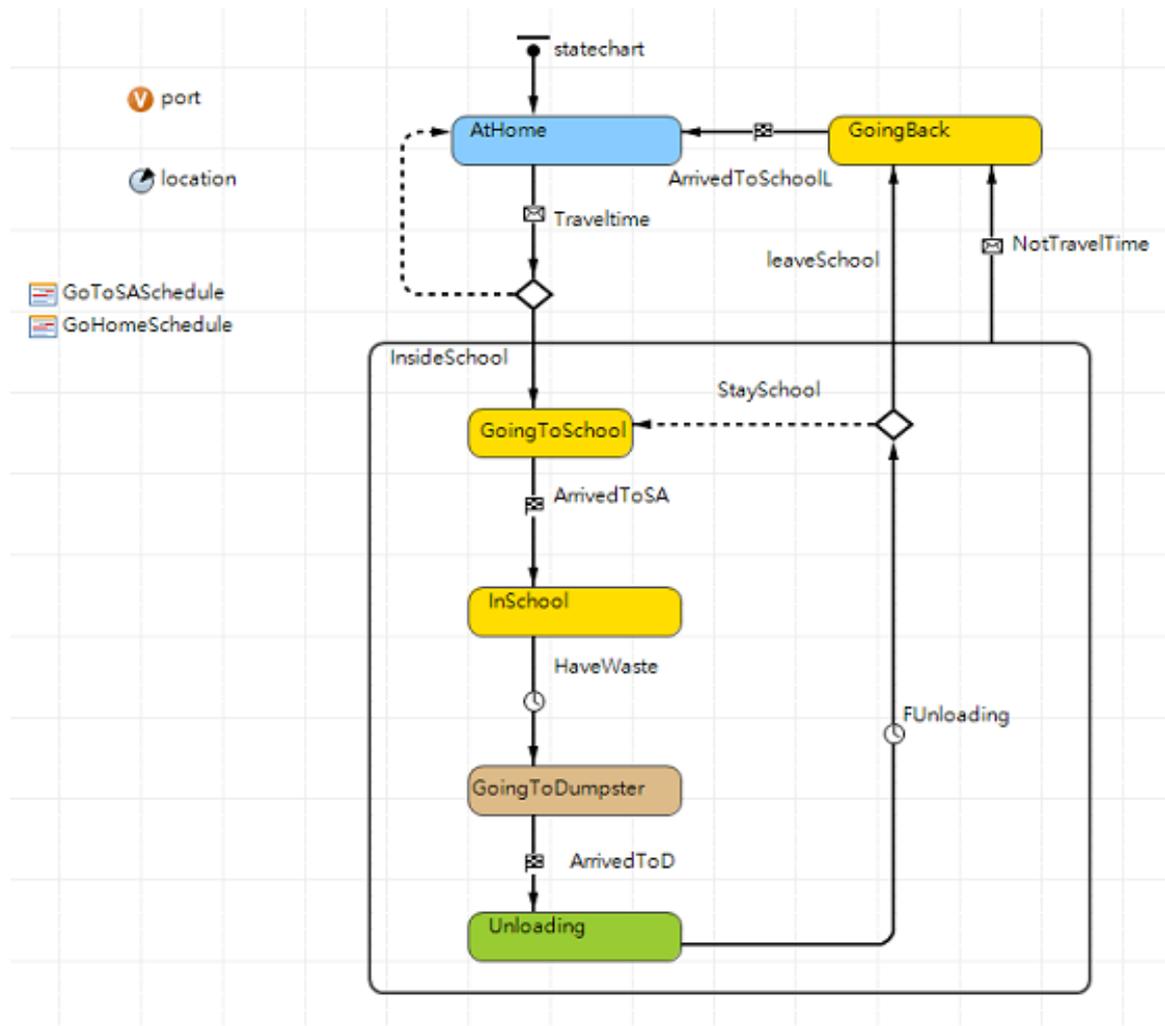


圖 4-5 遊客代理人—Tourist agent

(c) 子母車代理人—Dumpster agent

代理人 Dumpster 子母車，是被視為代理人的物件，擁有自身的狀態圖，並且在最高主編輯器(Main)中定義位置。

在子母車代理人中，設定基本元件如下表 4-12 所示，包含兩種狀態並且命名如下：

- 未滿(Notfull)
- 已滿(Full)

表 4-13 子母車代理人元件

組成元件	命名	設定
 parameter 參數(Parameters)	capacity	代表子母車代理人容量
	location	代表子母車代理人所在位置
 variable 變數(Variable)	waste	代表學生代理人丟棄到子母車代理人的廢棄物量

代理人各自擁有自己的狀態，並且依照自己是否達到條件的設定進行轉換，如圖 4-6 所示，狀態的轉換主要條件(Condition)，其條件設定如下表 4-13 所示：

表 4-14 子母車代理人觸發狀態轉移類型與設定

觸發條件類型	命名	設定
 條件(Condition)	Full	waste 大於等於 capacity，為廢棄物量大於子母車代理人容量
	Clean	waste 小於 capacity，為廢棄物量小於子母車代理人容量

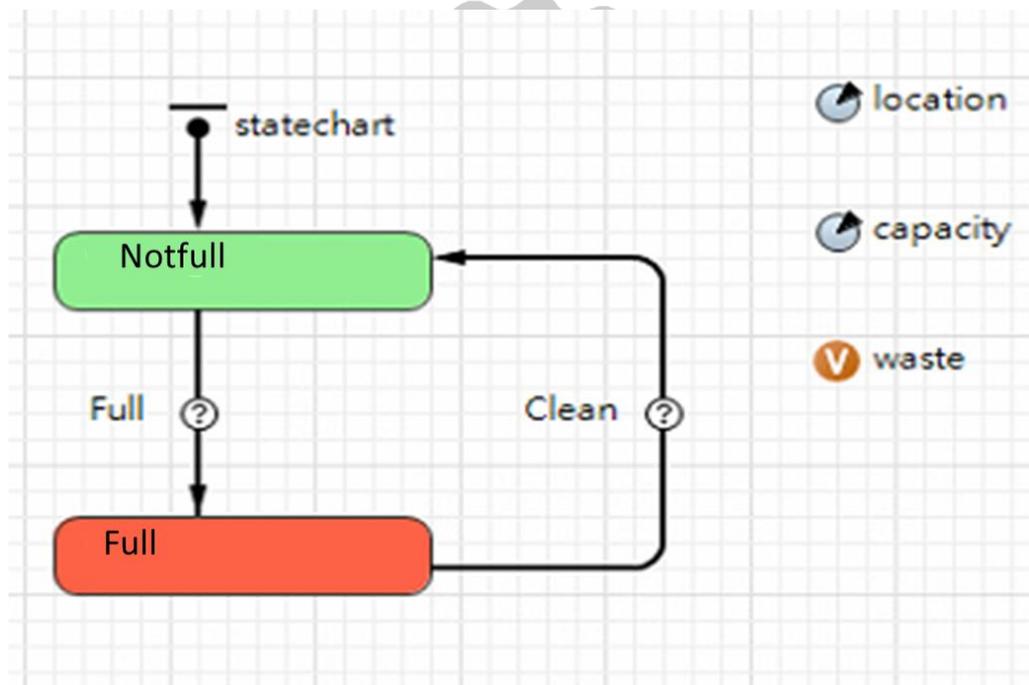


圖 4-6 子母車代理人—Dumpster agent

(d) 車庫代理人—Depot agent

Depot agent 車庫代理人扮演著接收指令以及控制垃圾車代理人的角色，在本研究中，垃圾車代理人屬於車庫代理人可用的資源，因此擁有垃圾車代理人的數量於此設置，其車庫代理人位置於東海大學校區外的空曠場地，並且在主編輯(main)中定義。

車庫代理人為一項離散事件模擬，將車庫可能的狀態皆設定於事件流程中，使模擬中的每一件項目都依據順序執行，如車庫代理人在接收到指令代理人後，依序的指派與釋放垃圾車代理人並結束一次的離散事件模擬。



車庫代理人所使用的模塊，如下表 4-14 所示，並加以詳細說明介紹。

表 4-15 車庫代理人使用之模塊說明

圖形模塊	說明
<p>enter</p>  <p>進入(Enter)</p>	<p>用來插入代理人邏輯、狀態圖或事件的處理流程。</p>
<p>delay</p>  <p>延遲(Delay)</p>	<p>用於設定延遲時間量，可沿著流程設定或指定停留位置。 (通用模擬項目，不限定在某一類型中，可交互使用)</p>
<p>queue</p>  <p>列隊(Queue)</p>	<p>用於代理人排列或儲存的處理流程，可以在此模塊設定等待時間，還可以通過編程刪除列隊中任何位置的代理人。</p>
<p>hold</p>  <p>保留(Hold)</p>	<p>用於特定時間點，不希望模塊程序繼續進行。</p>
<p>seize</p>  <p>抓獲(Seize)</p>	<p>從 ResourcePool 中獲取給定數量的資源。</p>
<p>release</p>  <p>釋放(Release)</p>	<p>釋放先前被 Seize 獲取的資源。</p>
<p>sink</p>  <p>結束(Sink)</p>	<p>通常是一個模擬流程的終點。 (通用模擬項目，不限定在某一類型中，可交互使用)</p>
<p>resourcePool</p>  <p>資源庫 (ResourcePool)</p>	<p>定義資源，可以藉由使用 Seize、Release 等模塊來獲取或釋放資源</p>

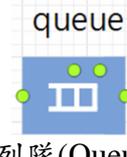
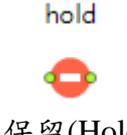
表 4-16 車庫代理人元件

組成元件	命名	設定
 parameter 參數 (Parameters)	nVehicles	代表擁有垃圾車代理人數量
 schedule 時間表 (Schedule)	Workingday	代表車庫代理人工作時間表，如為工作時間，使變數為“true”
 variable 變數 (Variable)	SelectV	為布林類型，代表車庫代理人是否工作

車庫代理人設定基本元件如表 4-15 所示。

車庫代理人收到指令代理人後，指派及釋放垃圾車代理人的離散事件模塊，其運作順序如圖 4-7 所示，每個模塊有它代表的意義，因此針對模塊以及模塊內的設定進行描述，如表 4-16 所示。

表 4-17 車庫代理人使用之模塊設定

圖形模塊	命名	設定
 <p>enter 進入(Enter)</p>	processOrder	模塊的進入點，進入類型為事件觸發所傳送之指令。
 <p>queue 列隊(Queue)</p>	ordersQueue	指令排列的模塊，即使同時有多個指令同時進入離散事件模塊，也能透過此模塊依序排列、處理。
 <p>hold 保留(Hold)</p>	hold	設定為變數(SelectV)等於 true 時，模塊繼續運行。
 <p>seize 抓獲(Seize)</p>	takeTruck	獲取資源模塊，擁有的資源為 fleet 模塊中的資源，進入此模塊時，會傳送指派給 fleet 模塊中的資源(意即指派垃圾車代理人)，並且每次指派一單位的垃圾車代理人。
 <p>delay 延遲(Delay)</p>	delivering	時間延遲模塊，時間延遲設定為從指派垃圾車代理人，到垃圾車代理人回到車庫發送 stopDelay() 之訊息所經過的時間。
 <p>release 釋放(Release)</p>	releaseTruck	釋放資源，代表垃圾車代理人完成一次指令任務，並在此模塊釋放，接受下一次的指派。
 <p>sink 結束(Sink)</p>	Sink	代表一次離散事件模塊模擬的結束
 <p>resourcePool 資源庫 (ResourcePool)</p>	fleet	資源模塊，資源類型為垃圾車代理人，並且擁有的垃圾車代理人數量由參數(nVehicles)所決定，並且設定垃圾車代理人中參數(Depot)等於目前所在的車庫，以及垃圾車代理人設置於車庫位置(Depot)。

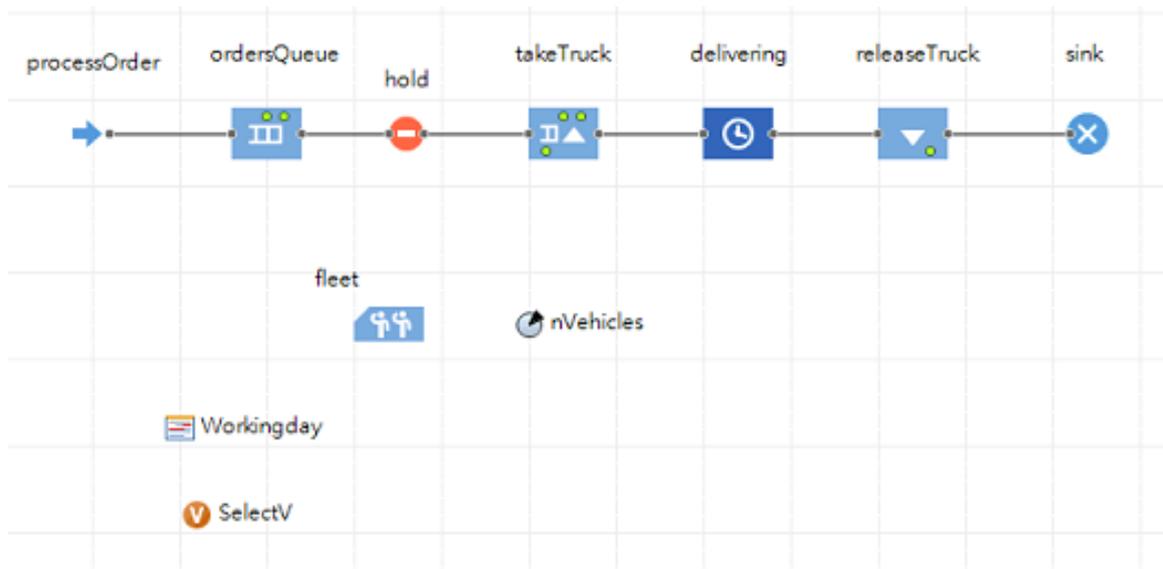


圖 4-7 車庫代理人—Depot agent



(e) 垃圾車代理人—Truck agent

Truck 垃圾車代理人是一個在環境中活動的對象，在本研究中垃圾車代理人屬於車庫代理人的資源，因此車庫代理人的位置就是垃圾車的起始位置，並且在主編輯器(Main)中設置。

另外需要在代理人的屬性中，建立垃圾車代理人移動的速度，速度設置 30 公里/小時，為東海大學校內行車速限。

在垃圾車代理人中，設定基本元件如下表 4-17 所示，包含四種狀態並且命名如下：

- 在車庫(atDepot)
- 移動至子母車(GoingToDumpster)
- 清運(Loading)
- 回車庫(GoingBack)

表 4-18 垃圾車代理人元件

組成元件	命名	設定
 parameter 參數(Parameters)	Depot	為車庫代理人
	order	為一指令
 variable 變數(Variable)	DumpsterTerminal	為子母車代理人

如圖 4-8 所示，狀態的轉換主要有訊息(Message)、智能體到達(Agent arrival)以及到時(Timeout)來驅動，每一個垃圾車代理人各自擁有自己的狀態，並依照觸發設定進行轉換，其觸發狀態轉移類型及設定如表 4-18 所示。

表 4-19 遊客代理人觸發狀態轉移類型與設定

觸發條件類型	命名	設定
 到時(Timeout)	LoadingTime	代表垃圾車代理人清運單一子母車代理人廢棄物所需時間
 訊息(Message)	GetOder	訊息類型為 Order，該訊息來自於車庫代理人於“takeTruck”模塊中所傳遞
 智能體到達 (Agent arrival)	Arrived	代表垃圾車代理人抵達目標子母車代理人位置
	ArrivedHome	代表垃圾車代理人回到車庫代理人位置，並且在觸發同時，讓車庫代理人中的模塊 delivering，停止延遲

垃圾車代理人擁有四種基本狀態，並且在不同的狀態會做出不一樣的行為，因此針對垃圾車代理人的狀態進行討論，其狀態設定如下：

- 在車庫 (atDepot): 於此狀態下，使用 restart() 函式，讓事件 (generateDemand) 可以重新被觸發。
- 移動至子母車 (GoingToDumpster): 於此狀態下，使用 moveTo() 函式，使垃圾車代理人移動至子母車代理人之位置，並且讓變數 (DumpsterTerminal) 等於子母車代理人。
- 清運 (Loading): 於此狀態下，使變數 (DumpsterTerminal) 之子母車代理人存量 (waste) 等於零，代表垃圾車代理人開始清運動作。
- 回車庫 (GoingBack): 於此狀態下，使用 moveTo() 函式，使垃圾車代理人移動至參數 (Depot) 之位置，也就是垃圾車代理人在車庫的初始位置。

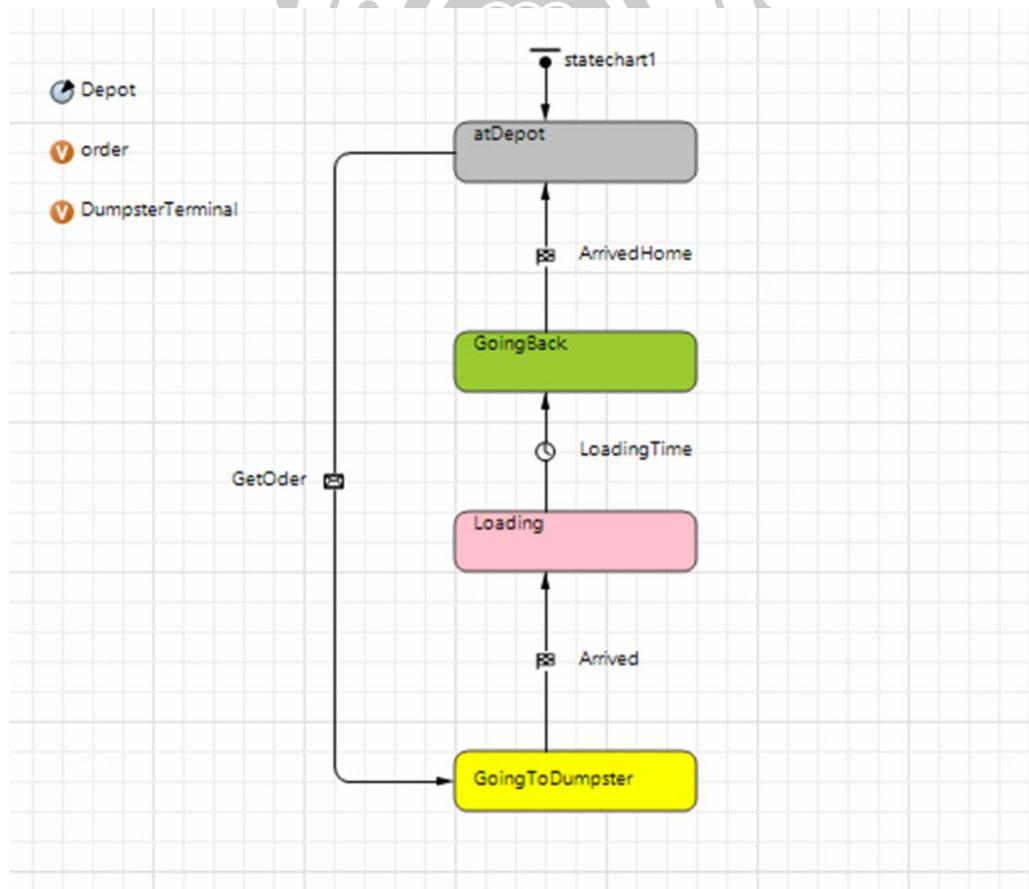


圖 4-8 垃圾車代理人—Truck agent

4.6 多重代理人與空間環境間情境模擬

4.6.1 情境設定

情境設定分為假日與非假日，控制學生、遊客、車庫代理人的方式，對子母車及垃圾車代理人影響，因此設定三種情境，詳細說明如下：

情境一：

- 週一至週五，活動人口為學生
- 週六至週日，無活動人口
- 週一至週日，均為車庫代理人工作日

表 4-20 情境一設定

	週一至週五	週六至週日
學生代理人	活動	不活動
遊客代理人	不活動	不活動
車庫代理人	工作日	工作日

情境二：

- 週一至週五活動人口為學生
- 週六至週日活動人口為遊客
- 週一至週日，均為車庫代理人工作日

表 4-21 情境二設定

	週一至週五	週六至週日
學生代理人	活動	不活動
遊客代理人	不活動	活動
車庫代理人	工作日	工作日



情境三：

- 週一至週五活動人口為學生
- 週六至週日活動人口為遊客
- 僅週一至週五，為車庫代理人工作日

表 4-22 情境三設定

	週一至週五	週六至週日
學生代理人	活動	不活動
遊客代理人	不活動	活動
垃圾車代理人	工作日	非工作日



4.6.2 情境模擬結果

情境一：

- 車庫代理人指派垃圾車代理人總共 20 次
- 垃圾車代理人每次清運時間介於 37~39 分鐘

表 4-23 情境一之模擬結果

情境一					
指令	清運時間	垃圾量(kg)	指令	清運時間	垃圾量(kg)
1	00:38:43	1682	11	00:38:14	1633
2	00:37:20	1545	12	00:37:47	1588
3	00:37:55	1602	13	00:38:05	1618
4	00:38:07	1621	14	00:38:13	1631
5	00:38:11	1627	15	00:37:51	1594
6	00:37:37	1571	16	00:39:18	1740
7	00:38:31	1663	17	00:38:22	1646
8	00:37:33	1565	18	00:37:48	1590
9	00:38:58	1708	19	00:37:41	1578
10	00:38:13	1632	20	00:38:44	1683

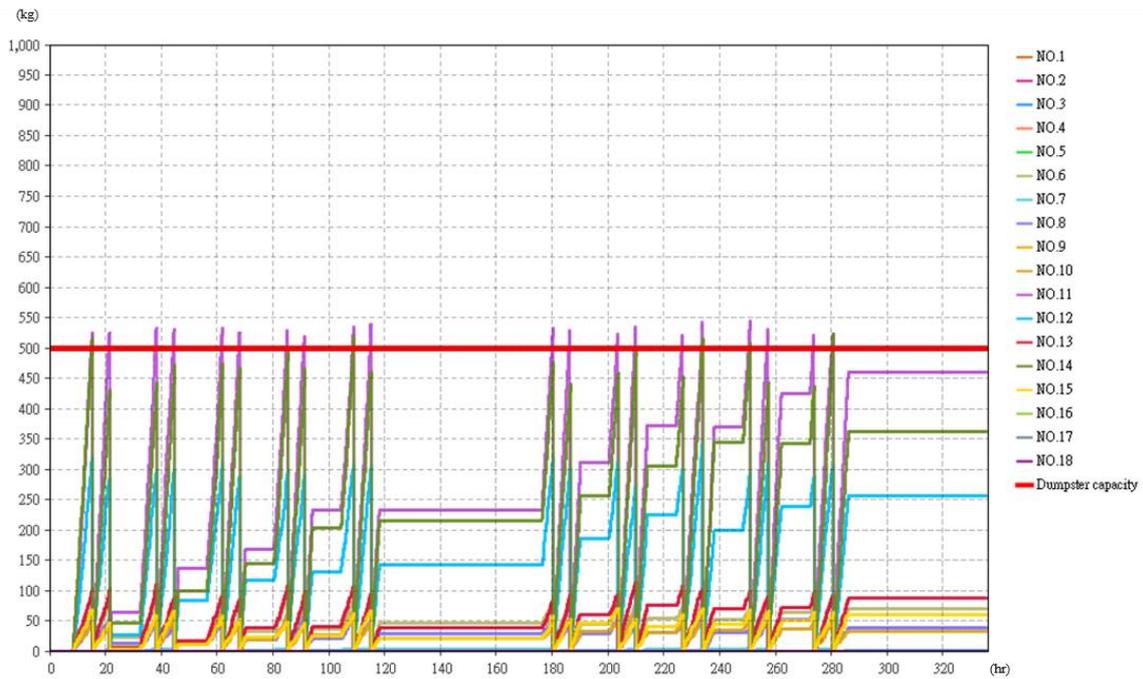


圖 4-9 情境一：子母車代理人廢棄物量

- 因學生代理人活動範圍為教學區，廢棄物主要丟棄至 NO11、12、14
- 大部分由 NO.11 子母車代理人觸發事件

情境二：

- 車庫代理人指派垃圾車代理人總共 24 次
- 垃圾車代理人每次清運時間介於 37~44 分鐘

表 4-24 情境二之模擬結果

情境二					
指令	清運時間	垃圾量(kg)	指令	清運時間	垃圾量(kg)
1	00:38:43	1682	13	00:40:07	1821
2	00:37:20	1545	14	00:38:06	1621
3	00:37:55	1602	15	00:39:18	1740
4	00:38:07	1621	16	00:37:36	1570
5	00:38:11	1627	17	00:38:02	1649
6	00:37:37	1571	18	00:38:23	1649
7	00:38:31	1663	19	00:38:21	1644
8	00:37:33	1565	20	00:38:40	1676
9	00:38:58	1708	21	00:39:19	1742
10	00:38:13	1632	22	00:37:37	1571
11	00:44:13	2232	23	00:42:28	2056
12	00:36:40	1476	24	00:37:48	1589

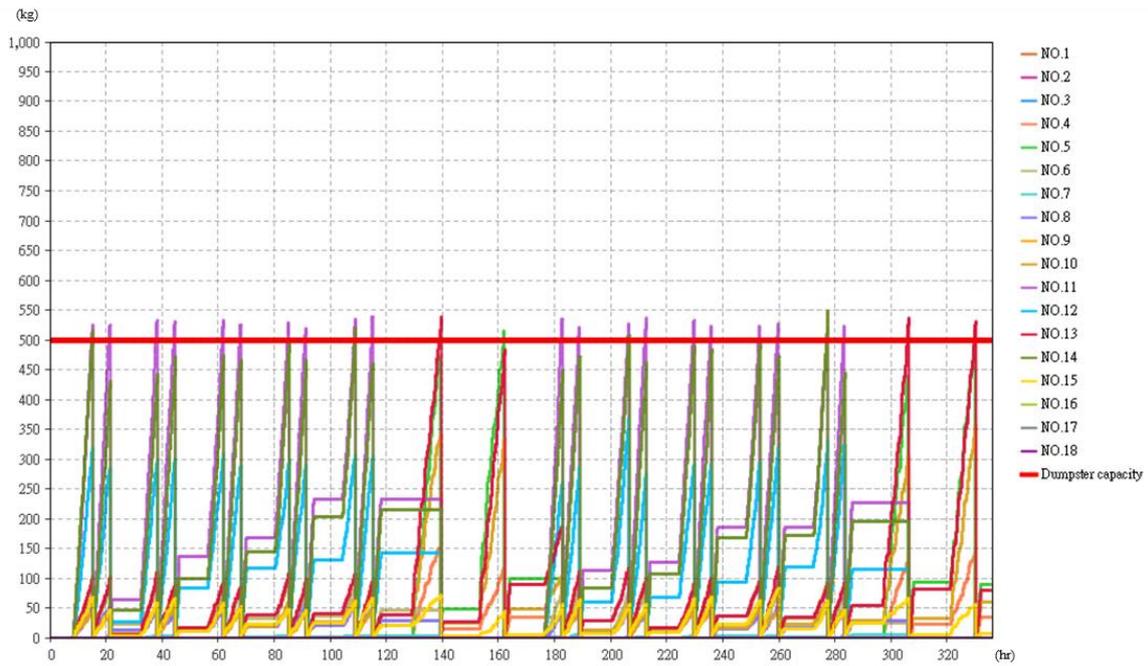


圖 4-10 情境二:子母車代理人廢棄物量

- 平日學生代理人廢棄物主要丟棄至 NO.11、12、14
- 假日遊客代理人廢棄物主要丟棄至 NO.5、10、13
- 平日大部分由 NO.11 子母車代理人觸發事件
- 假日大部分由 NO.13 子母車代理人觸發事件

情境三：

- 車庫代理人指派垃圾車代理人總共 21 次
- 假日車庫代理人無工作，等待至工作日，因假日累積廢棄物，清運時間將增長

表 4-25 情境三之模擬結果

情境三					
指令	清運時間	垃圾量(kg)	指令	清運時間	垃圾量(kg)
1	00:38:43	1682	12	00:37:16	1536
2	00:37:20	1545	13	00:38:11	1628
3	00:37:55	1602	14	00:39:18	1740
4	00:38:07	1621	15	00:37:37	1571
5	00:38:11	1627	16	00:38:02	1612
6	00:37:37	1571	17	00:38:23	1649
7	00:38:31	1663	18	00:38:21	1644
8	00:37:33	1565	19	00:38:40	1676
9	00:38:58	1708	20	00:39:19	1742
10	00:38:13	1632	21	00:37:37	1571
11	01:02:01	4011			

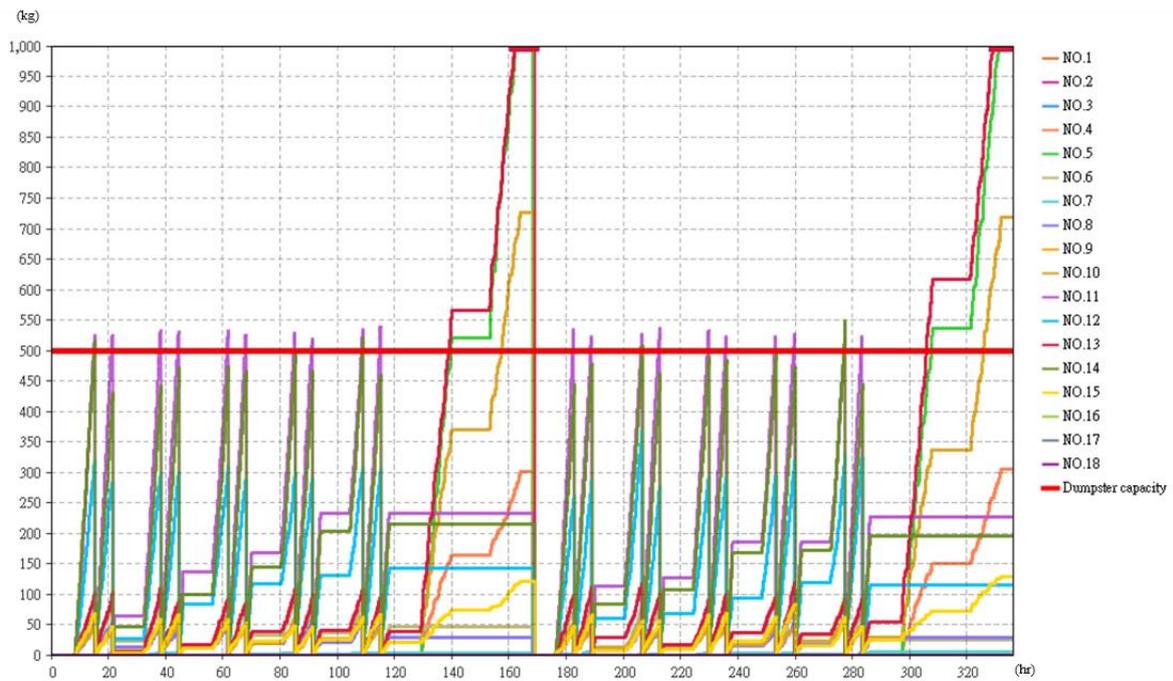


圖 4-11 情境三:子母車代理人廢棄物量

- 平日學生代理人廢棄物主要丟棄至 NO.11、12、14
- 假日遊客代理人廢棄物主要丟棄至 NO.5、10、13
- 因假日垃圾車代理人無清運廢棄物，NO.5、10、13 廢棄物容易堆積

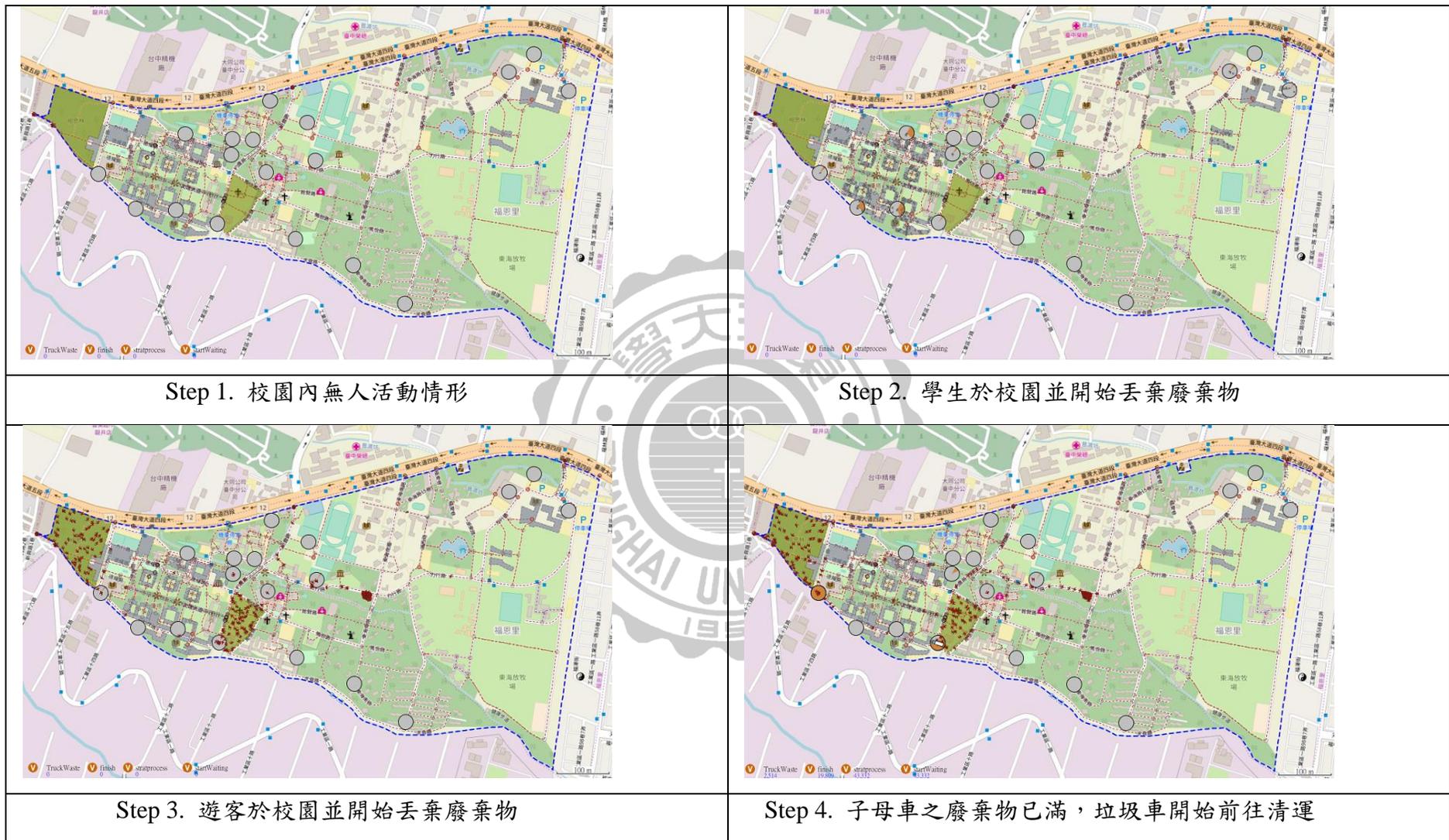


圖 4-12 校園廢棄物收集清運模擬展示圖

第五章 結論與建議

由於現實中的環境與系統相當複雜，代理人行為不易掌控，因此本研究模擬時多以假設條件及隨機機率進行模擬，將此假設的情境模擬結果分析後，做出以下結論與建議。

5.1 結論

1. 代理人基模擬方法可以透過各個代理人間的互動關連與整合，模擬一個複雜的廢棄物及清運系統；另外可以納入環境空間的概念，建立代理人與環境互動模型。
2. 子母車代理人分佈空間分佈位置，加上學生及遊客代理人活動範圍不同、人數不同以及選擇目的地行為，因此觸發事件之子母車代理人也會有所不同。
3. 控制車庫代理人方式，可能影響子母車代理人廢棄物累積情形，及垃圾車代理人清運時間。

5.2 建議

1. 本研究提供一廢棄物收集及運輸之代理人模型，但因目前無納入實際資料，故以假設值或以隨機機率方式進行資料設定，應收集更多資料與筆數，建立完整資料庫或機率分布狀況，進而帶入此模式。
2. 本研究垃圾車代理人容量設定為最大量，未來可考慮增加容量限制，探討廢物總量大於車輛容量的情況。
3. 本研究行人選擇行為只考慮距離因素，未來可增加更多影響因素，使模型更貼近現實情形。
4. 本研究設定子母車代理人即使達可容許廢棄物容量最大量，仍然可以繼續收集行人代理人之廢棄物，未來可考慮限制子母車代理人達可容許廢棄物容量最大量，行人代理人不可丟棄廢棄物的情況。
5. 未來可考慮增加垃圾車駕駛人運輸行為，例如:駕駛人觀察路況、保持安全距離，使模型更加完整。
6. 本研究設定事件僅為「子母車代理人廢棄物已達可容許最大量」，未來可增加例如:下雨、路跑等事件，使代理人的行為改變。

參考文獻

- Agarwal, A., and Kickhöfer, B. (2015). "Agent-based Simultaneous Optimization of Congestion and Air Pollution: A Real-World Case Study." *Procedia Computer Science*, 52, 914-919.
- Akanle, O. M., and Zhang, D. Z. (2008). "Agent-based model for optimising supply-chain configurations." *Int J Prod Econ*, 115(2), 444-460.
- Aldea, A., Banares-Alcantara, R., Jimenez, L., Moreno, A., Martinez, J., and Riano, D. (2004). "The scope of application of multi-agent systems in the process industry: three case studies." *Expert Syst Appl*, 26(1), 39-47.
- Ali, A. M., Shafiee, M. E., and Berglund, E. Z. (2017). "Agent-based modeling to simulate the dynamics of urban water supply: Climate, population growth, and water shortages." *Sustain Cities Soc*, 28, 420-434.
- Anderson, P. (1999). "Perspective: Complexity Theory and Organization Science." *Organization Science*, 10(3), 216-232.
- Arribas, C. A., Blazquez, C. A., and Lamas, A. (2010). "Urban solid waste collection system using mathematical modelling and tools of geographic information systems." *Waste Manage Res*, 28(4), 355-363.
- Babakan, A. S., and Taleai, M. (2015). "Impacts of transport development on residence choice of renter households: An agent-based evaluation." *Habitat Int*, 49, 275-285.
- Ben Othman, S., Zgaya, H., Dotoli, M., and Hammadi, S. (2017). "An agent-based Decision Support System for resources' scheduling in Emergency Supply Chains." *Control Engineering Practice*, 59, 27-43.
- Benenson, I., Martens, K., and Birfir, S. (2008). "PARKAGENT: An agent-based model of parking in the city." *Comput Environ Urban*, 32(6), 431-439.
- Borshchev, A., and Filippov, A. "From system dynamics and discrete event to practical agent based modeling: reasons, techniques, tools." *Proc., Proceedings of the 22nd international conference of the system dynamics society*.
- Brintrup, A. (2010). "Behaviour adaptation in the multi-agent, multi-objective and multi-role supply chain." *Computers in Industry*, 61(7), 636-645.
- Ciancarini, P., and Wooldridge, M. (2001). "Agent-based software engineering." *Int J Softw Eng Know*, 11(3), 205-206.
- Clifton, K. J., Singleton, P. A., Muhs, C. D., and Schneider, R. J. (2016). "Development of destination choice models for pedestrian travel." *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 94(Supplement C), 255-265.
- Das, S., and Bhattacharyya, B. K. (2015). "Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes." *Waste Manage*, 43, 9-18.

- Dia, H. (2002). "An agent-based approach to modelling driver route choice behaviour under the influence of real-time information." *Transport Res C-Emer*, 10(5-6), 331-349.
- Farahvash, P., and Boucher, T. O. (2004). "A multi-agent architecture for control of AGV systems." *Robot Cim-Int Manuf*, 20(6), 473-483.
- Fischer, T., and Riedler, J. (2014). "Prices, debt and market structure in an agent-based model of the financial market." *Journal of Economic Dynamics and Control*, 48, 95-120.
- Gaube, V., and Remesch, A. (2013). "Impact of urban planning on household's residential decisions: An agent-based simulation model for Vienna." *Environ Modell Softw*, 45, 92-103.
- Gong, C. Z., Yu, S. W., Zhu, K. J., and Hailu, A. (2016). "Evaluating the influence of increasing block tariffs in residential gas sector using agent-based computational economics." *Energ Policy*, 92, 334-347.
- Helbing, D., and Molnar, P. (1995). "Social force model for pedestrian dynamics." *Phys Rev E*, 51(5), 4282.
- Huai, T. S. a. Q. (2000). "Nomad: Mobile Agent System for an Internet-Based Auction House." *Ieee Internet Comput*, 4, 80-86.
- Huang, H. F., and Ma, H. W. (2016). "An agent-based model for an air emissions cap and trade program: A case study in Taiwan." *J Environ Manage*, 183, 613-621.
- Iwamura, T., Lambin, E. F., Silvius, K. M., Luzar, J. B., and Fragoso, J. M. V. (2014). "Agent-based modeling of hunting and subsistence agriculture on indigenous lands: Understanding interactions between social and ecological systems." *Environ Modell Softw*, 58, 109-127.
- Jo, H., Lee, H., Suh, Y., Kim, J., and Park, Y. (2015). "A dynamic feasibility analysis of public investment projects: An integrated approach using system dynamics and agent-based modeling." *Int J Proj Manag*, 33(8), 1863-1876.
- Karagiannidis, A., Kontogianni, S., and Logothetis, D. (2013). "Classification and categorization of treatment methods for ash generated by municipal solid waste incineration: A case for the 2 greater metropolitan regions of greece." *Waste Manage*, 33(2), 363-372.
- Karbovskii, V., Andrey, K., Rybokonenko, D., and Voloshin, D. (2016). "Short-term Multiagent Simulation-based Prediction in Mass Gatherings Decision Support." *Procedia Computer Science*, 80, 2119-2127.
- Korucu, M. K. (2011). "Discussion of "Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beysehir catchment area (Konya, Turkey)", *Waste Management*, 30, 11, 2010, 2037-2046." *Waste Manage*, 31(6), 1250-1251.

- Marzouk, M., and Ali, H. (2013). "Modeling safety considerations and space limitations in piling operations using agent based simulation." *Expert Syst Appl*, 40(12), 4848-4857.
- Mittal, A., and Jhamb, D. (2016). "Determinants of Shopping Mall Attractiveness: The Indian Context." *Procedia Economics and Finance*, 37(Supplement C), 386-390.
- Pourpeighambar, B., Dehghan, M., and Sabaei, M. (2017). "Multi-agent learning based routing for delay minimization in Cognitive Radio Networks." *J Netw Comput Appl*, 84, 82-92.
- Shehwaro, H., Zankoul, E., and Khoury, H. (2016). *An Agent-Based Approach for Modeling the Effect of Learning Curve on Labor Productivity*.
- Shqair, M., Altarazi, S., and Al-Shihabi, S. (2014). "A statistical study employing agent-based modeling to estimate the effects of different warehouse parameters on the distance traveled in warehouses." *Simul Model Pract Th*, 49, 122-135.
- Tian, Q., Holland, J. H., and Brown, D. G. (2016). "Social and economic impacts of subsidy policies on rural development in the Poyang Lake Region, China: Insights from an agent-based model." *Agr Syst*, 148, 12-27.
- Venkatramanan, S., Lewis, B., Chen, J., Higdon, D., Vullikanti, A., and Marathe, M. (2017). "Using data-driven agent-based models for forecasting emerging infectious diseases." *Epidemics*.
- Walther, K. K. G., Axmann, J., and Spengler, T. (2009). "Integrating agent-based simulation and system dynamics to support product strategy decisions in the automotive industry." *Winter Simulation Conference, Winter Simulation Conference, Austin, Texas*, 1433-1443.
- Wolfram, S. (1983). "Statistical mechanics of cellular automata." *Reviews of modern physics*, 55(3), 601.
- Wooldridge, M., and Jennings, N. R. (1995). "Agent theories, architectures, and languages: a survey." *Proceedings of the workshop on agent theories, architectures, and languages on Intelligent agents*, Springer-Verlag New York, Inc., Amsterdam, The Netherlands, 1-39.
- Zhang, T., Siebers, P. O., and Aickelin, U. (2011). "Modelling electricity consumption in office buildings: An agent based approach." *Energ Buildings*, 43(10), 2882-2892.
- Zou, M. Q., Li, M., Lin, X., Xiong, C. F., Mao, C., Wan, C., Zhang, K., and Yu, J. Y. (2016). "An agent-based choice model for travel mode and departure time and its case study in Beijing." *Transport Res C-Emer*, 64, 133-147.
- 何庭武(2015)，發展本體論與多代理人模式於高速鐵路緊急調度之研究，碩士論文，國立中央大學土木工程學系。
- 林羿均(2016)，應用經驗參數 BIM 模型於捷運場站空間規劃與服務品質評估，碩士論文，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所。

- 柯維中(2002)，針對可移動資料源提供位置關聯式擷取之行動代理人與動態資料管理策略，碩士論文，國立東華大學資訊工程學系。
- 陳哲寬(2002)，都市家戶垃圾清運頻率之研究－以高雄市為例，碩士論文，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程所。
- 曾佳媛(2016)，垃圾清運路線規劃之探討－以羅東鎮公所為例，碩士論文，醒吾科技大學資訊科技應用系。
- 霍蘭(2000)，隱秩序: 適應性造就複雜性，上海科技教育出版社。
- 謝心怡、潘麒帆、蘇明道、林美君(2014)，需求導向之灌溉用水量動態模擬系統評估，農業工程學報，60 卷，82-91 頁。
- 謝立得(2010)，固體廢棄物清運及處理的數學分析，碩士論文，義守大學土木與生態工程學系碩士班。

