

國立交通大學  
資訊科學與工程研究所

碩士論文



以小世界社會網路為基礎的病媒性疾病模型：  
登革熱傳播之模擬

A Small-World Vector-borne Epidemic Simulations  
on Dengue Fever

研究生：卞宗琪

指導教授：孫春在 教授

中華民國八十六年六月

以小世界社會網路為基礎的病媒性疾病模型：  
登革熱傳播之模擬

A Small-World Vector-borne Epidemic Simulations on Dengue Fever

研究 生：卞宗琪

Student : Tsung Chi Pien

指 導 教 授：孫 春 在

Advisor : Dr. Chuen Tsai Sun

國 立 交 通 大 學

資 訊 科 學 與 工 程 研 究 所



Submitted to Institute of Computer Science and Engineering

College of Computer Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Computer Science

June 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中 華 民 國 九 十 五 年 六 月

# 以小世界社會網路為基礎的病媒性疾病模型： 登革熱傳播之模擬

學生：卞宗琪

指導教授：孫春在 教授

國立交通大學

資訊科學研究所

## 摘要

病媒性傳染疾病的傳播動態牽涉到病媒因素及人群結構的個別因素與其交互影響的結果。此篇論文結合多代理人系統、人際接觸社會網絡、社會分身點概念、倉室模型（compartmental model）等建模方法，發展一套適合用來模擬病媒性傳染疾病的傳播動態與探討相關的公共衛生政策的成效的流行病電腦模擬模型。在模擬模型中，我們以代理人為基礎，利用社會分身點概念，來表現人類個體在現代都會生活中日常定點活動、長距離移動、高群聚度、低分隔度、區域群聚性等重要社會網絡拓樸特質。在病媒層面，我們則以區塊化模型來模擬病媒族群散佈在都會各區域的數量與族群間的數量轉移動態。在建構一個適合用來模擬病媒性傳染疾病的傳播動態的電腦模擬平台之後，此篇論文以登革熱為具體模擬實例，藉由模擬 2002 年高雄市登革熱的流行過程與結果來驗證本模擬模型。並利用此模擬平台，探討登革熱在大都會區的傳播動態，及各項公共衛生政策對於登革熱的傳播動態的影響。

關鍵字：小世界網路，登革熱模型，具分身點概念細胞自動機，疾病模擬

# **A Small-World Vector-borne Epidemic Simulations on Dengue Fever**

Student : Tusng-Chi Pien

Advisor : Dr. Chuen-Tsai Sun

Institute of Computer and Information Science

National Chiao-Tung University

## **ABSTRACT**

Vector-borne disease transmissions are influenced by vector population and human population. In order to simulate the transmissions of vector-borne diseases and discuss the related health policies effects on vector-borne diseases, we combine the multi-agent-based system, social network, mirror identity concept, and compartmental model to develop an epidemic simulation model. In the identity level, we use the multi-agent-based system and the mirror identity concept to describe identities with social network features such as daily visits, long-distance movement, high degree of clustering, low degree of separation, and local clustering. In the vector level, we use compartment model concept to describe the vector populations and the transmission between populations. After building a suitable vector-borne epidemic simulation model, we simulate the epidemics of dengue in Kaohsiung in 2002. According the outcome of the simulation, we can prove our model and discuss the transmissions in urban areas and the effects of different health policies on dengue.

**Keywords :** Small-world network, Dengue fever model, Cellular automata with mirror identity , Epidemic simulation

# 目錄

目錄 .....	iii
圖目錄 .....	v
表目錄 .....	vi
表目錄 .....	vi
1. 緒論 .....	1
1.1 研究動機 .....	1
1.2 研究目標 .....	1
1.3 論文架構 .....	3
2. 文獻探討 .....	6
2.1 登革熱概述 .....	6
2.1.1 登革熱流行病史 .....	6
2.1.2 登革熱病毒特性 .....	9
2.1.3 傳染窩 .....	9
2.1.4 登革熱流行情況 .....	10
2.2 傳染病模擬模型之發展 .....	11
2.2.1 傳統統計學傳染病模型 .....	11
2.2.2 電腦建模(Computational modeling and simulation)與流行病的模擬 .....	12
2.2.2.1 病媒移動 .....	14
2.2.2.2 人與病媒之間的比例 .....	15
2.3 社會網路 .....	17
2.3.1 小世界網路 .....	18
2.3.2 具分身點概念的細胞自動機(Cellular Automata with Mirror Identity Model CAMIM) .....	19
2.3.2.1 細胞自動機(Cellular automata) .....	19
2.3.2.2 社會分身點概念 .....	20
3. 模型架構 .....	22
3.1 地理層 .....	22
3.2 個體層 .....	24
3.2.1 個體架構 .....	24
3.2.2 個體染病進程 .....	26
3.3 病媒層 .....	30
3.4 個體與病媒間的連結 .....	33
3.5 參數設定 .....	34
3.5.1 地理層參數 .....	34
3.5.2 傳染病參數 .....	37
3.5.3 病媒參數 .....	38
3.5.4 模型初始化 .....	38

3.6 模擬流程.....	40
4. 模型參數設定 .....	42
4.1 參數分析.....	42
4.1.1 病媒與個體比例的校正 .....	42
4.1.2 感染率的校正.....	47
5. 實驗.....	51
5.1 初始狀態的設定.....	51
5.2 公衛政策.....	54
5.2.1 無公衛政策.....	54
5.2.2 噴藥 .....	55
5.2.3 清除孳生源.....	57
5.2.4 民眾宣導.....	59
5.2.5 與真實情況比較.....	60
6. 結論 .....	61
7. 參考 .....	63
附錄 .....	66
附錄 1 高雄市各里人口數 .....	66
附錄 2 巴西地區的 $R_0$ 值 .....	68
附錄 3 高雄市人口統計表 .....	70
附錄 4 高雄市人口動態分析 .....	70



## 圖目錄

圖 1 登革熱世界分布圖(2002) .....	7
圖 2 台灣埃及斑蚊的分布 .....	8
圖 3 SIR MODEL 狀態圖 .....	11
圖 4 電腦建模與模擬的步驟 .....	12
圖 5 登革熱的循環傳染 .....	14
圖 6 釋放帶有重金屬之白線斑蚊並在四天後各地之誘卵器採到含有重金屬的蟲卵分布圖(C. LIEW,2004).....	15
圖 7 TRANSMISSION THRESHOLDS AT 28°C FOR EACH TYPE OF INTRODUCTION BY SEROPREVALENCE OF ANTIBODY(DANA A. FOCKS , 2000).....	16
圖 8 簡單社會網路示意圖 .....	17
圖 9 CAMIM示意圖(HUANG ,2004) .....	19
圖 10 模型架構圖 .....	23
圖 11 個體表示圖 .....	24
圖 12 SEIR模型 .....	26
圖 13 個體染病進程 .....	27
圖 14 病媒族群狀態 .....	31
圖 15 病媒性疾病傳播示意圖 .....	33
圖 16 高雄市各里人口分佈圖 .....	36
圖 17 布氏指數分布圖 .....	37
圖 18 初始化流程圖 .....	39
圖 19 模擬之流程圖 .....	41
圖 20 循環傳染與的傳播的關係 .....	42
圖 21 病媒對個體的比例 .....	45
圖 22 病媒與個體比例對於疾病曲線的影響—每週新增感染人數圖 .....	46
圖 23 病媒與個體比例對於疾病曲線的影響—每週新增累計人數圖 .....	46
圖 24 感染率校正流程圖 .....	48
圖 25 個體感染率和侵襲率的關係圖 .....	49
圖 26 台灣歷年登革熱流行趨勢圖(疾管局公佈). ....	51
圖 27 2002 年高雄市每周病例統計圖 .....	53
圖 28 2002 年高雄市累計病例統計圖 .....	53
圖 29 2002 年真實案例與無公衛政策介入之比較 .....	55
圖 30 使用百滅寧與疫情走向 .....	56
圖 31 使用麥多賽與疫情走向 .....	56
圖 33 2002 年真實案例執行清除孳生源公衛政策之比較 .....	58
圖 34 民眾主動通報意願數與疫情曲線 .....	59
圖 35 2002 年真實案例執行噴藥及清除孳生源公衛政策之比較 .....	60

## 表目錄

表 1 登革熱本土確定病例醫院通報時效 .....	28
表 2 個體屬性表.....	29
表 3 病媒屬性表.....	32
表 4 白線斑蚊之擴散距離 .....	33
表 5 個體參數表.....	38
表 6 病媒參數表.....	38
表 7 病媒個體之間的比例與侵襲率的關係表.....	46
表 8 感染率與侵襲率的關係表.....	49



# 1. 緒論

## 1.1 研究動機

登革熱\登革出血熱主要發生在北緯 40 度到南緯 40 度之間的熱帶、亞熱帶地區。根據世界衛生組織(WHO)[1]指出，有超過 100 個國家曾遭受登革熱的侵襲，約有 25 億以上的人生活在登革熱的威脅下，每年有超過五千萬人感染登革熱(Gubler and Kuno,1997)，台灣也在遭受登革熱侵襲的國家內，加上鄰近的東南亞國家每年均有發生登革熱的流行，所以台灣對於登革熱疾病的威脅並不能夠掉以輕心。在台灣的案例中罹病者多為成人，且是國家社會中之勞動人口，對社會的影響不容小覷，不但影響人民健康也消耗國家資源，若無法有效抑止流行病蔓延，將使社會經濟受重大影響，除了社會成本的付出以外，更引起民眾的恐慌，嚴重則有死亡個案的發生，而造成許多家庭的不幸與破碎也影響台灣的國際形象，因此有效防杜登革熱的發生及流行，是政府及全體民眾共同努力的目標。



本論文希望以資訊科學的角度，透過社會模擬與疾病模擬的方法，結合多代理人系統、人際接觸社會網絡、社會分身點概念、倉室模型（compartmental model）等多種建模方法，發展一套適合用來模擬病媒性傳染疾病的傳播動態與探討相關的公共衛生政策成效的流行病電腦模擬模型來預測疾病流行的趨勢並比較各種公衛政策對疾病趨勢的影響，以提供公衛政策執行者作為參考。

## 1.2 研究目標

本論文的目標為提出一套具多重代理人系統及小世界社會網路性質的病媒性疾病模型來模擬病媒性傳染病的傳播動態及分析政府的公衛政策。近二十年來，國際上的傳染病動力學的研究發展迅速，大量的數學模型被用於分析各種的傳染病問題，再傳染病動力學中，長期以來主要使用的數學模型是由 Kermack 與 McKendrick 創立的 SIR 模型[2]，至今還是大部分疾病模型的基本雛型，但此種模型中沒有個體差異的概

念，對於個體本身具有的社會行為以及現在政府對於不同時間實施的公衛政策無法具體的展現。自 Hastie(1988)及 Taber(1994)提出電腦建模的方法(computational modeling and simulation)後，電腦建模的方法受到大家的重視，因為電腦建模和傳統的數學模型一樣可以模擬出大環境的趨勢，除此之外電腦建模的方法較數學模型更能夠處理真實世界中常常發生的複雜且隨機的事件。相較之下，使用電腦建模的方法更能在短時間內增加許多隨機事件，例如在模型中增加許多不同的事件，然後去模擬不同狀況下的結果看看會有什麼差異。此外，許多傳統數學模型上難以表現的性質概念可以在電腦模擬時可利用程式技巧以不同的資料結構來表示。而且大部分被轉換成數學公式的概念可以輕易的轉換在電腦模擬模型上，反之卻不是相同的簡單。

傳染病學的模擬中常使用這傳統數學模型及電腦模擬模型等方法來模擬傳染病爆發的各種狀況。由於近年來社會的演變交通的發達，縮短了人與人之間的距離，且政府對傳染病的重視，使得許多複雜且隨機的事件不斷發生，例如某種新的疾病由旅客從境外帶回爆發了流行，使得政府立刻下達居家隔離等的公衛政策，對於這一連串的事件，使疾病模擬的研究上更樂於使用電腦模擬方法來模擬出不同事件的結果。

目前已有不少疾病利用電腦建模來模擬流行趨勢，例如：SARS[3]、HIV[4]等，這些疾病的特色大多著墨於人與人之間因為近距離接觸而傳染，強調人與人的接觸頻率會影響疾病的傳播；本論文則模擬另一種傳染模式的疾病—病媒性疾病，其傳播方式為人與病媒之間的循環傳染，病毒無法經由人直接傳染給人，也無法直接在病媒與病媒間傳染，須靠人與病媒間的接觸使疾病得以傳播。而病媒性傳染疾病的傳播動態牽涉到病媒因素及人群結構的個別因素與其交互影響的結果，因此本研究利用小世界網路及代理人系統來建立模型，來表現人類的社會性及個體差異，除了需要考慮人類個體之外，病媒族群對病媒性疾病而言也是重要的一環，不同的病媒族群其傳播的方式也會有所不同，例如：登革熱藉由埃及斑蚊與白線斑蚊、日本腦炎透過三斑家蚊來傳播病毒，鼠疫是透過老鼠來傳播病毒。本論文以登革熱為例，探討以埃及斑蚊、白線斑蚊為病媒的疾病傳播動態。

既然登革熱此種病媒性疾病的傳播方式為人與病媒之間的循環傳染，則建立登革熱傳染模型需考慮到的因素有：第一，人類在都會區內移動的特性；第二，病媒的擴散。此兩者都會影響到登革熱疫情的流行及擴散，人類在都會區內移動的特性可將疾病傳到較遠的地區，在論文中利用社會分身點的概念去描述現代人在日常生活中的移動現象，加上病媒蚊的近距離擴散可將疾病傳到鄰近的地區，利用這兩種性質來充分表現出登革熱傳染病模型兼具個體與病媒兩種不同族群的特色。

在建立登革熱傳染模型之後，本論文也加入多種政府執行的公衛政策的模擬，分為三個方向：病媒，環境與民眾去討論。病媒：利用緊急噴藥的方法來清除病媒，相關單位會在 24 小時內就通報病例可能的感染地點及發病前停留地點實施噴藥撲殺病媒蚊，在模型中以個體的分身點來表示這些通報病例可能的感染地點及發病前停留地點，針對這些地區來做減少病媒的動作。環境：改善環境的作法就是清除孳生源，將容易孳生病媒積水容器清除而減少病媒幼蟲，在模擬的程式中，我們以相關單位下令清除的時間點來做減少病媒的動作。民眾：宣導民眾若社區內有登革熱疫情發生時，當地民眾有類似症狀，如發燒、頭痛、出疹、肌肉酸痛或關節痛等症狀，立刻就醫或主動至轄區衛生所，要求採血檢驗，在模擬的程式中，我們調查染病者分身點所在地，若有染病或潛伏期卻沒有看醫生的個體，則主動讓此個體執行看醫生的動作。

本論文將利用提出的登革熱傳染模型來模擬 2002 年高雄市登革熱流行的情形且與真實情況比較，並探討各項公衛政策對於登革熱之影響。

### 1.3 論文架構

本論文因探討病媒性疾病的模擬所以從蒐集資料跟建立模型兩大方向著手。由我們蒐集到大筆的資料加以分析，可分為兩種用途：一、模型初始化：利用這些資料初始化我們建立的模型，再去做多次的實驗；二、與實驗結果比較：利用這些資料與實驗結果比較，進而作為驗證，所以資料的搜集在疾病模擬的部份也是不可缺少的步

驟，在蒐集到足夠的資料後，我們則可以開始模擬。

另一個方向為建立模型，模型根據要模擬的議題來建立。在登革熱傳染模型中加入病媒因素，須考慮到的層面有：個體的社會性及差異、病媒的特性及疾病本身的特性。第一，個體的社會性方面，以現代都會人來說，會具有每天生活中固定出現在多個定點的特色，例如；住家、工作場所及餐廳等地。一個帶原者可經由移動將病毒帶往不同的區域。第二，個體差異上，主要為個體具有不同的就醫時間及潛伏期，也會對疾病的傳染造成影響。第三，病媒的特性上，因病媒的數量龐大且社會性與個體差異並不明顯，所以使用倉室模型(Compartment Model)中的 SEIR[2] 模型概念，將病媒族群分為四部份：未感染、潛伏期、已感染、死亡。而病媒族群也會因為生存繁衍後代的因素而發向鄰近的地區做近距離的移動，使疾病向鄰近的地區傳開。最後，在疾病本身的特性上，傳染病學中的倉室模型(Compartment Model)提供了許多概念，例如：SIS[2]，SIR[2]，SEIR[2]模型，去描述某地區的人群的染病比例，本研究將此模型的概念運用在個體上，使個體的染病進程分為 SEIR(Susceptible、Exposed、Infected、Removed)四個階段。



在登革熱傳染模型中，我們可以將整個模型視為一個世界，再這個世界中存在著許多人類個體與病媒族群，我們以程式的技巧來表示這些人類個體與病媒族群，當設定好初始狀態後，這個世界如同真實世界一般的開始運作了起來，人類個體及病媒族群可以在這模型中表現出移動、接觸等現象，而這些現象對世界造成的影響就成為模擬的結果。將模型分為四層：地理層、個體層、病媒層及個體的染病進程，個體層與病媒層間具有連結。模型的設計中地理層為底層，利用二維棋盤格表示真實世界中的地理區域，每一格代表了一群個體之集合及一病媒族群，且格與格相鄰具有空間概念。個體層代表人類個體採用代理人系統及社會分身點概念使人類網路呈現小世界特性，且個體的染病進程使用 SEIR(Susceptible、Exposed、Infected、Removed)四個階段來表示。病媒層代表病媒族群則採用倉室模型(Compartment Model)來代表其族群大小及染病數量，個體層與病媒層間具有連結來表示病媒蚊與人類個體之間的叮咬動

作。在建立好模型後，我們分析參數及設定初始狀態，並加入公衛政策來模擬 2002 年高雄市登革熱的流行情況。

本論文每章順序如下：下一章主要進行相關的文獻探討，第三章則介紹整體模型的架構，第四章對於一些重要的參數來做分析，第五章進行實驗的部份，我們將模擬 2002 年高雄市登革熱流行的情形且與真實情況比較，並探討各項公衛政策對於登革熱之影響，在最後一章為本論文之結論。



## 2. 文獻探討

在這一章我們將描述疾病模擬的相關研究，針對以下幾個議題來做討論：登革熱概述、傳染病模擬模型之發展、社會網路。

### 2.1 登革熱概述

在模擬流行性疾病前，必須先了解此疾病的流行病史、病毒的特性、傳染窩、目前的流行情況等，以下我們先對登革熱做概括性的介紹。登革熱又叫典型登革熱（classic dengue），或原發性登革熱（primary dengue），係由蚊子（埃及斑蚊 Aedes aegypti 或白線斑蚊 Aedes albopictus）傳播的急性病毒性熱疾，以高熱、頭部、肌肉、骨頭、關節的奇痛，後眼窩痛以及發疹為主要症狀。另有一種自 1953 年開始，發生在菲律賓、泰國、馬來西亞、新加坡、印尼、印度、斯里蘭卡、緬甸、越南等各地的奇異登革熱，主要侵襲 3~10 歲的兒童，以嚴重而可能致命的出血徵候乃至休克為特徵，成為嚴重的公共衛生問題。因為其感染對象、症狀以及預後與原來的登革熱顯然不同，所以稱登革出血熱（dengue hemorrhagic fever，DHF），或登革休克症候群（dengue shock syndrome，DSS），也有續發性登革熱（secondary dengue）之稱。因登革出血熱的機轉複雜，本論文討論範圍以典型登革熱為主。

#### 2.1.1 登革熱流行病史

登革熱在醫學史上記載已有 200 多年，二十世紀初期 Graham(1903)證明蚊子是傳播登革熱疾病的病媒，Bancroft(1906)發現埃及斑蚊為傳播登革熱的病媒蚊。登革熱在台灣早期又名斷骨熱、天狗熱，中醫稱為斑痧，自 1779 年中始有描述登革熱病例，到 1869 年方命名為登革熱(Dengue fever)。1906 年發現埃及斑蚊為媒介昆蟲，1907 年證實病原體是病毒，1911 至 1931 年間陸續證實白線斑蚊亦是媒介。

全球登革熱發生的地區，主要在熱帶及亞熱帶有埃及斑蚊及白線斑蚊分布的國家，特別是埃及斑蚊較多之地區，包括亞洲、中南美洲、非洲及澳洲北部，以及部分

太平洋地區島嶼。但自 1980 年代後，似有向全球各地蔓延的趨勢，並在部分地區如斯里蘭卡、印度、孟加拉、緬甸、泰國、寮國、高棉、越南、馬來西亞、新加坡、印尼、新幾內亞、菲律賓、密克羅西亞、大溪地、加勒比海群島，以及若干中南美洲國家(圖 1)已生根成為地方性傳染病。

## World Distribution of Dengue - 2000

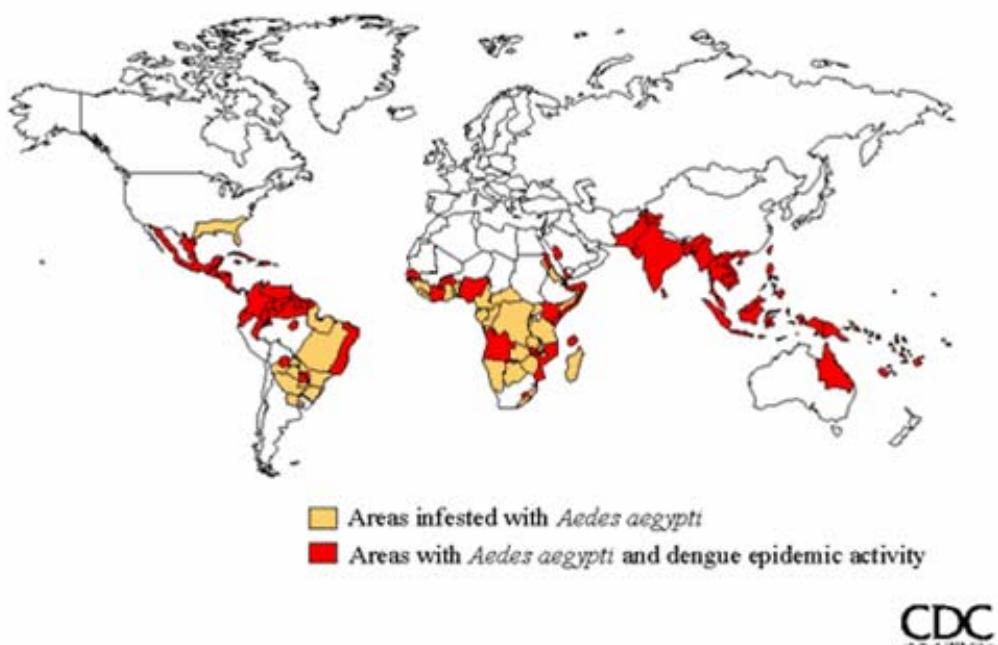


圖 1 登革熱世界分布圖(2002)

登革熱早年曾在 1915、1931、1942 年發生三次的全島性登革熱流行；1942 年的流行約有六分之五人口（500 萬）感染，之後沉寂 40 年，光復後於 1950 年代瀘疾防治期，DDT 的大量使用，破壞了病媒蚊之棲息環境[5]，阻斷登革病毒之傳播，又因當時島內與國際交通往來不頻繁，境外之登革病毒少機會入侵國內，故台灣持續了近 40 年未有登革熱疫情發生。直到 1981 年小琉球漁民由菲律賓再將登革病毒帶入，造成 80% 小琉球居民被感染[6]，造成年屏東縣琉球鄉發生第二型登革熱流行，而台灣本島於 1987、1988 年在大高雄地區爆發登革熱流行後，除台北縣中和市(1995 年，179 例)、台中市(1995 年，8 例)、台北市(1996 年，10 例)三次地方性流行發生於中北部外，其他各次地方性流行均發生於高雄縣市、臺南市及屏東縣居多，且這些地區均已出現共三至四型之登革熱的流行，並曾發生登革出血熱病例。而 2002 年較大規模的登革熱疫情與 1988 年相似，乃延續前一年疫情之跨年流行，若無法有效阻斷，登革熱可能因此生根，變成地方性疾病，每年都會有自發的本土病例發生，登革出血熱的病人及因而死亡之病例亦會持續增加，流行區多為台灣南部高雄、屏東及臺南，主要原因為登革熱的主要病媒埃及斑蚊分布於嘉義布袋以南各縣市；而白線斑蚊則分布於全島平地及 1500 公尺以下之山區。

### 79-85 年台灣埃及斑蚊的分布



圖 2 台灣埃及斑蚊的分布

## 2.1.2 登革熱病毒特性

登革熱為傳染病防治法的第二類傳染病，其傳染媒介是埃及斑蚊與白線斑蚊，埃及斑蚊又因棲息、吸血習性、傳播能力被列為主要病媒，主要分布在嘉義以南；而白線斑蚊則分布在台灣全島海拔 1500 公尺以下的山區。傳染方式為”人類—斑蚊—人類”。登革熱的致病原（Infectious agent）是由黃病毒科（Flaviviridae）黃病毒屬（Flavivirus）中的登革病毒亞屬所引起，在登革病毒亞屬裡共有四種登革病毒，它們依抗原性的不同分別稱為第一、二、三、四型(Den-1,Den-2,Den-3,Den-4)，均具感染致病力，當感染其中一型後會產生血清交互反應，再經三至六星期，則對全部四型病毒都有短暫性免疫力。臨牀上登革熱感染及不同型重複感染可以引起宿主不同程度的反應，由輕微或不明顯的症狀到發燒出疹的典型登革熱，及有休克症狀之登革熱休克症候群。病毒必須藉由病媒蚊叮咬才能從人傳給人。人被帶有登革病毒的病媒蚊叮吮而受到感染，發病前 1 天至發病後 5 天間，病人血液中有病毒活動，稱之為病毒血症期（viremia）。病媒蚊經叮咬病毒血症期的病患 8~12 天後，則此病媒蚊具有終生傳染病毒的能力，由於病媒蚊的生命週期可長達數月，其可傳播登革熱病毒的能力可長達幾個月。

## 2.1.3 傳染窩

在建立疾病的模擬模型之前，我們必須先確定此疾病的傳染方式及途徑，此稱為傳染窩。登革熱的傳播中人與病媒蚊間的傳播循環為主要傳染途徑，Simmons et al[7]首先證實登革熱病毒可經由猴子傳播給人，根據疾病管制局指出，在馬來西亞西部與西非，另有猴子等靈長類與病媒蚊間的傳播循環報告[8]，亦即是森林傳播循環(forest transmission cycle)。高雄市每年均有登革熱病例發生，其鼓山區之北壽山有不少台灣獼猴棲息，每日約有兩千人在此處活動，也有可能將病毒帶進林區，但根據疾病管制局疫情報導[9]高雄市鼓山區野生台灣獼猴棲息地蚊類感染登革熱病毒之研究中指出，台灣山區主要的蚊類為白線斑蚊，此種蚊類對於登革熱的傳播力並沒有埃及斑蚊好，所幸也並未從採集到的病媒蚊中分離出登革熱病毒。

近年分別在千里達及緬甸的仰光發現埃及斑蚊可在自然狀況下將登革熱病毒經卵傳至下一代，只是陽性率較低（分別為 1/158 及 5/199），但是這種垂直傳播循環在登革病毒的自然生態循環上到底占有多大份量則尚待評估，所以目前台灣地區的傳染限於人與病媒蚊之間的循環傳染。

#### 2.1.4 登革熱流行情況

依據台灣登革熱歷年統計資料顯示，除了 1998 及 2002 年為延續前一年疫情之跨年流行外，幾乎每年疫情均由境外移入病例將登革病毒引進國內後，擴散蔓延所造成，大都起始於國人暑期去登革熱疫區，回國後又被病媒蚊叮咬，進而傳播開來；又因南台灣近年來低溫時間不夠長，無法將病媒蚊趕盡殺絕，而造成次年嚴重疫情，2002 年即為如此。近年來東南亞國家登革熱疫情嚴重，國人與當地往來日益密切，是造成境外移入病例迅速增加的主要原因，其中與外籍配偶及外籍勞工相關者比重最高，另感染原因尚包括旅遊、宗教活動、經商及工作等。由於目前並沒有登革熱的疫苗，所以防治工作都以維護環境的衛生、清除孳生源、噴藥以及控制境外移入病例來防止登革熱的流行。



## 2.2 傳染病模擬模型之發展

社會科學廣泛的被用來討論各種的社會現象，傳染病的趨勢就是由許多個體間互動所累積構成的，可以解釋為整個社會所表現出的現象。社會科學中建立模型的方法也被應用在傳染病的傳播上，以下簡單介紹傳染病的模擬模型。

### 2.2.1 傳統統計學傳染病模型

過去傳染病大都以數學統計中的倉式模型(Compartmental Model)(如圖 3)來模擬其流行狀況，由 1927 年 William Kermack 和 A. G. McKendrick [2] 提出的 SIR 模型為基本架構，所謂的 SIR 模型就是針對某類傳染病將該地區的人群分為三類：S 代表易受感染的(Susceptible)也就是個體容易受到感染，但還未患病之時；I 代表的是有傳染性的(Infectious)，即個體不僅本身受到感染，而且還會傳染給別人；R 表示離去(Removed)，表示個體已痊癒或沒有任何危害的能力，或是已經死亡。SIR 模型之外，還有 SEIR[2]模型等傳染病模型用以代表具有潛伏期的傳染病，除了原本的 S、I、R 三種族群之外，增加了 E(Exposed)族群來表示潛伏期的個體。

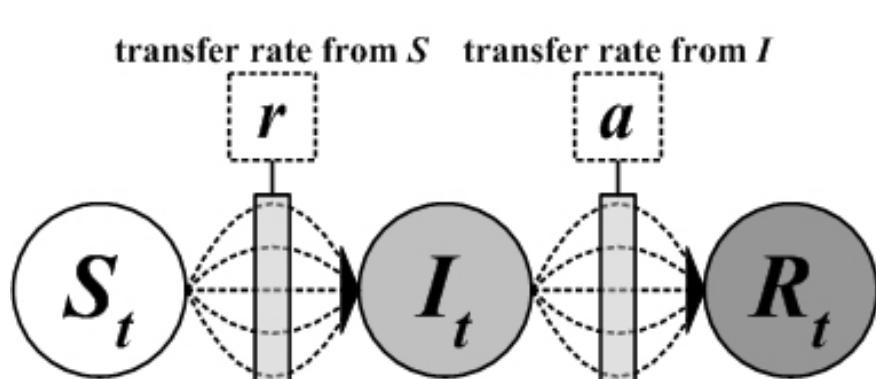


圖 3 SIR model 狀態圖

倉式模型(Compartmental model)將各種不同疾病狀態的個體分群，各群中的個體皆一致，之後在計算每群與整體之間的變化，以了解整個疾病的趨勢。但此種模型假設 SIR 三個階段的族群間互動純然為隨機的，在此模型中並沒有個體的概念，這與人

類之間的互動情形並不類似，因人與人之間的互動並非隨機而是具有高群聚度、低分隔度等性質，若以此數學統計模型描述並不能展現現代人類世界中的社會性。

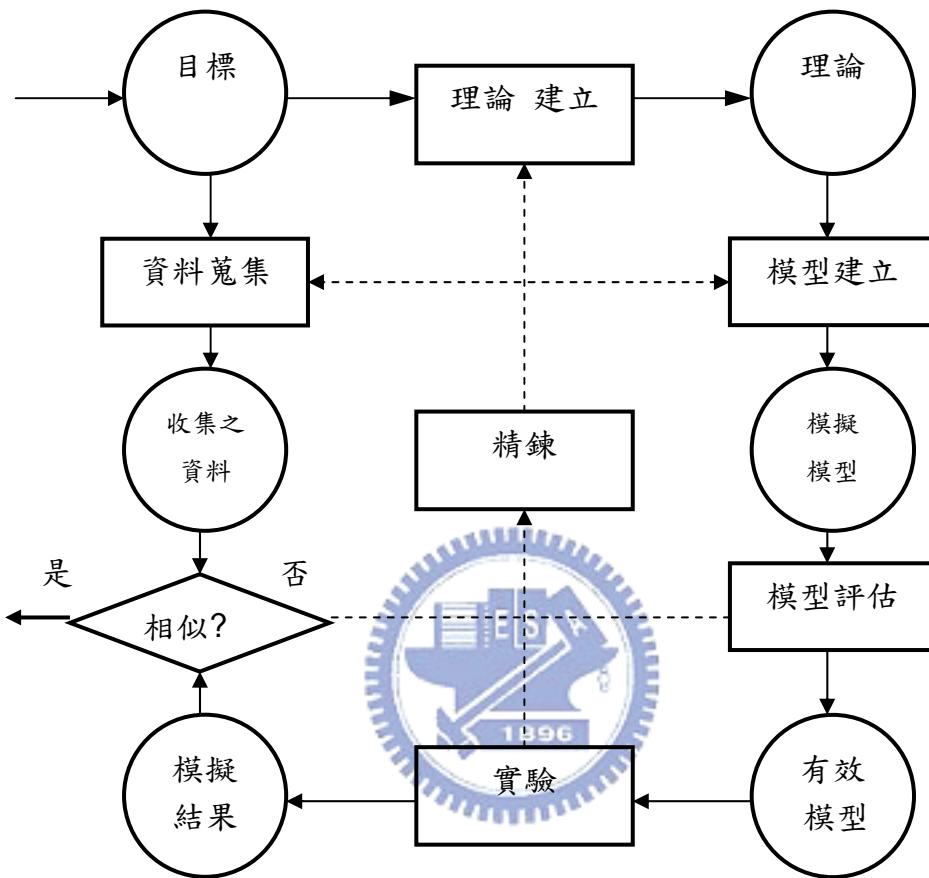


圖 4 電腦建模與模擬的步驟

## 2.2.2 電腦建模(Computational modeling and simulation)與流行病的模擬

自 Hastie(1988)及 Taber(1994)提出電腦建模的方法(computational modeling and simulation)後，電腦建模的方法受到社會科學學者的重視。利用電腦建模來模擬一種社會現象需要從兩個方向考慮，第一：資料的取得；第二：模型的建立。首先，我們需收集相關的資料，並分析這些資料判斷這些資料應屬於模型初始化的資料或是驗證的資料。電腦模型是由下列幾個步驟組成：理論，模型建立，模型評估，模型精確化。

在收集充足的資料與建立好模型後，便可以開始進行模擬且經由不斷的模擬來修正我們的模型，圖 4 表示一個電腦模型與模擬的流程。

電腦模擬的優點在於電腦建模和傳統的數學模型一樣可以模擬出大環境的趨勢，除此之外使用電腦建模的方法更能在短時間內增加許多隨機事件，例如在疾病模型中增加許多不同的公衛政策，然後去模擬不同狀況下的結果看看會有什麼差異，所以電腦建模的方法較數學模型更能夠處理真實世界中時常發生之複雜且隨機的事件。此外，許多傳統數學模型上難以表現的性質概念可以在電腦模擬時可利用程式技巧以不同的資料結構來表示。而且大部分被轉換成數學公式的概念可以輕易的轉換在電腦模擬模型上，反之卻不是相同的簡單，所以利用電腦建模來模擬社會現象在近年來越來越受到重視。

目前已有不少疾病利用電腦建模來模擬流行趨勢，例如：SARS[3]、HIV[4]等，這些疾病的特色在於人與人之間因為近距離接觸而傳染，強調人與人的接觸頻率會影響疾病的傳播；本論文則模擬另一種傳染模式的疾病—病媒性疾病，其傳播方式為人與病媒之間的循環傳染(人—病媒—人)見圖 5，病毒無法經由人直接傳染給人，也無法直接在病媒與病媒間傳染，須靠人與病媒間的接觸使疾病得以傳播。而病媒性傳染疾病的傳播動態牽涉到病媒因素及人群結構交互影響的結果，所以在模型中我們須考慮人類個體與病媒蚊的比例問題，依照 Anderson 與 May[10]提出之疾病的門檻理論，當病媒蚊的比例超過一個門檻值後，疾病才有可能爆發。此外，病媒族群對病媒性疾病而言也是重要的一環，不同的病媒族群其傳播的方式也會有所不同，本論文討論的登革熱是以埃及斑蚊、白線斑蚊的移動方式作為傳播動態。對於病媒型疾病的傳播方式我們主要考慮兩點：個體的移動及病媒的移動。雖然在病媒性疾病的傳播網中個體與個體之間並不會因為接觸而傳染，但個體移動的特性對人類而言，帶原者的日常移動會將病毒帶至各地，使疾病在整個社會中傳播。病媒移動的特性雖然不像個體移動如此頻繁，長度也沒有個體移動遠，但也可做近距離的移動將病毒傳播到鄰近地區，使疾病擴散，以下討論病媒移動的情況，並在下一節討論個體移動的狀況與分身點的

Urban/Endemic/Epidemic

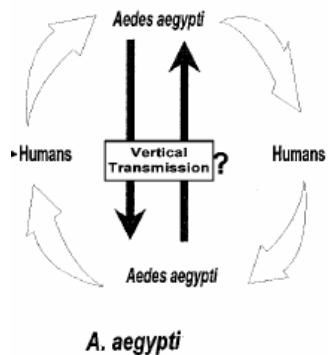


圖 5 登革熱的循環傳染

### 2.2.2.1 病媒移動

不同的病媒移動的方式不盡相同，以本論文討論的登革熱病媒而言，病媒的移動主要是以近距離的擴散為主，病媒雖然社會性並不強烈，但會因為生存或繁衍等原因而進行移動。根據昆蟲系教授表示，流行區有地緣性，2001 年先在高雄市前鎮區流行，繼而在緊鄰的高雄縣鳳山流行，再向外擴散。以埃及斑蚊為例，大部分病媒蚊的飛行距離為 50 到 100 公尺內，根據 C. LIEW[11]的研究，圖 6 為在新加坡某地釋放帶有重金屬(Rb)之斑蚊，在四天後以此地為圓心不同半徑之地點採到含有重金屬的蟲卵分布圖，可顯示出斑蚊會因尋找積水容器產卵而飛行，其活動範圍並不侷限於單一地區，由此可知病媒具有移動性，其活動範圍的擴散可將疾病向鄰近的四周傳開。在台灣也有實驗顯示，研究員黃基森[12]的田野調查實驗中顯示，大部分的病媒蚊飛行範圍在半徑 50 公尺以內，但還是有少部份的病媒蚊會飛往更遠的地區，所以在模擬病媒性的疾病中，病媒的移動也是必須考慮到的因素。

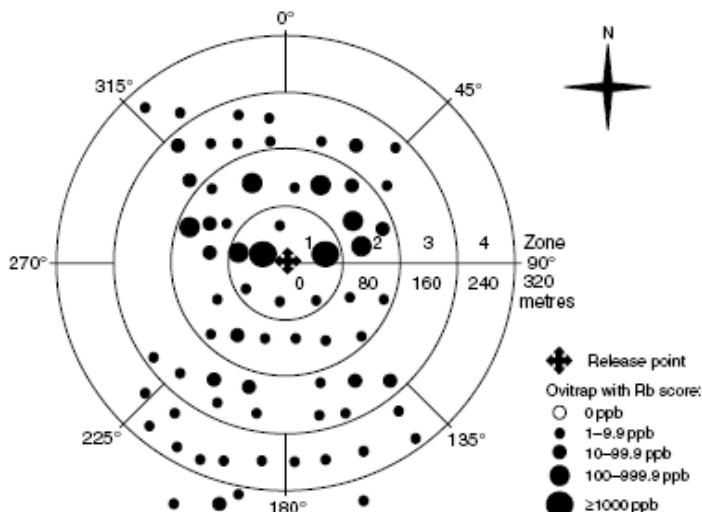


圖 6 釋放帶有重金屬之白線斑蚊並在四天後各地之誘卵器採到含有重金屬的蟲卵分佈圖(C. LIEW,2004)

### 2.2.2.2 人與病媒之間的比例

在 1991 年 Anderson 與 May 將疾病的門檻理論統整為二[10]，DANA A. FOCKS[13]將此理論運用在登革熱上，其理論為：第一、大數行動原則(the mass action principle)—傳播結果會跟未感染的個體與受感染之病媒的接觸率有關，未感染之個體與受感染之病媒的接觸率愈高則愈容易被傳染到疾病，第二、門檻理論(threshold theory)—一個地區中有少數外來感染個體並不會造成此地區的流行，除非此地的病媒密度到達某一個門檻。DANA A. FOCKS[13]也提出一人可對應多少蟲蛹的比例(pupae per person)去推知登革熱的傳播門檻，圖 7 為不同初始感染人數及不同血清盛行率(總人口中具有抗體的人之比例)在 28°C 之傳播門檻，我們將在參數分析的部份討論病媒與個體之比例對與疾病傳播門檻的關係。

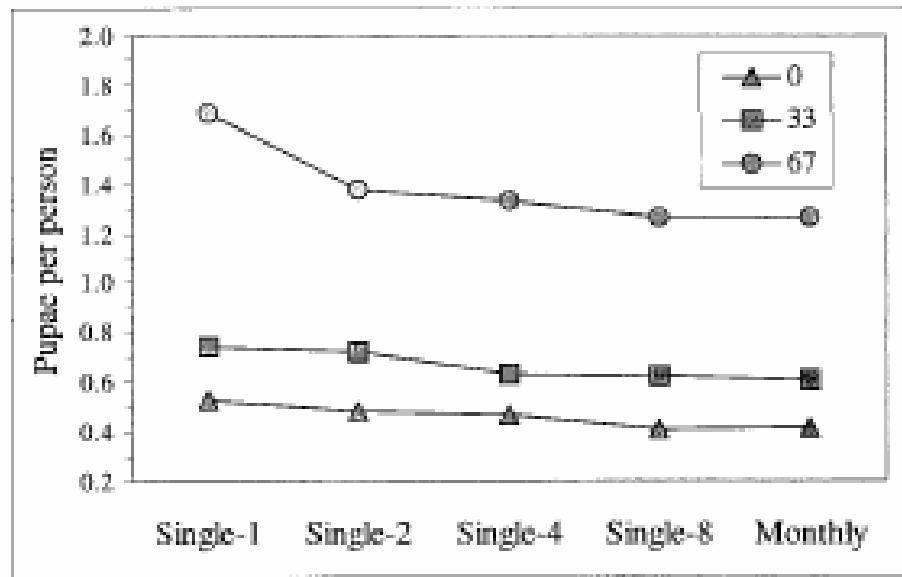


圖 7 Transmission thresholds at 28°C for each type of introduction by seroprevalence of antibody(DANA A. FOCKS , 2000)



## 2.3 社會網路

為了要充分的利用電腦建模去模擬各種社會現象如流行病或其他社會議題，必須考慮到個體與個體之間的互動，社會科學家利用簡單的社會網路用來描述最基本的人際關係，個體與個體之間的聯結就代表個體與個體之間存在某種關係。在網路模型中每個個體用有固定數量的連結，連結到其他個體，有兩個方法可用來建立簡單社會網路，第一種如圖 8(a)使用低維度的晶格來表示社會網路，每個節點都連向他附近的其他節點，且連結數固定，稱為有序網路模型(regular network model)。第二種如圖 8(b)為隨機網路(random network model)，強調模型中個體與個體之間的隨機連結機率，在早期以網路作為流行病模擬或是其他社會議題探討的時候所使用的多半是強調其隨機性的隨機網路模型。有序網路強調的是對區域性的描述，如個體與周圍個體之間的關係，但是真實社會並非如同有序網路一般有整齊一致的脈絡，隨機網路強調的個體與個體之間全然隨機的連結也無法表現出真實社會中具有區域性高群聚度的現象，所以要如何才能表現出真實社會中社會性的原貌成為網路模型來研究流行病或其他社會議題時的重要課題。而另一種網路如圖 8(c)，稱為小世界網路(small-world network model)則可以表現低分隔度極高群聚度等社會現象。

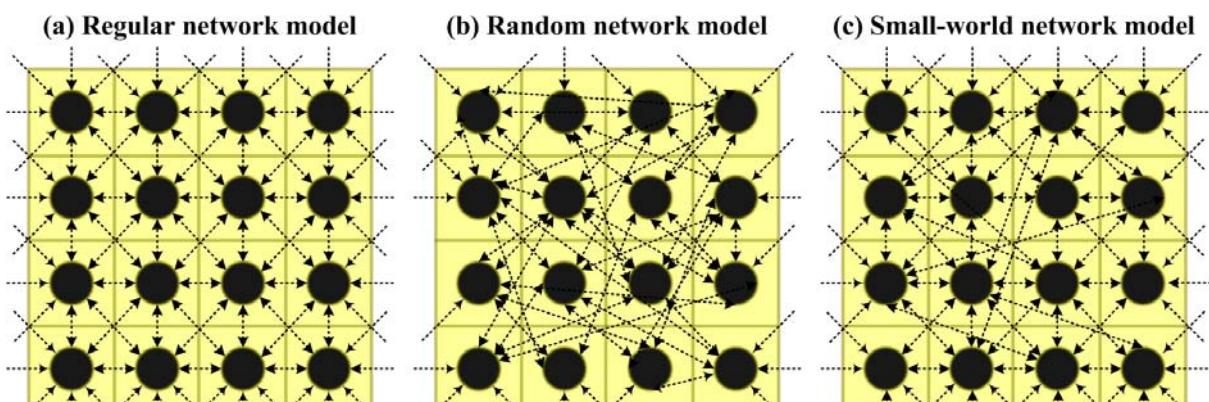


圖 8 簡單社會網路示意圖

### 2.3.1 小世界網路

自 1998 年 Watts 與 Strogatz[14] 將 Milgram 的小世界現象 (Small-World Phenomenon) 發揚光大後，小世界現象為研究社會性議題重要的方法。若關於社會網路與社會中的個體對整個社會的影響都可以考慮這些社會議題的底層網路是否可以用小世界效應來探討，它比原先的網路模型更能夠展現真實社會中社會現象的表現。其兩個重要特性為真實社會中高群聚度及低分隔度的現象。高群聚度可視為真實社會中出現的物以類聚關係，例如 A 認識 B 且 B 認識 C，則 A 認識 C 的機會就會比較大，這樣在人與其區域周圍的鄰居之間，常因為三角聚合的現象而造成高群聚度的關係；若社會中只有高群聚度現象的時候，遠距離的個體彼此間的分隔度也會很高。但因為現代的社會中交通的便利和訊息溝通工具的發達，人在一天之內可同時出現在不同地點或是散布訊息到各地，大大的拉近的人與人之間的距離，所以現代社會也兼具低分隔度性質，彷彿此人一天之中同時在很多地方發表他的意見，大幅降低了人與人之間溝通訊息的分隔度，我們以人際關係為例，早期的社會交通不發達，人與人之間的人際關係多侷限在同一村落，與其他的村落便沒有交集，這樣的人際關係其群聚度非常的高，分隔度也相對地很高。但現代的社會交通型態改變，現代人可以在一天之內出現在不同的地點，比如說工作場合、家庭等等，若 A 與 B 是同事，B 與 C 為家人，則 A 與 C 雖然距離很遠從未曾見過面，但他們的分隔度卻很低。所以交通便利，網路訊息發達的社會型態使得疾病、訊息等議題原本區域性傳播的問題，藉著低分隔度現象可由低接觸次數傳播開。

這些性質也可以運用在疾病的傳播上，高群聚度的特性可使疾病快速的在感染者周圍地區蔓延，低分隔度的特性可使疾病快速的在整個社會中傳播開來。若將人視為點，某種關係可視為邊，則人與人之間的關係則可形成一個網路，稱之為社會網路，加入小世界現象而成小世界網路。本研究使用小世界網路來模擬疾病底層的社會網路以強調疾病的傳播具有高群聚度及低分隔度等特(社會)性。

## 2.3.2 具分身點概念的細胞自動機(Cellular Automata with Mirror Identity Model CAMIM)

2004 年 Chung-Yuan Huang 等[3]提出了社會分身點的概念來進行疾病的模擬，其模型利用了人工智慧中的細胞自動機的想法，加上分身點的概念(Cellular automata with mirror identity model CAMIM)來表現個體的移動，以下介紹細胞自動機與社會分身點概念。

### 2.3.2.1 細胞自動機(Cellular automata)

二維細胞自動機底層架構為一個具有空間性，且可以表現出個體差異的二維晶格，我們可以輕易的在晶格上定義個體的性質與鄰居之間的關係，且每個晶格都具有自己獨立的狀態，使我們可以將傳染病中的個體具有潛伏期、發病期及康復期不同的狀態記錄在上面。由於細胞自動機注重的是由片段晶格的互動而造成整體現象的浮現，這樣的特性跟許多社會議題類似，所以在進行社會模擬時常利用細胞自動機來作為模擬的平台。

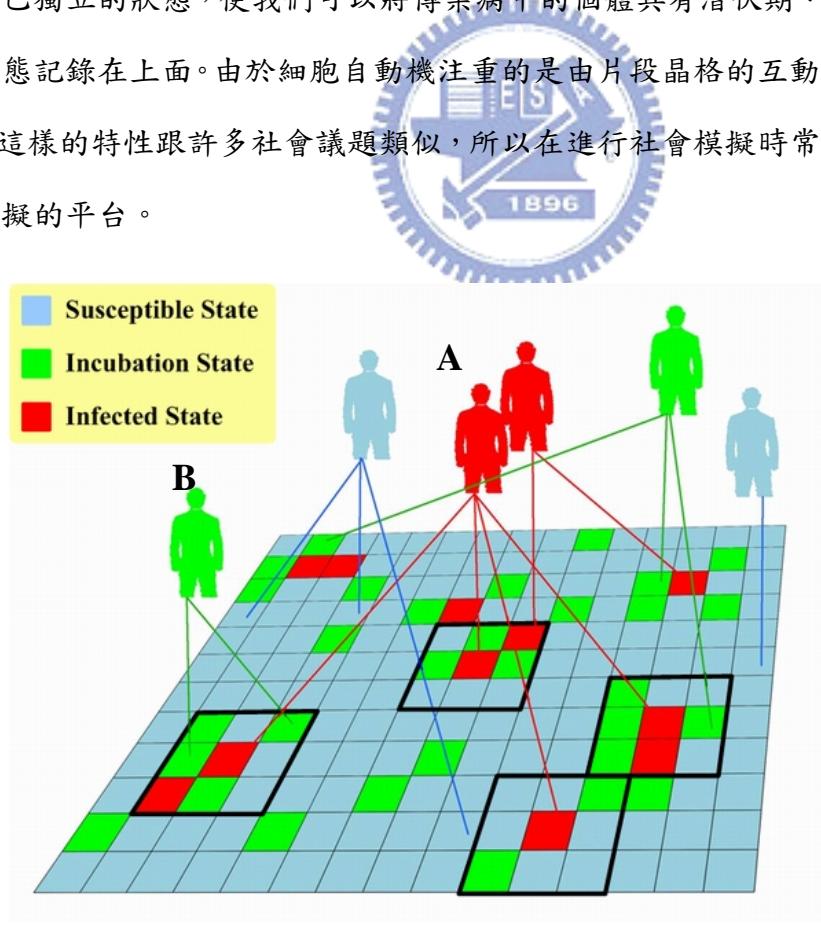


圖 9 CAMIM 示意圖(Huang ,2004)

### 2.3.2.2 社會分身點概念

2004 年 Chung-Yuan Huang 等[3]提出了社會分身點的概念來進行疾病(SARS)的模擬，其方法是將人工智慧中的細胞自動機加上分身點概念(Cellular automata with mirror identity model CAMIM)，來表現個體的活動與人際關係。CAMIM 定義了每一個個體與其分身點之間的關係，以及其分身點如何呈現小世界特性。其想法是利用二維細胞自動機為底層架構，產生一個具有空間性又可展現異質性的二維晶格，每晶格代表個體的某一分身點並儲存個體的狀態，在引入分身點概念後，可在細胞自動機上呈現小世界的特性，將個體與分身點的關係分為上下兩層，上層為代表個體的抽象層，底層是實體的模型層面，如圖 9。

上層為代表個體的抽象層，利用多代理人系統(Multi Agent- based system)來表現，個體可具有數個分身點，但在本層個體的身分唯一，由上層可看出個體與分身點之間的從屬關係，但上層並不具有地域的概念，如上頁圖中 9 的 A 與 B 雖然在上層看似距離很遙遠，但卻因為底層的分身點靠近而實際上距離很近，有可能具鄰居或是同事等關係。



底層是實體的模型層面，每個分身點分別紀錄於二維細胞自動機上的一個晶格中，底層的特性就是具有區域性，距離愈相近的晶格，其個體在日常的接觸上也越接，可將他們的關係視為鄰居、同學或工作夥伴，展現出小世界網路中的高群聚度的特性。個體可以擁有多個分身點，如此可表現出個體具有每天在多個定點移動的特色，例如：住家、工作場所及餐廳等地，這些分身點可視為小世界網路中的長連結，這些個體長距離的移動，縮短了個體與個體之間的距離而表現出小世界網路中的低分隔度的特性。

加上分身點概念的細胞自動機具有區域群聚性且可以表達出個體的移動行為，所以在我們的模型中採取分身點的概念，表現模型中個體每天固定的移動。本模型中的個體，將以多代理人系統(Multi Agent- based system)加上分身點概念來表達，以符

合小世界網路的特性。



### 3. 模型架構

本論文將以登革熱為例建立病媒性疾病模型，我們可以將整個模型視為一個世界，在這個世界中存在著許多人類個體與病媒族群，我們以程式語言來撰寫整個模型，當設定好初始狀態後，模型便依照我們所建立的規則來運作，人類個體及病媒族群可以在這模型中表現出移動、接觸等現象，而這些現象對世界造成影響就成為模擬的結果。所以我們以表示一個世界的方式將模型分為四層，分別為：地理層、個體層、病媒層及個體的染病進程，個體層與病媒層間具有連結。地理層為模型的底層用來表示真實世界中的地理區域，我們使用二維晶格來呈現這樣格與格相鄰的空間概念，在二維晶格中每一格中可容納一群個體之集合及一病媒族群，有如真實世界中個體與病媒蚊存在同樣空間一般。地理層之上為個體層，用來表示人類個體，我們採用多代理人系統加上社會分身點概念，使個體與個體之間的關係具有小世界特性可充分表現現代社會高群聚度與低分隔度的特質。以多代理人表示的個體具有唯一性，每個體的健康狀況也不一，所以在個體層上我們建立個體的染病進程，將SEIR模型中SEIR (Susceptible、Exposed、Infected、Removed) 代表的四個特性以四個階段來表示個體的健康狀況。病媒性疾病中影響流行的重要因素病媒我們以病媒層代表，採用倉室模型(Compartment Model)來代表其族群大小及染病數量。個體層與病媒層間具有連結來表示病媒蚊與人類個體之間的接觸(叮咬動作)。其架構如圖 10 所示，以下將依序介紹。

#### 3.1 地理層

我們用地理層來表示真實世界中的地理區域，利用二維細胞自動機的概念，產生具有空間性又可展現異質性的二維晶格，且以此為模型的底層，如圖 11 所示，圖中的二維晶格表示地理層。可想像其代表一個都會區，其每一格皆有人類個體與病媒族群共同分佈其上，有如真實世界中個體與病媒蚊存在同樣空間一般。近年來政府登革熱防治工作朝向以社區為基礎(community-based)[15]防制方向發展，經由動員社區義工的方式來幫助政府共同防治登革熱，所以本論文將每一晶格規模定以鄰里為單

位，相鄰的格與格可被視為相鄰的鄰里，且每格具有人口及病媒密度的差異，同一晶格上的個體與病媒族群存在同一空間中可因為接觸而傳染疾病。在模擬程式中，我們以二維陣列來實做這樣的一個地理空間，這樣的做法可直觀的將模型中地理層的概念轉換成程式的語法，在跑模擬實驗之前必須先設定好模擬的區域大小，每塊格子都有自己專屬的編號，病媒族群與個體分身點可利用此編號來記錄位置，此外跑模擬時以連續的方式去整理各區域的變化，可以快速解決位置的問題，讓人在搜尋個體及病媒族群位置的時候可以快速的搜尋到正確位置。

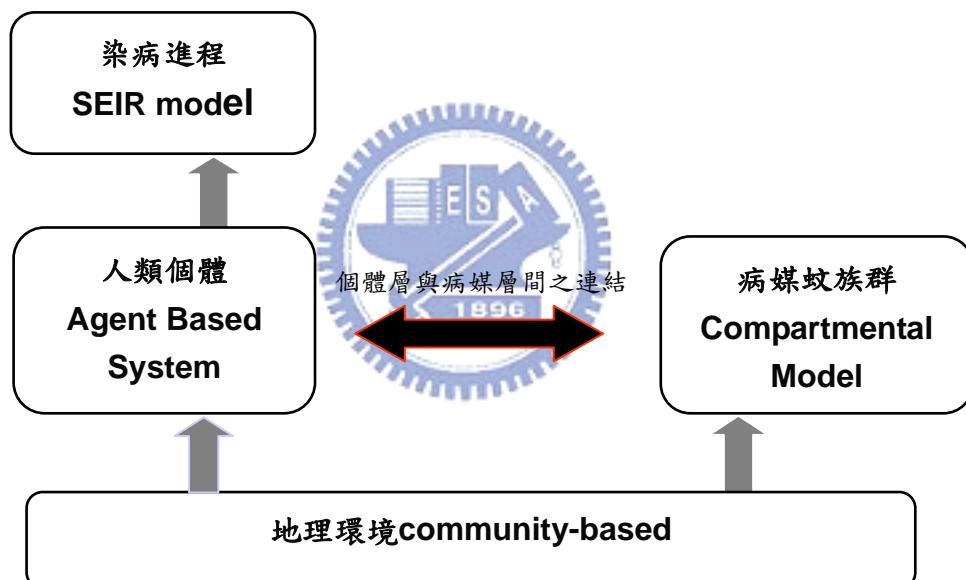


圖 10 模型架構圖

## 3.2 個體層

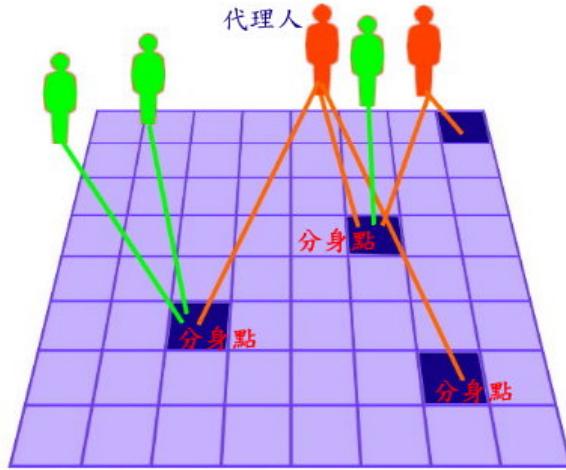


圖 11 個體表示圖

### 3.2.1 個體架構

本論文應用 了 2004 年 Chung-Yuan Huang 等[3]提出的方法(Cellular automata with mirror identity model CAMIM) 其方法是將人工智慧中的細胞自動機(cellular automata)加上分身點概念(mirror identity)，利用二維細胞自動機為底層架構，產生一個具有空間性又可展現異質性的二維晶格，每晶格代表個體的某一分身點並儲存個體的狀態來表現個體的活動與人際關係。我們將其 CAMIM 中的二維細胞自動機的想法作延伸，使得地理層上每一格都可以容納多個分身點。模型將個體與分身點的關係分為上下兩層，上層為代表個體的抽象層，底層是實體的模型層面，利用代理人系統與分身點的概念，可簡單的將個體分為上下兩層。

如圖 11 所示，上層為代表個體的抽象層，利用多代理人系統(Multi Agent-based system)來表現，個體可具有數個分身點，但在上層中個體的身分唯一，可看出個體與分身點之間的從屬關係。上層並不具有地域的概念，而模型的程式中以多代理人系統來表現出上層個體的差異性及唯一性。

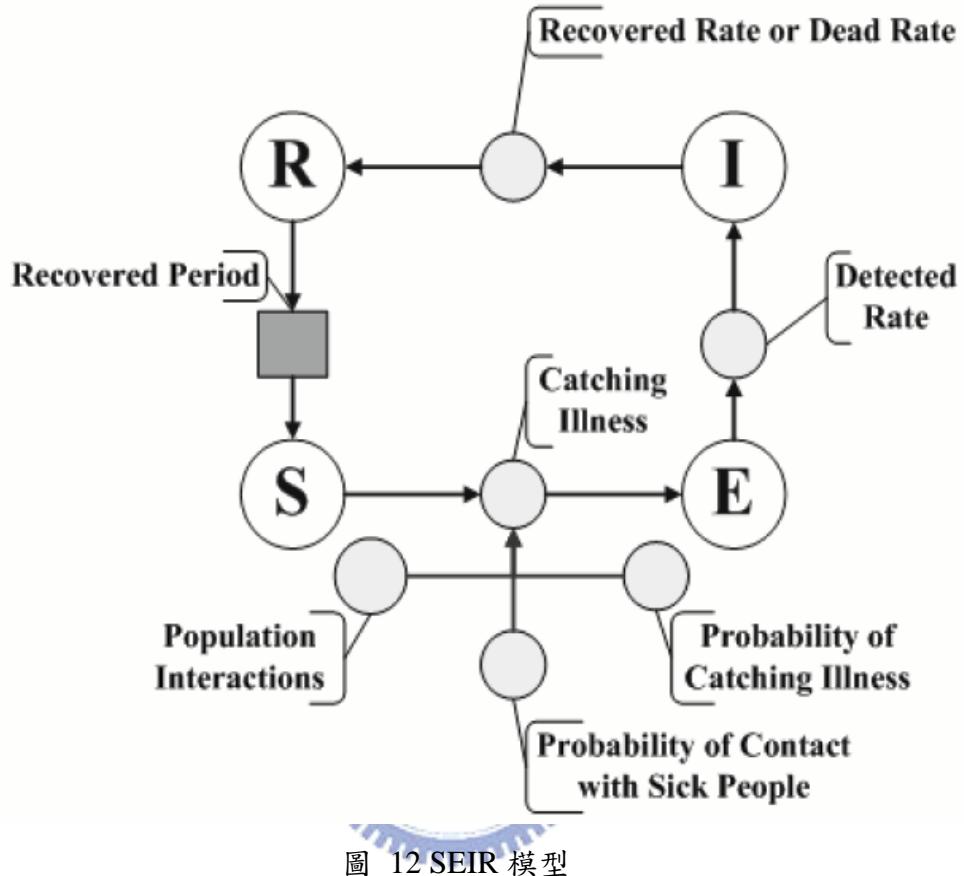
底層是實體的模型層面，為個體的分身點，每個分身點分別紀錄於地理層的一個晶格中，其分布位置可視為個體日常移動的地點，所以具地域的概念，根據這些分

身點的分布，可描述出現代人每日會在某些特定點出現的社會性。對於每人的分身點個數的機率分布，由於目前仍然沒有相關社會學上的調查研究，因此我們參考 Chung-Yuan Huang 等人的作法，設定其範圍在 1~4 之間，並假設其呈現一常態分布。

利用抽象的代理人與實際區域上的分身點，可展現個體在疾病流行時就醫行為的不同，由表一我們可知民眾得病後就醫的時間會因為個人而不同，因此在模型中我們也加入就依時間的屬性來強調個體的差異。個體層以上下兩層的表示方法，可展現每各個體都是獨一無二的，且每天都會做固定移動的特性。



### 3.2.2 個體染病進程



在個體的所有屬性中，個體的染病進程可以視為個體的健康狀況，而模擬的結果也以所有個體的染病狀況來做為判讀的標準。個體染病進程須根據疾病的特性來規劃，我們以登革熱為例，利用倉室模型(Compartmental model)中 SEIR 模型[16]的概念如圖 12 所示 (Susceptible、Exposed、Infectious、Recovered)及有限狀態機(Finite state machine, FSM)的方法來做為個體的染病進程，將個體的狀態分為 SEIR 四種。S 為未染病個體，E 為在潛伏期中之個體，I 為發病之個體，R 為已康復或死亡之個體，見圖 13。

當個體狀態為 S(未染病)的時候代表此個體未感染疾病且具有被感染的能力，若與攜帶病毒的病媒接觸後則有一定機率可進入 E(潛伏期)狀態。當個體狀態為 E 的時

候則代表此個體已感染疾病且進入潛伏期，在 E(潛伏期)狀態時個體雖然被感染但還不具有傳染的能力，且因個體差異，每個個體的潛伏期長短不一，潛伏期完後根據發病率，一部份個體會進入 I 狀態。當個體進入 I 狀態時則此個體具有傳染能力，一旦此染病個體與未染病的病媒接觸後，病媒根據感染率，一部份將感染疾病，個體發病狀態經過一段時間之後即進入 R 狀態；根據死亡率，一部分的個體會死亡，另一部分的個體則會康復，且康復後根據疾病的特性而有一段恢復時間，經過這段時間後可回到 S 狀態。

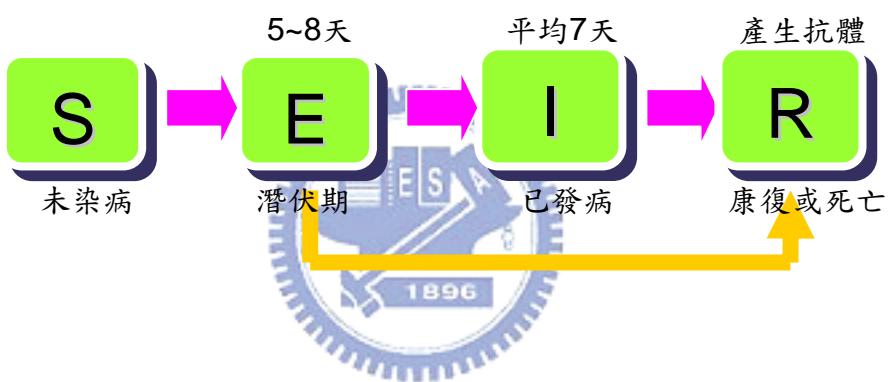


圖 13 個體染病進程

以上狀態的變化，我們利用代理人系統來記錄每一個健康的個體感染疾病到康復或死亡的變化，因為代理人能貼近人類行為，足以表現出個體的唯一性。每一個體在真實社會中皆是獨一無二的，個體與個體之間存在差異性。不同個體在發病的時候也會有不同的潛伏期與不同的就醫時間，潛伏期的不同會影響疾病爆發的時間，個體就醫時間的不同則會影響疾病是否會爆發；如果染病個體遲遲不就醫，就很有可能將疾病傳給他平常活動範圍之病媒而造成區域流行，根據 2004 年疾病管制局的疫情報導，見表一[12]我們可推知個體在染病後會去就醫的比例，登革熱平均傳染期為 6 天，

若是通報在發病的第六天以後，則前六天沒有採取任何的防疫措施而錯過了防疫的黃金時期，使得此個體很可能已經將疾病傳播出去，若個體染病後可即時就醫提早通報時間，則可避免將疾病傳播開。染病個體就醫之後，便會採取與病媒隔離的方法，例如：登革熱病患住家須加掛蚊帳，防止染病個體在與病媒接觸以傳播疾病。

因為一個代理人所對應到的分身點跟此代理人同樣地代表一個個體，則代理人狀態的改變一旦改變，其所對應之分身點狀態也一同改變，可以表現出一旦個體染病之後沒有就醫，則他每天會出現的地點都可能變成疾病傳播的溫床。

登革熱本土確定病例醫院通報時效													
通報日 一 發 病 日	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10	合計
病例數	9	33	41	47	59	37	29	7	5	4	1	11	283
百分比	3.18	11.66	14.49	16.61	20.85	13.07	10.25	2.47	1.77	1.41	0.35	3.89	100

表 1 登革熱本土確定病例醫院通報時效

由於個體本身具有許多參數及重要的屬性，所以在模擬的程式中，我們以類別(class)的資料結構來代表個體的代理人部份，以方便記錄及查詢個體的屬性；在個體的代理人方面，我們採用一維陣列的方式去紀錄個體的分身點位置，以加速我們在模擬時搜尋個體數個分身點的速度。下表為類別中(class)紀錄個體的屬性：

屬性名稱	資料型態	說明
Mirror_count	整數	有幾個分身點
Cposition Pos	陣列	分身點所在位置
Age	整數	個體的年齡，程式中使用隨機的方式安排

<b>SEIR</b>	列舉	表示個體的狀態用 {S、E、I、R} 來表示
<b>DENType</b>	列舉	用來表示個體帶哪一種原 {DEN_1,DEN_2,DEN_3,DEN_4}
<b>ImmunityType</b>	列舉	用來表示個體對哪一種病毒具有抗體 {None,type1,type2,type3,type4}
<b>days</b>	整數	用來表示個體的狀態再 SEIR 中的進行到哪一天
<b>IncubationDays</b>	整數	用來表示個體的潛伏期有幾天，約 5~8 天，程式中以隨機方式決定
<b>SeeDr</b>	布林	此個體會不會去看醫生
<b>WhenToSeeDr</b>	整數	第幾天要去看醫生，利用上表(登革熱本土確定病例醫院通報時效)的比例分佈來計算出每個個體第幾天會去看醫生。

表 2 個體屬性表



### 3.3 病媒層

病媒性疾病模型的重點在於病媒的加入。在病媒的特性上，因病媒的數量龐大且社會性與個體差異並不明顯，且病媒族群的數量會隨著季節而改變，所以本模型利用倉室模型(Compartment Model)中的 SEIR 模型概念，可將每一晶格上的病媒視為一個大族群，此族群又將病媒族群分為四部份：(S)未感染族群、(E)潜伏期族群、(I)已感染族群、(R)康復或死亡族群。由於目前垂直傳播循環在登革病毒的自然生態循環上到底占有多大份量則尚待評估，所以在本研究裡不討論垂直傳染的影響，以下先介紹 SEIR 四個狀態的特性，見圖 14。

(S)未感染族群代表每一晶格的病媒族群中未受到感染的部份，若是與已感染的個體接觸則根據感染率而有機會得病而進入(E)潜伏期。以登革熱為例，未受到感染的病媒蚊若叮咬了登革熱患者則根據感染率此病媒蚊會進入(E)潜伏期狀態。

(E)潜伏期族群代表每一晶格的病媒族群中已染病且進入潛伏期的部份，此時與未感染個體接觸也不會使個體染病，但潛伏期的長短往往會影響疾病爆發的時間，潛伏期短的疾病爆發的速度很快，潛伏期長的疾病會經過一段時間而爆發，如登革熱，使疾病的流行更難以預測。

(I)已感染族群代表每一晶格的病媒族群中已染病且可以傳播疾病的部份，此時與未感染個體接觸會根據感染率而使個體染病，而染病時間長短會因為疾病的不同而有差異，一般來說登革熱病媒一旦染病即終身可傳播疾病。

(R)已康復族群代表每一晶格的病媒族群中已康復或死亡不具有傳染或被傳染能力的部份，以登革熱病媒來說(R)狀態即代表死亡的部份。

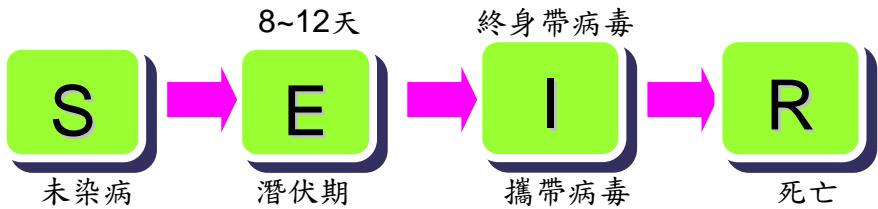


圖 14 病媒族群狀態

根據病媒具有移動特性，其移動的方式為短距離的移動，根據晶格中病媒密度的不同，病媒密度低的晶格代表此環境不適於病媒的生存，病媒密度高的晶格則代表此環境適合病媒的生存，因此處於病媒密度較低晶格中的病媒有機會移動到病媒密度較大之相鄰晶格，此為病媒擴散之表現。由臺南市疾管處許惠美[17]女士的對白線斑蚊的調查報告中指出，見表二，白線斑蚊的飛行距離可到 488 公尺，而在 250 公尺以上的比例占全部釋放比例的 2.9%，根據調查高雄市[18]406 個里中面積大小在 250 平方公尺以下的里為 255 個，佔全部的 62%。所以在我們的模型中設定 62% 的晶格上的病媒可以作移動。

在模擬的程式中，我們以類別(class)去紀錄病媒蚊族群的屬性，再以二維陣列去記錄整個模型中所有的病媒蚊族群，這樣一來病媒蚊族群所在位置與地理層的關係便可以一一對應，方便我們在處理模型模擬時病媒蚊的移動造成四周晶格病媒數的增減，以下為病媒蚊的屬性。

屬性名稱	資料型態	說明
<b>pos_x</b> , <b>pos_y</b>	整數	所在位置(x,y)
<b>IllState</b>	整數	目前為無病、盯咬期、潛伏期、帶原 or 死亡

<b>IncubDays</b>	整數	用來表示潛伏期多久
<b>IncubCountDown</b>	整數	用來表示潛伏期倒數天數，為零就可以傳染
<b>IfBite</b>	布林值	判斷此蚊子今天可不可叮人
<b>DENType</b>	列舉	用來表示病媒蚊帶哪一種原
<b>BitePerson</b>	整數	用來表示病媒蚊一次可叮幾人
<b>Vector_S_Local</b>	整數	紀錄病媒蚊族群 compartamental model 中本地狀態 S 的蚊子數
<b>Vector_S_Foreign</b>	整數	錄病媒蚊族群 compartental model 中外地移入狀態 S 的蚊子數
<b>Vector_E_Local</b>	整數 	紀錄病媒蚊族群 compartental model 中本地狀態 E 的蚊子數
<b>Vector_E_Foreign</b>	整數 	錄病媒蚊族群 compartental model 中外地移入狀態 E 的蚊子數
<b>Vector_I_Local</b>	整數	紀錄病媒蚊族群 compartental model 中本地狀態 I 的蚊子數
<b>Vector_I_Foreign</b>	整數	錄病媒蚊族群 compartental model 中外地移入狀態 I 的蚊子數
<b>Vector_R_Local</b>	整數	紀錄病媒蚊族群 compartental model 中本地狀態 R 的蚊子數
<b>Vector_R_Foreign</b>	整數	錄病媒蚊族群 compartental model 中外地移入狀態 R 的蚊子數

表 3 病媒屬性表

表6. 白線斑蚊之擴散距離（黃基森）

位置	捕獲數	數								
(公尺)	50	90	161	165	265	287	347	395	488	合計
雌蚊	179	15	5	3	1	2	1	1	1	209
雄蚊	22	0	4	0	0	1	1	0	0	28
合計	201	15	9	3	1	3	2	1	1	237
%	85.2	6.4	3.8	1.3	0.4	1.3	0.8	0.4	0.4	100

註：試驗地點：1.3平方公里稻田區 釋放蟲數：2-3日齡成蟲20560隻

表 4 白線斑蚊之擴散距離

### 3.4 個體與病媒間的連結

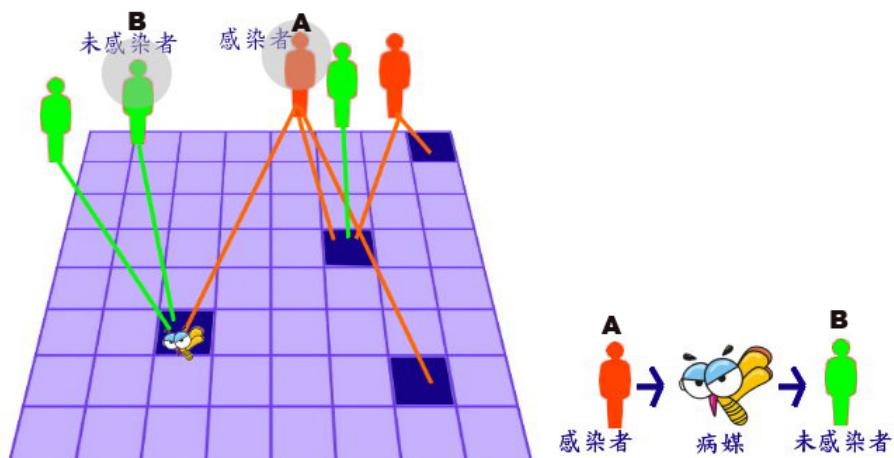


圖 15 病媒性疾病傳播示意圖

病媒性疾病與一般疾病最大的不同在於它的傳染方式是循環傳染，其他疾病的特色大多著墨於人與人之間因為近距離接觸而傳染，強調人與人的接觸頻率會影響疾病的傳播。病媒性疾病的傳播方式為人與病媒之間的循環傳染，病毒無法經由人直接傳染給人，也無法直接在病媒與病媒間傳染，須靠人與病媒間的接觸使疾病得以傳播，所以在模型中，我們也必須對這種傳染途徑作特別的描述。所謂病媒性疾病中個體與病媒間的連結，對登革熱而言即為人與病媒蚊間叮咬的動作，健康的人被帶原的病媒叮咬後即有可能也成為帶原者；未帶病毒的病媒叮咬到帶原者之後也即可能感染病毒而有傳播疾病的能力。當叮咬的次數越頻繁即個體與病媒蚊之間的連結越多。

在模擬的程式中表現個體與病媒的連結上，我們每一天讓每一晶格的病媒族群與個體做接觸，將個體與病媒間的接觸視為一種連結，連結的情形可分為四種：

(1)染病者與未帶病病媒：染病者與未帶病病媒使疾病由個體傳到病媒，讓病媒

帶有病毒。

(2)染病者與帶病病媒：兩個接觸的結果為保持兩者的狀態不變。

(3)未染病者與未帶病病媒及：兩個接觸的結果為保持兩者的狀態不變。

(4)未染病者與帶病病媒：未染病者與帶病病媒使疾病由病媒傳到個體。

由以上之連結，加上個體利用分身點的概念來作移動及病媒向四周移動的特性，可將疾病的傳播動態清楚的表現。由圖 15 中的 A 表示染病者有三個分身點，這三個分身點可代表三個不同的場合，如家庭、工作場合及餐廳，為 A 日常生活中可能出現的地點，A 就很可能在這些場合透過被病媒蚊叮咬將疾病傳給病媒蚊，再由病媒蚊叮咬其他人進而傳染給他人。已感染的病媒蚊也有可能藉由短距離的移動來傳染給鄰近地區的個體。



### 3.5 參數設定

將模型建立好後，我們將搜集到的資料加以分析，並將這些資料做適當的應用，做為模型初始化的資料。這一章我們根據Chung-Yuan Hwang[3]在電腦模擬參數的分類將本模型的參數分為「社會網路」、「個體」、「傳染病模型」、「病媒」四項，社會網路的部份，我們參考Chung-Yuan Hwang [3]的研究，來設定社會分身點的個數，以下依序介紹模型中各層會用到的相關參數，分為「地理層參數」、「傳染病參數」、「病媒參數」四個部份來討論。

#### 3.5.1 地理層參數

在模型設定的之初，需先將已知的地理層參數定好，以下為地理層具備的參數，

在此作詳細的介紹。

### 二維晶格大小的規劃：

近年來政府登革熱防治工作朝向以社區為基礎(community-based)[15]防制方向發展，所以本論文將每一晶格規模定以鄰里為單位，相鄰的格與格可被視為相鄰的鄰里，所以我們依照高雄市政府公佈的鄰里個數來設定此二維晶格的大小。

### 地理層中人口分布：

在疾病模擬模型中，人口規模的縮放必須是疾病的特型而定。根據 Gubler[5]登革熱的研究顯示，登革熱傳播環境中人口密度也是影響登革熱流行的的因素，所以再此模型中我們沒有縮小模型，即此模型與真實世界的人口比是一比一。本論文是以高雄市為範圍的一個都會區來作為模擬的範圍，所以我們的人口數採用高雄市政府公佈 91 年的人口數[18]為模型的初始人數，總人口數約 1500000 人。每格人數的規劃，利用高雄市政府公佈的各區各里人口數[18](見附錄 1)，並依照比例來設定每晶格的人口數。以下圖比例，我們分配 8% 的晶格中有小於 1000 個個體，30% 的晶格中有 1000~2000 個個體...依此類推來分配地理層中的人口分佈。

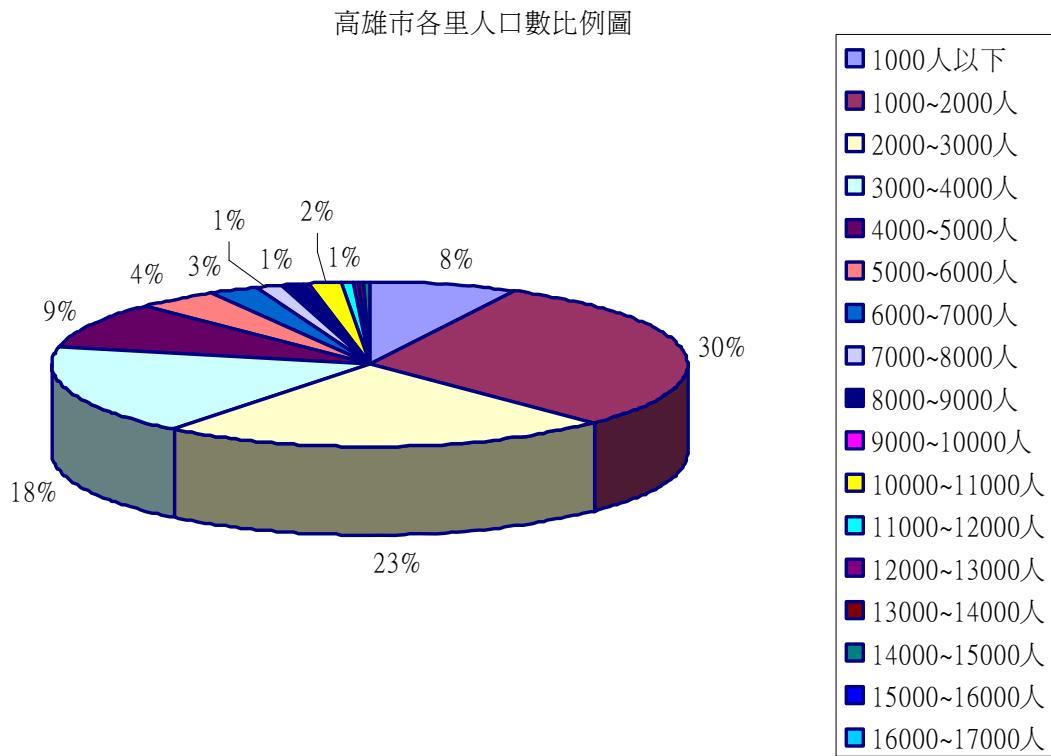


圖 16 高雄市各里人口分佈圖

#### 地理層中病媒蚊密度規劃：

因為病媒族群數量會受到時間上的變化及空間上的變化。

- 時間上的變化:每月數量隨溫度消長，由圖 17 我們可以看出一年之中病媒蚊族群自六月暴增，到了 9、10 月逐漸下降，我們依照圖 17 中布氏指數大於 3 的每月變化來作為每個月每個晶格數量的縮放。
- 空間上的變化:各區數量分布，依照疾管局公佈病媒密度調查各里布氏指數的最大值來分佈。

布氏指數：
$$\frac{\text{陽性容器數}}{\text{調查戶數}} \times 100$$

月份	高雄縣市 登革病例數		布氏指數(村里百分比)			氣候		
	DF	DHF/DSS	0 級	0~2 級	≥3 級	月均溫(°C)	雨量(mm)	溼度(%)
一月	4	0	32.45%	61.70%	5.85%	19.9	29	69
二月	1	0	38.79%	58.18%	3.03%	20.8	7	71
三月	0	0	38.83%	59.57%	1.60%	24	6	73
四月	3	1	41.18%	53.72%	4.81%	26.8	0	74
五月	5	1	36.32%	58.71%	4.98%	27.6	231.7	78
六月	113	0	18.67%	57.68%	23.65%	29.1	126.5	80
七月	660	9	30.17%	51.34%	18.49%	29.3	134.8	80
八月	857	13	41.18%	48.93%	9.65%	29	293.5	80
九月	1345	34	41.55%	53.40%	4.85%	28.1	139	79
十月	1095	9	38.95%	54.17%	6.87%	27.2	0	75
十一月	492	8	43.00%	53.45%	3.55%	24.2	-9.8	67
十二月	197	9	44.28%	46.73%	8.99%	21.6	70	74

(資料來源：疾病管制局網站 <http://www.cdc.gov.tw>)



### 3.5.2 傳染病參數

在模型設定之初，我們需先將已知的傳染病參數定好，傳染病參數為圖 13 個體染病進程中各狀態之間的轉換機率，以下為模型內傳染病的參數：

S→E：未染病個體經感染率而感染登革熱進入潛伏期。

E→I：(E)潛伏期約 5~8 天[19]，由 2002 年登革熱通報病例中的確定病例比例推算出發病率為為 46.69%，則 46.69% 的人會進入發病期(I)。

E→R：沒有進入發病期的(I)人則會康復而不具傳染力。

I→R：發病期約為 7 天，此時染病個體具傳染力，死亡率約為 0.5%，康復後的個體則帶有抗體且不具傳染力。

參數	意義	值	描述	參考來源
PARA_HUMAN_INFECT_RATE	感染率	需校正	個體經病媒成功的叮咬後可感染登革熱的機率	需做參數校正
PARA_HUMAN_BECOME	發病率	46.69%	個體感染登革熱後會發病的機率	2002 年登革熱通報病例中的確定病例比例推算
PARA_HUMAN_DEAD RATE	死亡率	0.5	個體發病後會死亡的機率	疾管局公佈資料[19]

表 5 個體參數表

### 3.5.3 病媒參數

在模型設定的之初，我們需先將已知的病媒參數定好，病媒參數是用以表示模型中病媒的特性，以下為模型內病媒參數：

參數	意義	值	描述	參考來源
VECTOR_AGE	生命天數	約可存活 15-30 天(平均約 20 天)	病媒蚊可存活的天數 B96	[17]
PARA_VECTOR_BIT E_RATE	接觸頻率	2.8 人	一段(一單位)時間內病媒蚊可咬到不同個體的數目	Patz, J. A [20]
PARA_VECTOR_INFECT RATE	感染率	0.45	病媒蚊叮咬到感病的人後會感染的機率	Patz, J. A [20]
PARA_VECTOR_BROAD	擴散率	2.9%	每隻病媒蚊可移動到周圍地區的機率	[17] 黃基森
PARA_VECTOR_VERTICAL_I	垂直感染率	0.63%(1 /158)	病媒蚊由繁衍後代而傳染給後代的機率	疾病管制局公佈[19]

表 6 病媒參數表

### 3.5.4 模型初始化

在我們的模擬系統中，整個社會網路的建構是初始化的時候完成的，以下將以流

程圖來介紹整個初始化的過程：



圖 18 初始流程圖

### 3.6 模擬流程

在整個模型架構建立好後，便可以設計模擬的流程，我們將整個模型視為一個世界，這個世界中存在著許多人類個體與病媒族群，本論文將他們分層表示，分別稱為個體層及病媒層。當設定好各層參數的初始狀態後，模型便依造我們定的規則而運作，在模擬的程式中也設定了時間系統，並以一天為單位，每一天人類個體及病媒族群可以在這模型中表現出移動、接觸等現象，而在一天結束後整個模擬程式會記錄這些互動的結果，第二天再以這些結果為初始值，開始新的一天的活動，這樣循環多次直到預設的時間結束，再查看個體中有染病的數量，下圖 19 為本模型的模擬流程圖，模擬的程式按照流程圖的步驟去運作。



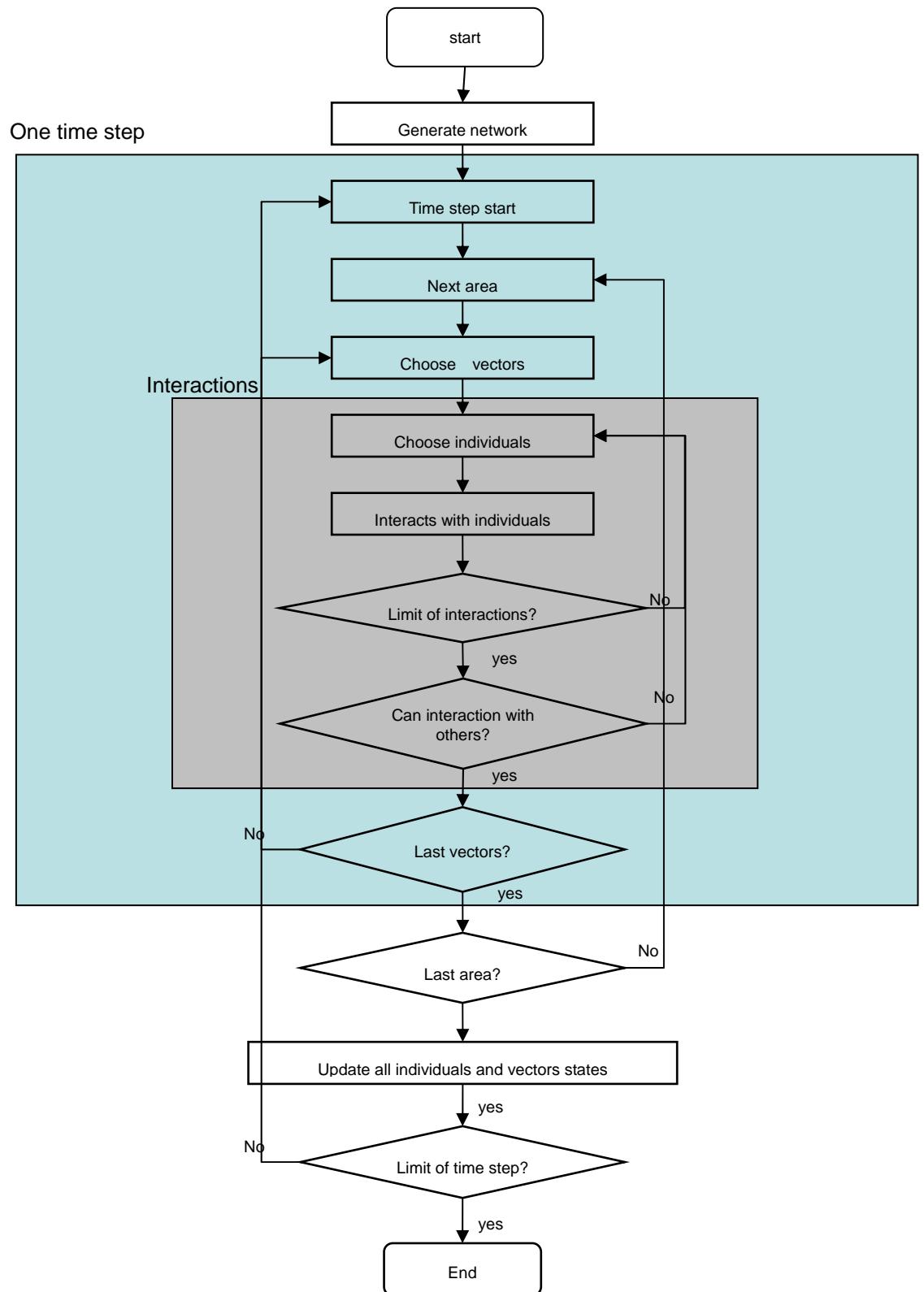


圖 19 模擬之流程圖

## 4. 模型參數設定

我們將初步得到的已知參數建立後，就要對無法由資料取得的參數做設定與校正。本論文中對於「病媒與個體比例」「個體感染率」參數無法由得到的資料來分析，所以我們對「病媒與個體比例」「個體感染率」做參數敏感度的分析，來觀察不同參數值對於疾病傳播趨勢的影響，再從中選擇適合的參數做為模擬真實案例的參數。

### 4.1 參數分析

#### 4.1.1 病媒與個體比例的校正

流行性疾病的  $R_0$  (再傳染參數)[21, 22]為疾病是否可爆發的指標，其意義為一個染病的個體可將疾病傳染給多少人，當  $R_0 < 1$ ，疾病的擴散趨勢會呈現收斂的狀態，一下子便消失而不會爆發；當  $R_0 = 1$  時，疾病的擴散趨勢疾病不會爆發也不會消失，而是在當地流傳進一步變成地方性的疾病；當  $R_0 > 1$  時，疾病便會爆發造成大流行。



圖 20 循環傳染與的傳播的關係

病媒性疾病的傳染需透過病媒來傳遞，對於病媒性疾病而言， $R_0$ [21, 23]可視為一個染病個體在可傳染期間透過病媒族群傳遞而成功傳染的人數。其傳播過程如圖 20，由此順序可推知  $R_0$  參數在模型中的意義是由兩階段意義組成，第一階段為個體傳染給病媒，第二階段為病媒傳染給個體。

(1). 第一階段為個體傳染給病媒：在模型中的概念為一染病個體在其可傳染的時間內將疾病傳給多少病媒，此階段的定義為：

接觸平均個數<sub>個體->病媒</sub>\*病媒的傳染率\*個體可傳染的時間

(2). 第二階段為病媒傳染給個體：在模型中的概念為一染病病媒在其可傳染的時間內將疾病傳給多少個體，此階段的定義為：

接觸平均個數<sub>病媒->個體</sub>\*個體的傳染率\*病媒可傳染的時間

病媒對個體的接觸平均個數本模型參考 Patz[20]的模型，採用 2.8 人，個體對病媒的接觸個數可以視為：

接觸平均個數<sub>病媒->個體</sub>\*病媒總數/個體總數

以下公式表示  $R_0$ ：

$$R_0 = \left( \text{接觸平均個數}_{\text{個體}->\text{病媒}} \times \text{病媒傳染率} \times \text{病媒可傳播的時間} \right) \times \\ \left( \text{接觸平均個數}_{\text{病媒}->\text{個體}} \times \text{個體傳染率} \times \text{個體可傳播的時間} \right)$$

因為接觸平均個數<sub>個體->病媒</sub> 可視為：接觸平均個數<sub>病媒->個體</sub> \* 病媒總數 / 個體總數，所以



$$R_0 = \left( \text{接觸平均個數}_{\text{病媒}->\text{個體}} \times \text{病媒總數} : \text{個體總數} \times \text{病媒傳染率} \times \text{病媒可傳播的時間} \right) \times \\ \left( \text{接觸平均個數}_{\text{病媒}->\text{個體}} \times \text{個體傳染率} \times \text{個體可傳播的時間} \right) \\ = \frac{\text{病媒總數}}{\text{個體總數}} \times \left( \text{接觸平均個數}_{\text{病媒}->\text{個體}} \times \text{病媒感染率} \times \text{帶原者可傳播的時間} \right) \\ \times \left( \text{接觸平均個數}_{\text{病媒}->\text{個體}} \times \text{個體感染率} \times \text{病媒可傳播的時間} \right)$$

由以上公式可知當其他參數固定時，病媒性疾病中病媒對個體的比例(ratio)會對疾病的傳播造成影響，此符合門檻理論(threshold theory)[13]所強調的：一個地區中有少數外來感染個體並不會造成此地區的流行，除非此地的病媒密度到達某一個門檻。在我們的實驗參數中，會以侵襲率(attack rate)來校正病媒與個體之比例(ratio)，且討論此模型是否能表現出病媒性疾病的門檻值。侵襲率(attack rate)的計算方式為：

$$\text{侵襲率} = \frac{\text{染病個體數}}{\text{總個體數}}$$

由於登革熱之病媒為埃及斑蚊及白線斑蚊，每晶格族群大小不同，族群的數量也會因為氣溫及雨量的不同而改變，本模型參照疾病管制局[19]公佈的各里的布氏指數做每晶格族群大小的分布，如圖 17。登革熱的  $R_0$  [22, 24]各地不一，台灣目前尚無

$R_0$ 的資料，我們由終年流行登革熱的國家巴西[22]2001 年的 $R_0$ 資料來看， $R_0$ 從 2.84 到 11.57 不等(見附錄 2)。由於登革熱的 $R_0$ 不容易估計，所以我們不以 $R_0$ 作為校正的標準而利用利用侵襲率來校正病媒與個體之比例，高雄市 91 年的總人口數為 1,509,510 人(見附錄 3)通報病例為 7446 人所以侵襲率為  $7446/1,509,510=0.04964$ 。我們以以下的流程圖來表示推估病媒與個體之比例的方法。首先要設定初始模型中的參數，依照 91 年四月時得病人口來加入初始染感人數，其餘個體狀態皆為正常，設完初始參數後，模擬一年的時間，重複 30 次取平均，觀察模擬的結果其中的總感染人數，最後計算侵襲率並與真實情況交互比較，由常理判斷模擬出之侵襲率應比真實情況之侵襲率稍高，若模擬出這樣的結果我們便可以將之設為校正後的值。由圖 19 的模擬結果，得到病媒與個體之比例為 0.1 時，總感染人數為 92.33 人，侵襲率為  $6.15 \times 10^{-5}$ ；得到病媒與個體之比例為 0.2 時，總感染人數為 164 人，侵襲率為 0.000109；得到病媒與個體之比例為 0.3 時，總感染人數為 245 人，侵襲率為 0.000163；得到病媒與個體之比例為 0.4 時，總感染人數為 1883 人，侵襲率為 0.001255；得到病媒與個體之比例為 0.5 時，總感染人數為 8103 人，侵襲率為 0.005402。經過多次模擬結果可知，當病媒/個體=0.5 時，侵襲率=0.005402 與 2002 年高雄市的侵襲率 0.00496 接近，我們將病媒/個體定為 0.5。在圖 18 中可見當病媒與個體之比例為 0.5 及 0.4 病媒/個體時疾病會爆發，且病媒/個體數越大總感染人數也越多，小於 0.3 病媒/個體時疾病便開始收斂，在 7、8 月的時候便沒有人再感染了，可證明病媒/個體越大則 $R_0$ 也越大，且與疾病模型中門檻理論相符合，也可以說明一個人口固定的地區，所存在的病媒數越多則疾病的爆發情形也越嚴重，如果病媒數量未超過門檻值則疾病無法傳播，病媒的數量的確會影響疾病的流行的狀況。

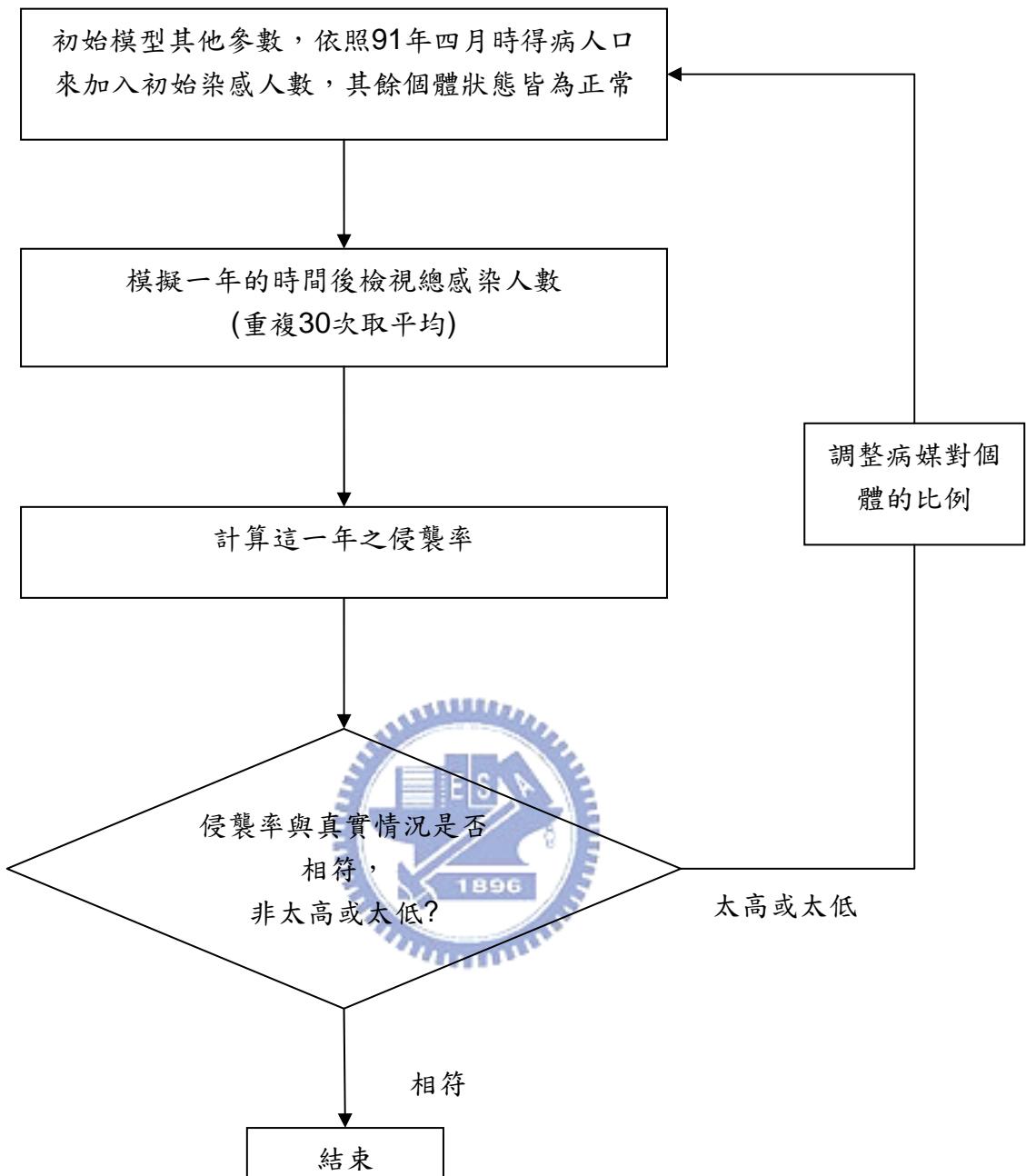


圖 21病媒對個體的比例  
校正流程圖

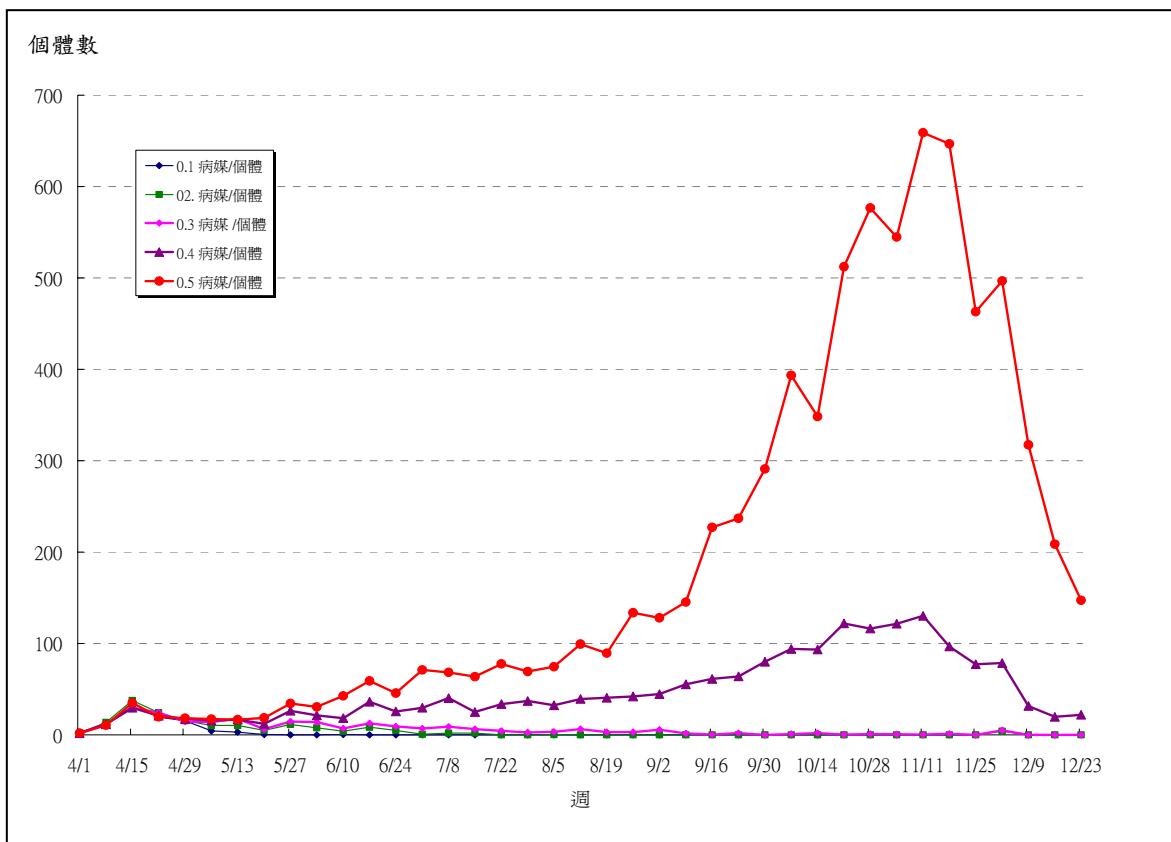


圖 22 病媒與個體比例對於疾病曲線的影響—每週新增感染人數圖



病媒與個體之間的比例	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
總感染人數	92.33333333	164	245	1883	<b>8103</b>
侵襲率	6.15556E-05	0.000109	0.000163	0.001255	<b>0.005402</b>

表 7 病媒個體之間的比例與侵襲率的關係表

個體數

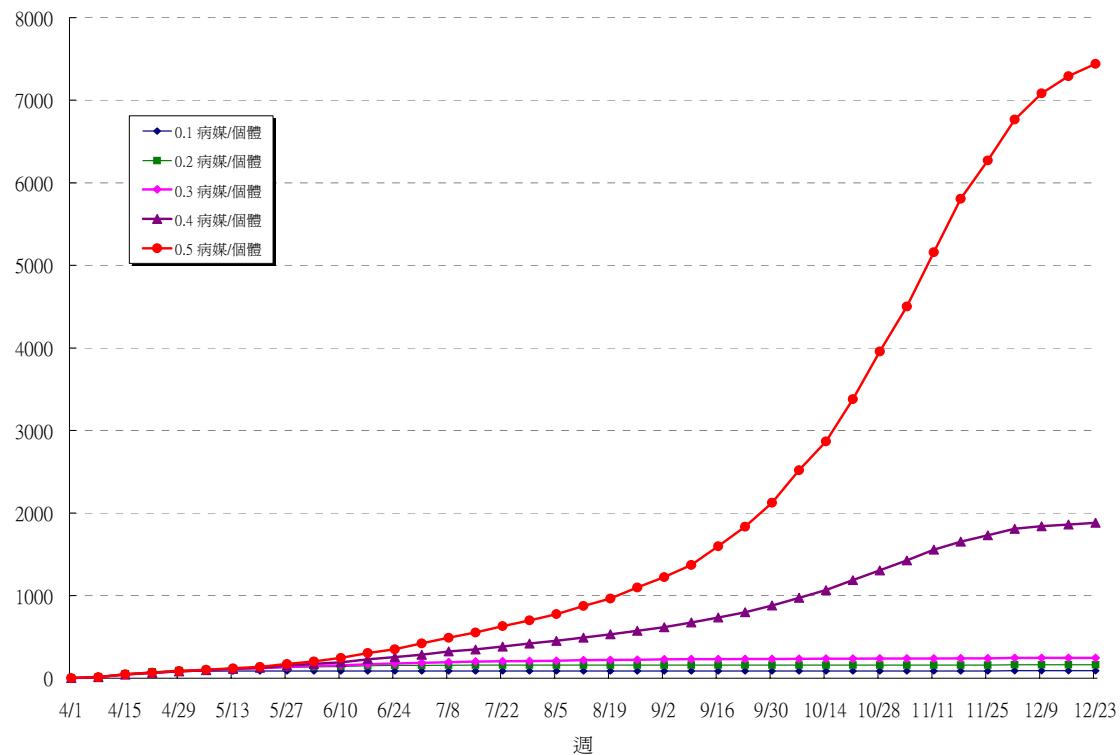


圖 23 病媒與個體比例對於疾病曲線的影響—每週累計感染人數圖

#### 4.1.2 感染率的校正

因為目前沒有明確的個體感染率，所以我們根據病媒/個體為 0.5 來調整個體感染率以找出適合的感染率，根據登革熱學者表示個體感染率應偏高，所以我們合理假設以感染率 0.4 開始往上調整，我們依照下面的流程圖所示之流程來校正感染率。首先初始模型中其他參數及固定病媒/個體為 0.5，依照 91 年四月時得病人口來加入初始染感人數，其餘個體狀態皆為正常，設完初始參數後模擬一年的時間重複 30 次取平均，再檢視模擬的結果總感染人數，最後計算侵襲率並且與真實情況交互比較，由常理判斷模擬出之侵襲率應比真實情況之侵襲率稍高，若模擬出這樣的結果我們便可以將之設為校正後的值。

由圖 21 的模擬結果，得到感染率為 40% 時總感染人數為 1640 人，侵襲率為 0.001093；得到感染率為 50% 時總感染人數為 3896 人，侵襲率為 0.002597；得到感

染率為 60% 時總感染人數為 10393 人，侵襲率為 0.006929；得到感染率為 70% 時總感染人數為 35062 人，侵襲率為 0.023375；得到感染率為 80% 時總感染人數為 57776 人，侵襲率為 0.038517。在與 2001 年侵襲率 0.00496 比較發現當感染率為 0.6 時的侵襲率=0.006929 比較接近，所以將感染率設為 0.6。

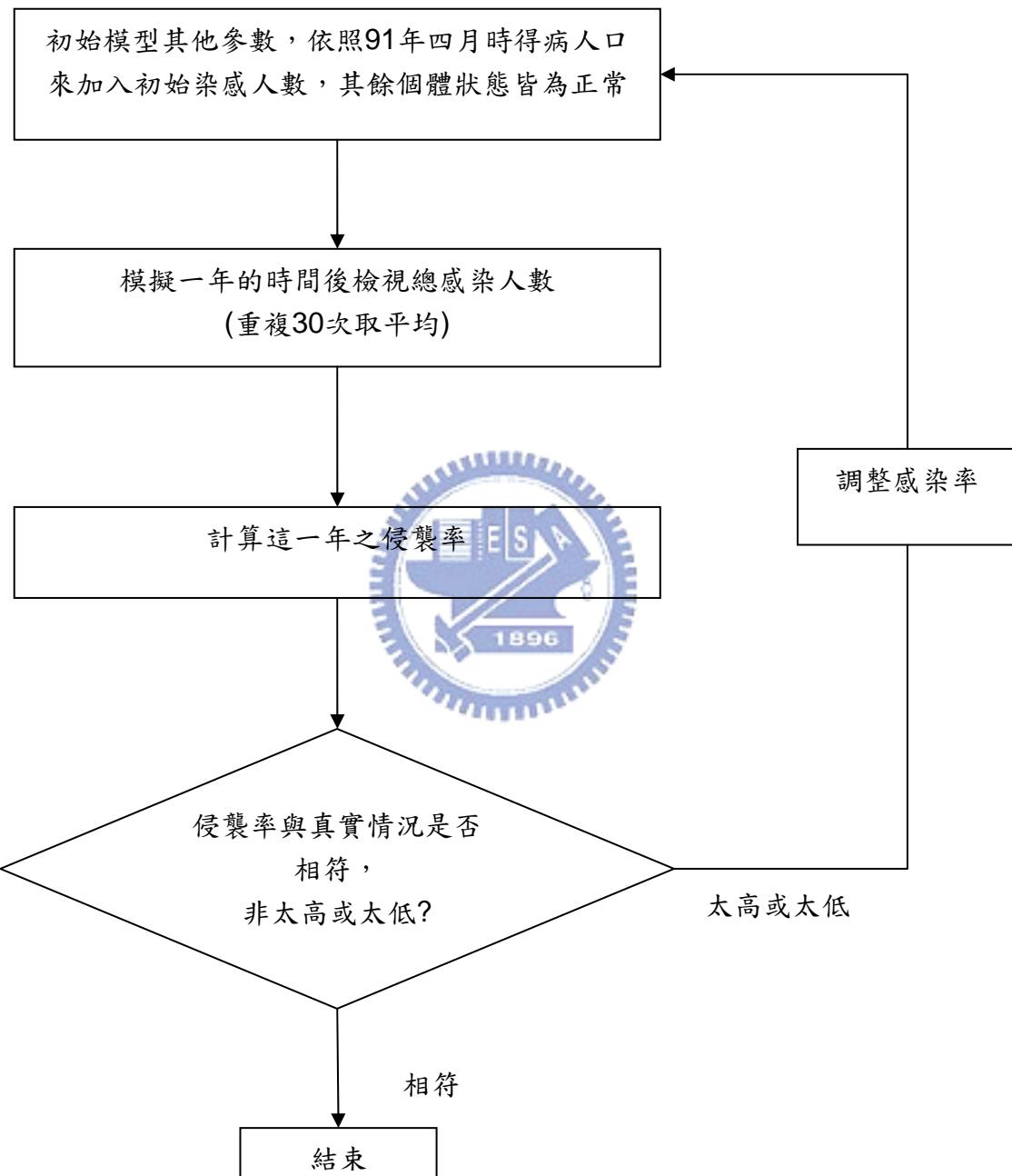


圖 24 感染率校正流程圖

個體感染率與侵襲率的關係

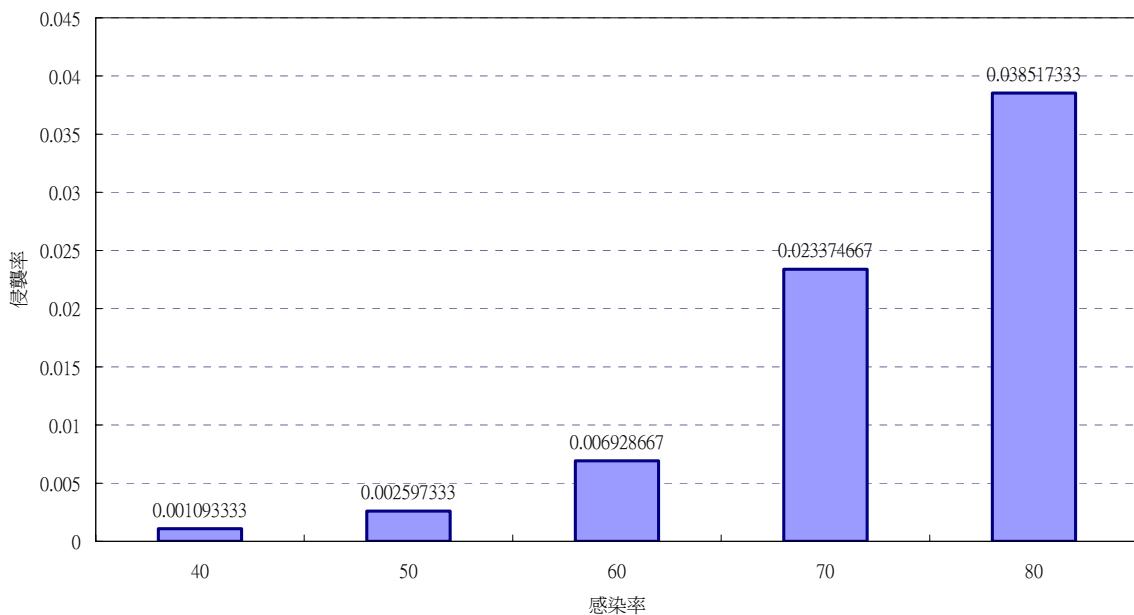


圖 25 個體感染率和侵襲率的關係圖

感染率(%)	40	50	60	70	80
總感染人數	1640	3896	10393	35062	57776
侵襲率	0.001093	0.002597	<b>0.006929</b>	0.023375	0.038517

表 8 感染率與侵襲率的關係表

由前面所建之參數表(表 2，表 3)可知本模型已將所有數據參數化以方便模擬的設定，不同的地區在參數上也會有差異，所以如果要使用在其他城市甚至其他的國家的都會區時，我們特別要注意到每地區的差異，例如：(1)傳播循環的不同，馬來西亞的城市可能需要考慮到除了人之外還有猴子為宿主的因素，而增加傳播模式的多樣性；(2)血清盛行率不同，東南亞國家每年都有疫情發生，因此帶有登革熱抗體的人相對的也較台灣來的多，這些不同的差異都會影響到模擬的結果，所以參數的設定更是不可忽視。在考慮地區不同造成的差異而修改相關參數後，此模擬模型也可應用到其它的城市，在設定參數的值時，須以相關單位公佈的真實數據作為參數，且因登革熱的傳播與人口密度及病媒蚊密度息息相關，所以根據當地的人口來設定每個地區的

人口數，以病媒蚊密度及病媒與個體之比例做參數的敏感度分析，利用 $R_0$ 或是侵襲率來校正而得到每單位地區的病媒蚊數量，再調整人類感染率即可以模擬不同城市的狀況。



## 5. 實驗

在設定基本參數後，本章將模擬 2002 年登革熱在高雄市之流行，以及各種公衛政策對登革熱之影響。在拿到的資料中從民國 87(1998)年開始，如圖 26 所示可由感染人數看出登革熱病在台灣地區並非每年流行，目前兼具完整資料及發生流行的年份只有 2002 年，所以我們以 2002 年的資料來初始化模型。2003、2004 年大都是境外移入的案例，而確定感染人數也較 2002 年少很多，原因可由很多因素引起，包括之前實施的公衛政策確實將 2002 年這一波的登革熱撲滅，以至於 2003、2004 年感染人數很少，所以目前很難利用其他年份來驗證模型，但如果之後有再發生類似的大流行情況，則可利用有流行年份的數據來模擬以驗證模型。

### 2.9.1、登革熱(Dengue fever)

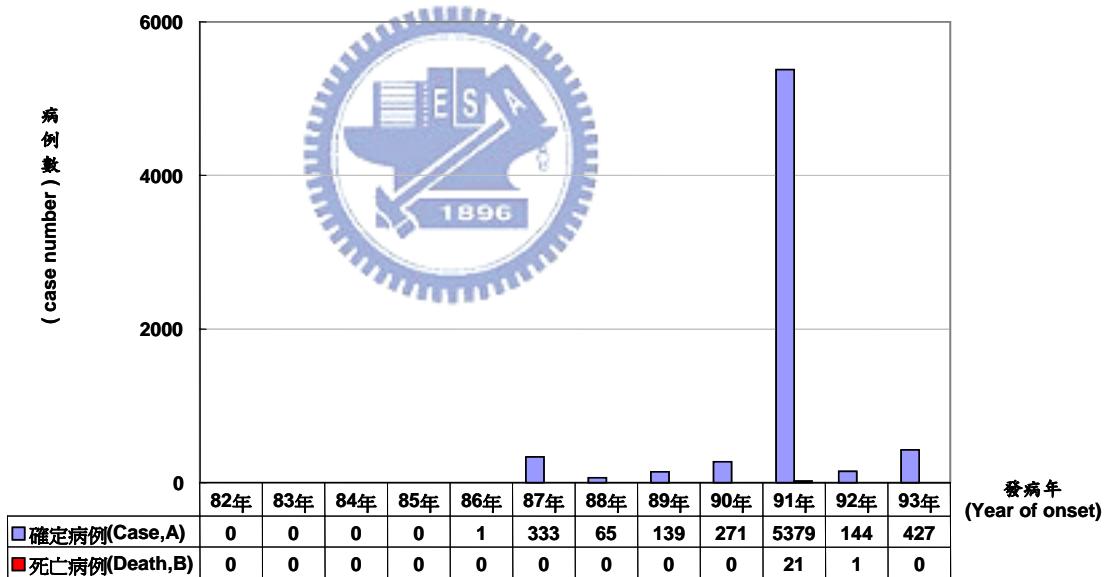


圖 26 台灣歷年登革熱流行趨勢圖(疾管局公佈)

### 5.1 初始狀態的設定

在初始感染源方面，我們根據登革熱此種疾病在台灣的特性來區分，首先須釐清台灣地區的傳染窩及宿主，一般的傳播途徑為人與病媒蚊間的傳播循環，但有研究指出猴子也可成為登革熱之宿主。高雄市鼓山區之北壽山有不少台灣獼猴棲息，每日約有兩千人在此處活動，也有可能將病毒帶進林區，但根據疾病管制局疫情報導[9]

高雄市鼓山區野生台灣獼猴棲息地蚊類感染登革熱病毒之研究中指出，台灣山區主要的蚊類為白線斑蚊，此種蚊類對於登革熱的傳播力並沒有埃及斑蚊好，也並未從採集到的病媒蚊中分離出登革熱病毒，所以我們不考慮猴子造成的傳播。而在人與病媒蚊間的傳播循環中，我們可將染病的患者分為境外移入之患者與本土的患者，此兩種都有可能造成當地的流行。根據登革熱疾病學者指出，2002 年高雄市的登革熱流行為跨年之流行，境外移入的人口數 48 位較 2001 年的 56 位低[25]，所以推斷並非為境外移入的影響，所以我們暫不考慮境外移入的病例對登革熱疫情的影響，而以本土案例作為我們模擬的初始人數。此模型採用四月所有之本土感染的案例來當作初始感染人數。定好初始值後，我們分別實驗有無公衛政策對疫情的影響，公衛政策的加入條件目前依照政府公佈實施的公衛政策的時間點依序加入，模擬出的疫情曲線由 30 次實驗結果之平均而得。

在確定模型參數後，即可初始化模型。我們採用高雄市政府[18]公佈的各里人口數分布及疾病管制局公佈[19]各里的布氏指數分布來訂出為每一晶格上個體總數及病媒總數。規模採用實際的高雄市人口數(約 1500000 人)來模擬一個都會區，且合理假設在模擬的時間內人口數固定，即出生率=死亡率(請見附錄 4)。模擬時以一天為時間單位，模擬天數為 270 天，為四月到十二月的登革熱疫情曲線。我們將模擬 2002 年高雄市登革熱流行的情形且與疾病管制局[19]所公佈的資料(見圖 17、18)比較，並探討各項公衛政策對於登革熱之影響。

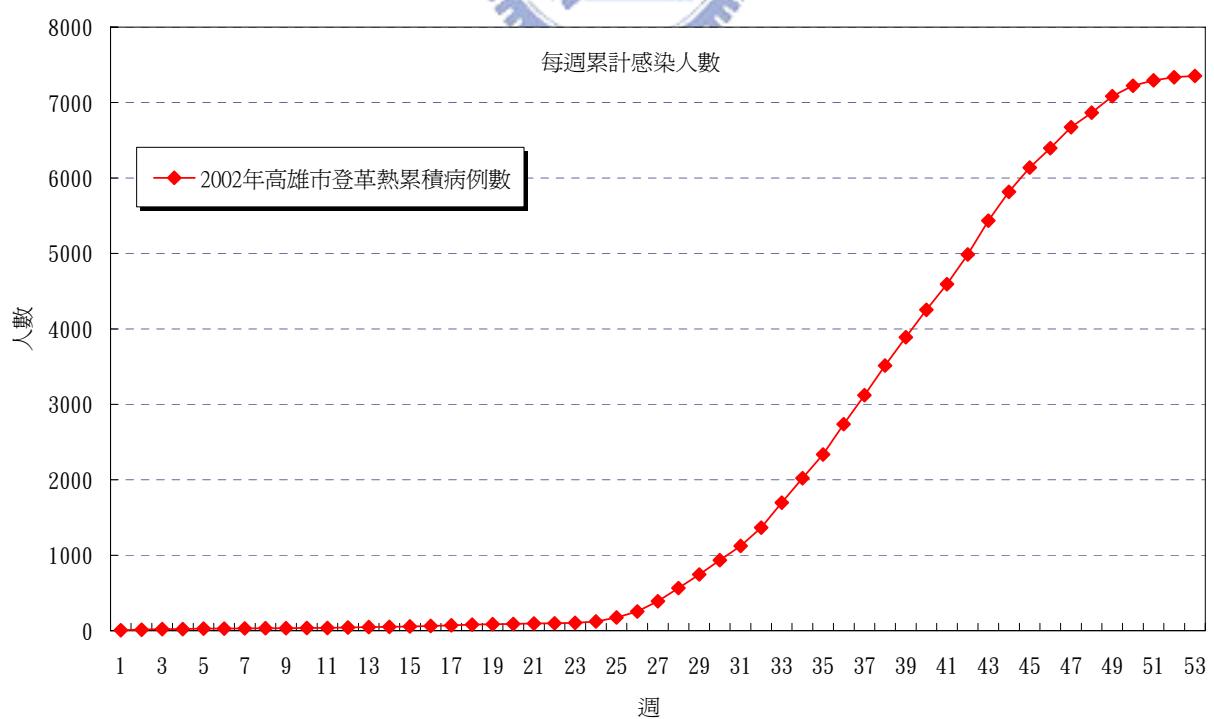
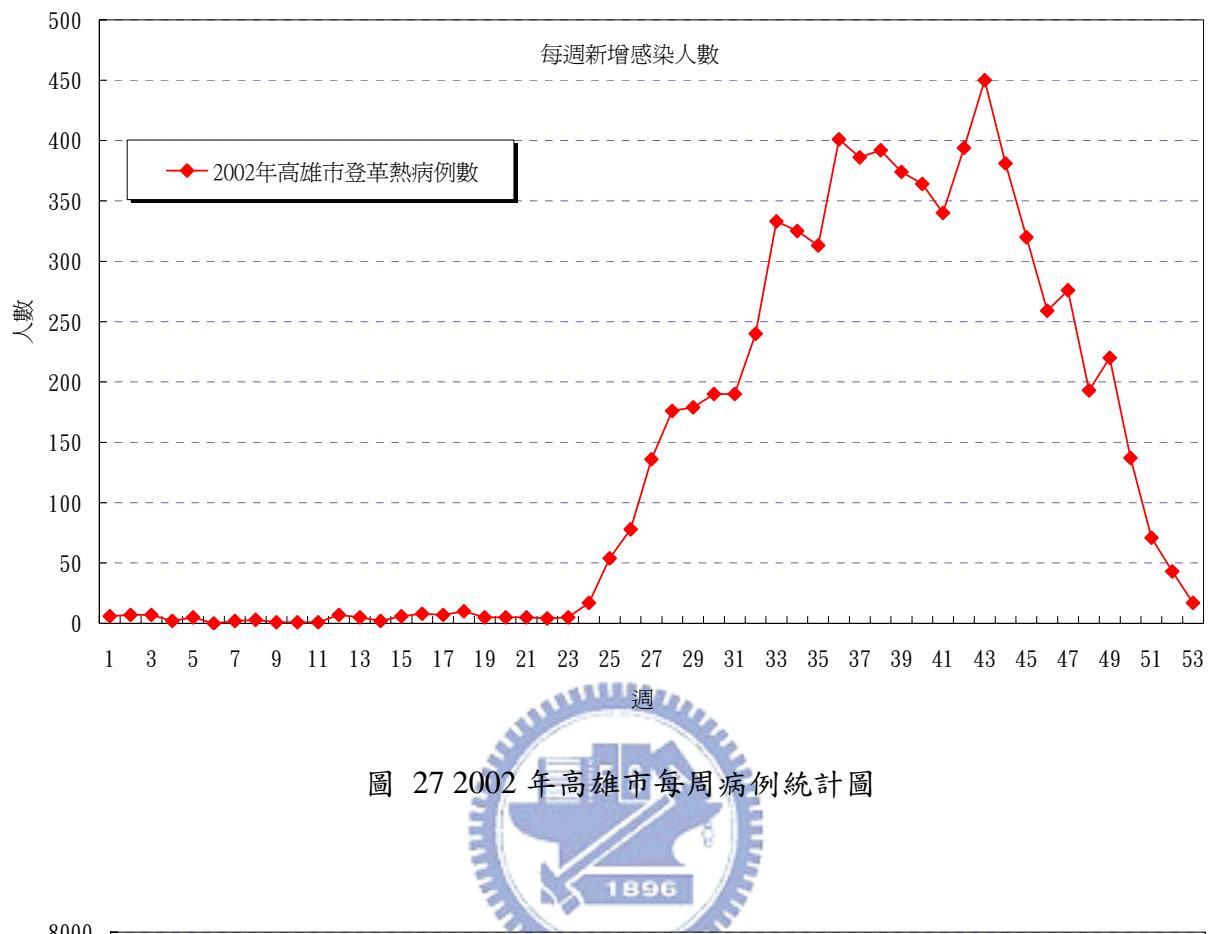


圖 28 2002 年高雄市累計病例統計圖

## 5.2 公衛政策

目前的政府所使用的公衛政策可分為三大方向，分別為病媒，環境及民眾。

(1)病媒：指的是清除病媒，在患者就醫後向上通報，相關單位會在 24 小時內就通報病例可能的感染地點及發病前停留地點實施噴藥撲殺病媒蚊，在模擬的程式中，我們以個體的分身點來表示這些通報病例可能的感染地點及發病前停留地點，針對這些地區來做減少病媒的動作。

(2)環境：改善環境的作法就是清除孳生源，將容易孳生病媒積水容器清除而減少病媒幼蟲，在模擬的程式中，我們以相關單位下令清除的時間點來做減少病媒的動作。

(3)民眾：宣導民眾若社區內有登革熱疫情發生時，當地民眾有類似症狀，如發燒、頭痛、出疹、肌肉酸痛或關節痛等症狀，立刻就醫或主動至轄區衛生所，要求採血檢驗，在模擬的程式中，我們調查染病者分身點所在地，若有染病或潛伏期卻沒有看醫生的個體，則主動讓此個體做看醫生的動作。

### 5.2.1 無公衛政策

為了證明公衛政策實施後的效果，我們先模擬了未實施任何公衛政策的疫情發展。如圖 25，可看出一開始的疫情走勢類似但九月後真實案例便趨平緩而未實施公衛政策的疫情曲線仍然上升，表示如果疫情沒有抑制將造成更多人感染疾病，所以公衛政策適時的下達對疫情的控制非常重要。

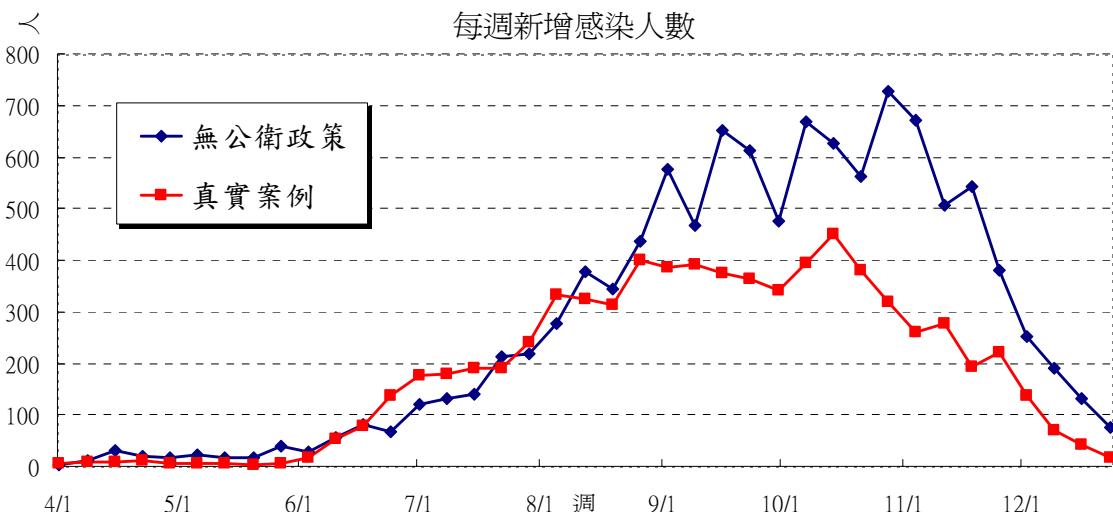


圖 29 2002 年真實案例與無公衛政策介入之比較

### 5.2.2 噴藥

清除病媒的方法為噴藥，選擇在通報病例可能的感染地點及發病前停留地點實施噴藥撲殺病媒蚊，一星期噴藥一次，連續三個星期，在模擬的程式中，以個體的分身點來表示通報病例可能的感染地點及發病前停留地點，針對這些地區來做減少病媒的動作。根據昆蟲系學者表示，一旦病媒蚊對藥產生了抗藥性，則噴藥就沒有效果了，2002 年高雄市的登革熱流行與病媒蚊之抗藥性關係很密切，當時主要使用的藥劑是麥多及賽百滅寧等，百滅寧為高雄地區噴藥用藥已久，根據研究發現百滅寧對病媒蚊已產生嚴重的抗藥性[6]，而病媒蚊抗藥性越高則死亡率越低，我們調整藥劑濃度對病媒蚊的死亡率，來比較不同強度的用藥對疫情的影響。百滅寧對病媒蚊處理死亡率為： $10\text{ ppm} : 1.67\%$ ； $10^4 \text{ ppm} : 32.19\%$ ； $3 * 10^4 \text{ ppm} : 67.81\%$ ； $6 * 10^4 \text{ ppm} : 88.33\%$ 。麥多賽對病媒蚊處理死亡率為： $0.1 \text{ ppm} : 3.33\%$ ； $1000 \text{ ppm} : 58.33\%$ ； $10^4 \text{ ppm} : 98.33\%$ 。

由圖 26 可知百滅寧需使用高濃度的劑量才能抑止疫情，由圖 27 可知另一種藥劑麥多賽撲滅病媒蚊的效果遠比百滅寧好，在圖 26 中可發現不同藥劑使用同濃度的時候麥多賽的效果遠好於同濃度百滅寧，也說明日後的登革熱防治工作應該捨棄百滅寧成份的藥而採用賽滅寧或其他種類的藥，採用無效的藥對疫情的防治是沒有結果反

而浪費資源的，所以一旦有登革熱流行，政府應先採集該區病媒蚊並用不同的藥來測試其抗藥性，再執行噴藥之公衛政策，可達到良好效果。

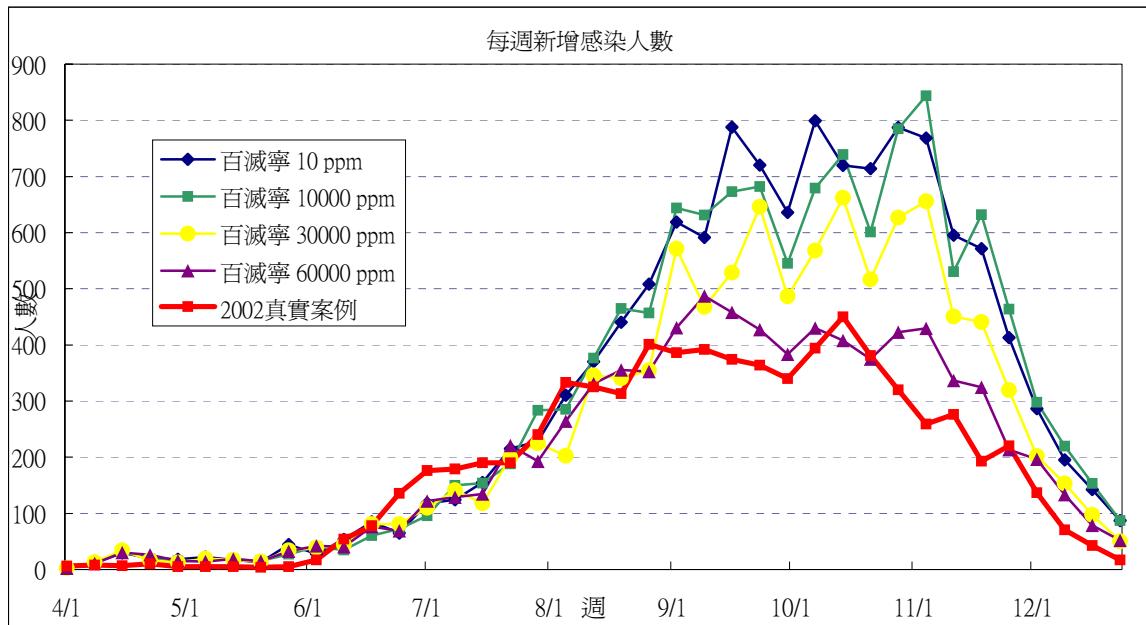


圖 30 使用百滅寧與疫情走向

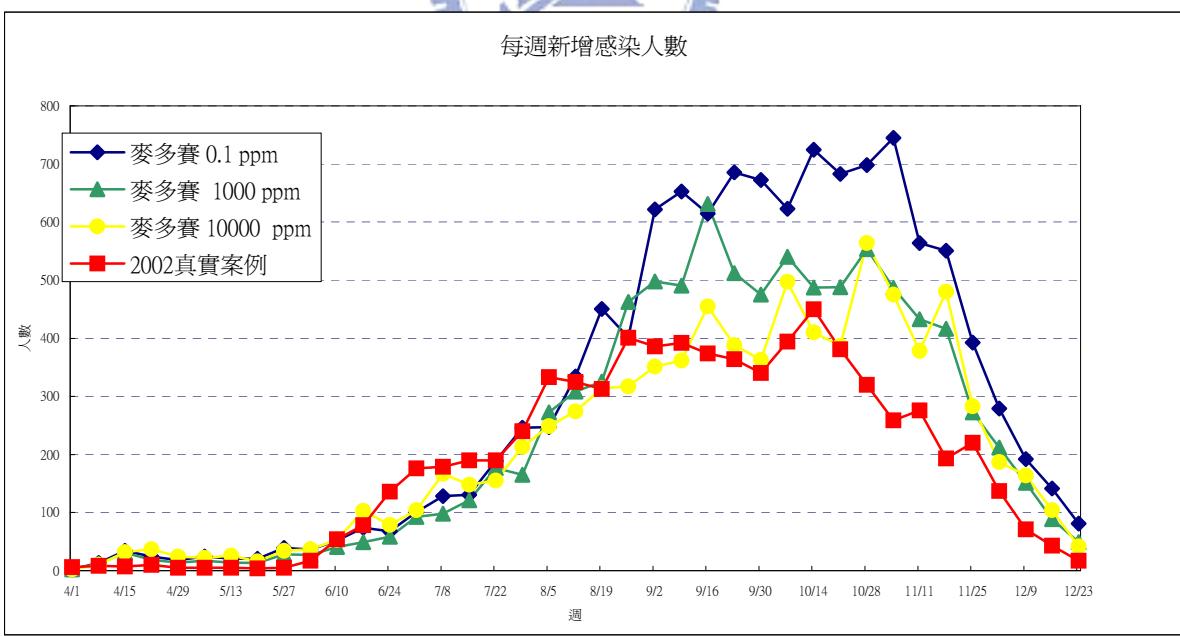


圖 31 使用麥多賽與疫情走向

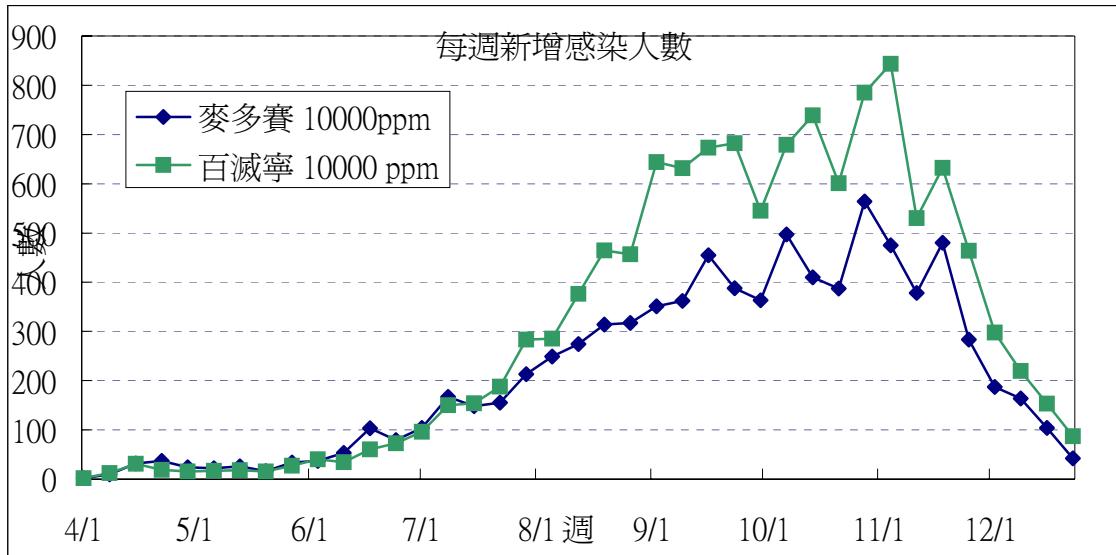


圖 32 不同藥劑對疫情的影響

### 5.2.3 清除孳生源

改善環境的方式為清除病媒蚊孳生源，是減少病媒幼蟲的最佳方法。在模擬的程式中表示的方法是根據相關單位下令做環境清潔的時間點去減少病媒數量，我們將噴藥可減少病媒蚊的想法運用在清除孳生源上，不同處為清除孳生源主要消滅的是病媒幼蟲，幼蟲成長至成蟲需兩週的時間，所以在程式中執行的時間點要比噴藥來的晚兩個星期。由圖 33 我們依政府發布的新聞稿中的時間，來執行清除孳生源的公衛政策，可看出執行清除孳生源後的感染人數較未實施公衛政策的模擬感染人數少，尤其在第二次清除孳生源後疫情走勢與真實案例相符，可知清除孳生源在 10 月後對於疫防治產生效果。

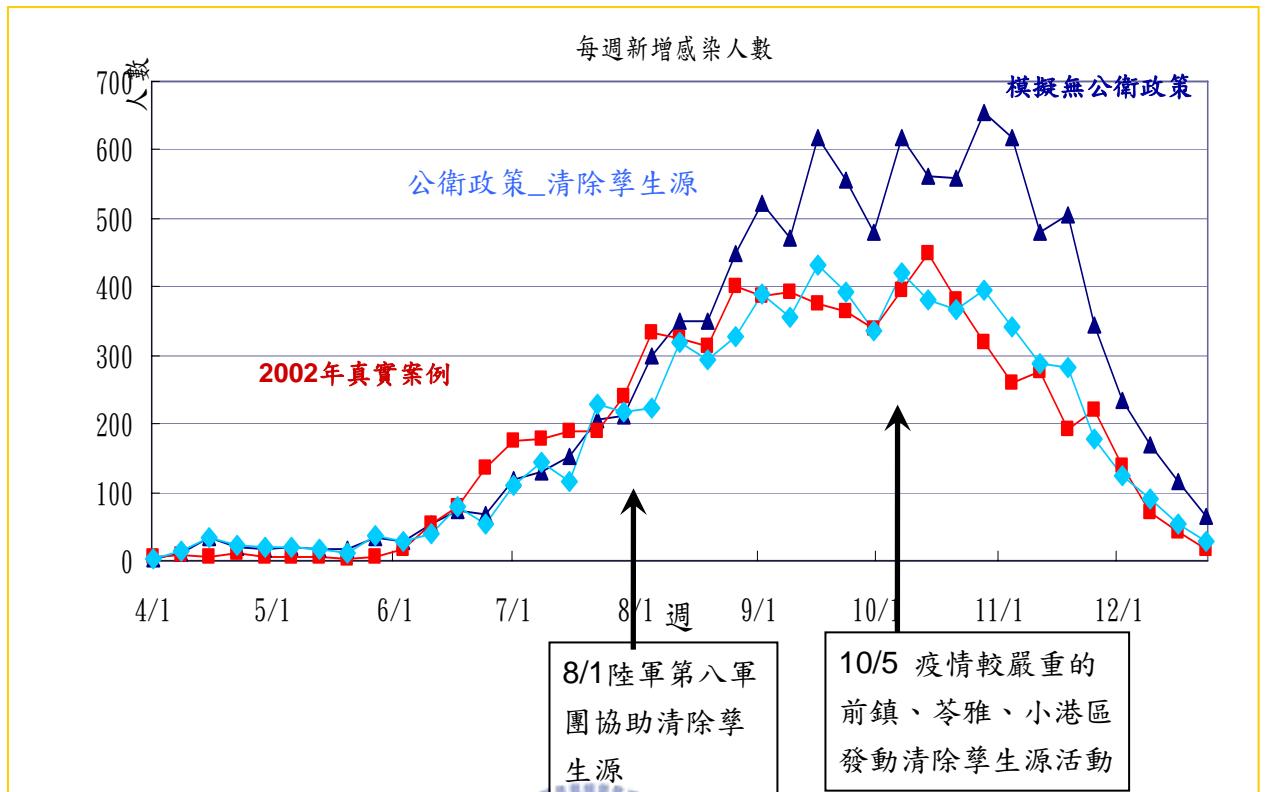


圖 33 2002 年真實案例執行清除孳生源公衛政策之比較



## 5.2.4 民眾宣導

由於登革熱是一種社區傳染病，社區內若有登革熱疫情發生，在這段時間中該地區若有民眾發生類似感冒症狀，如發燒、頭痛、出疹、肌肉酸痛或關節痛等，則宣導民眾盡速就醫或主動至轄區衛生所要求採血檢驗；此行為可以在登革熱疫情還未大規模擴散之前隔絕感染途徑。但民眾對於政策的宣導，配合程度不一，在此模擬民眾不同的配合程度與疫情擴散的影響。

在模擬系統中，模擬疫區民眾願意主動就醫的人數；當某地出現登革熱病患時，設定該地區分別有 3 人、6 人及 9 人願意主動就醫，代表此病患的家庭成員或鄰居因感到不適而主動就醫。如圖 24 可知多人主動就醫的結果，可以防止登革熱疫情的擴散；因為在此模擬中，可將已染病的病人及早找出，加以治療隔離，減少其可以傳播病毒的時間，而使疫情有效控制。由圖 30 也可以發現民眾經由政府宣導後而對登革熱疾病產生警覺性，一旦有發現類似的症狀時會選擇提早去就醫而不是放任不管，越多人願意主動就醫提早被發現帶有登革熱病毒，則感染人數就越少，越可以控制疫情，這是政府在清除環境孳生源及病媒蚊外，也可考慮推廣的一環。

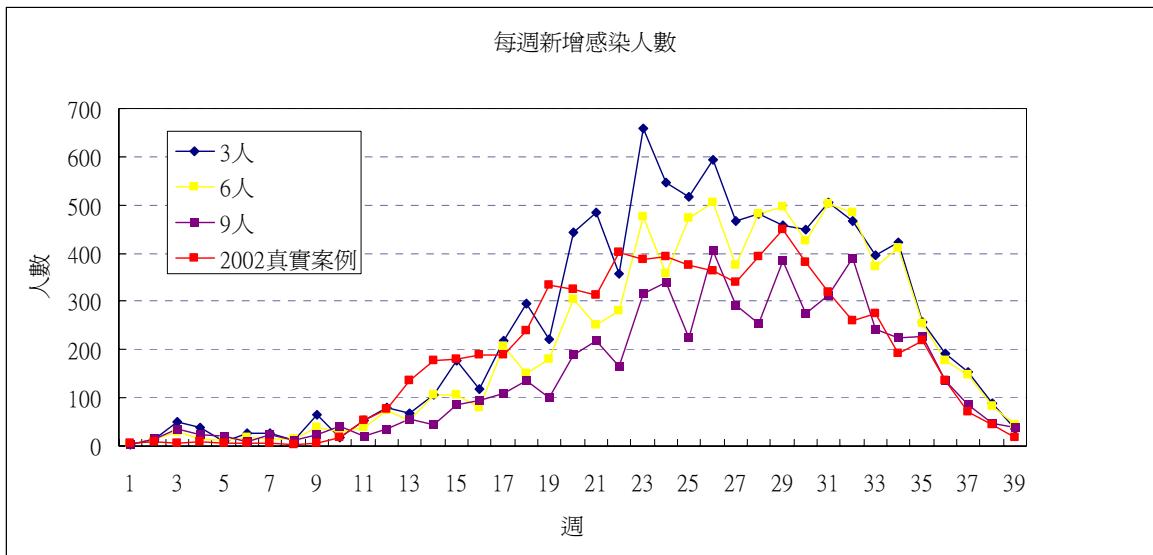


圖 34 民眾主動通報意願數與疫情曲線

## 5.2.5 與真實情況比較

將以上三項公衛政策依照政府發布的公衛政策執行時間去執行，以模擬 2002 年高雄市登革熱流行的結果，可以發現三種不同的公衛政策同步實施的情況下，模擬結果較不實施公衛政策的模擬結果更符合高雄市的流行情況，疫情防治的效果也越好。由圖 31 可知 10 月在執行一連串公衛政策之後，感染人數便下降了，與原本沒有執行公衛政策的疫情走向有很大差異，可見實施多種公衛政策對登革熱疫情的抑止是很有成效的，登革熱防治面涵蓋三個大方向，病媒蚊、環境及民眾，一旦發生了流行，若這三個方向有一個方向疏忽了，很可能造成防疫的漏洞，所以政府需多管齊下，考慮時間點，用藥量等因素，才能將登革熱真正撲滅。

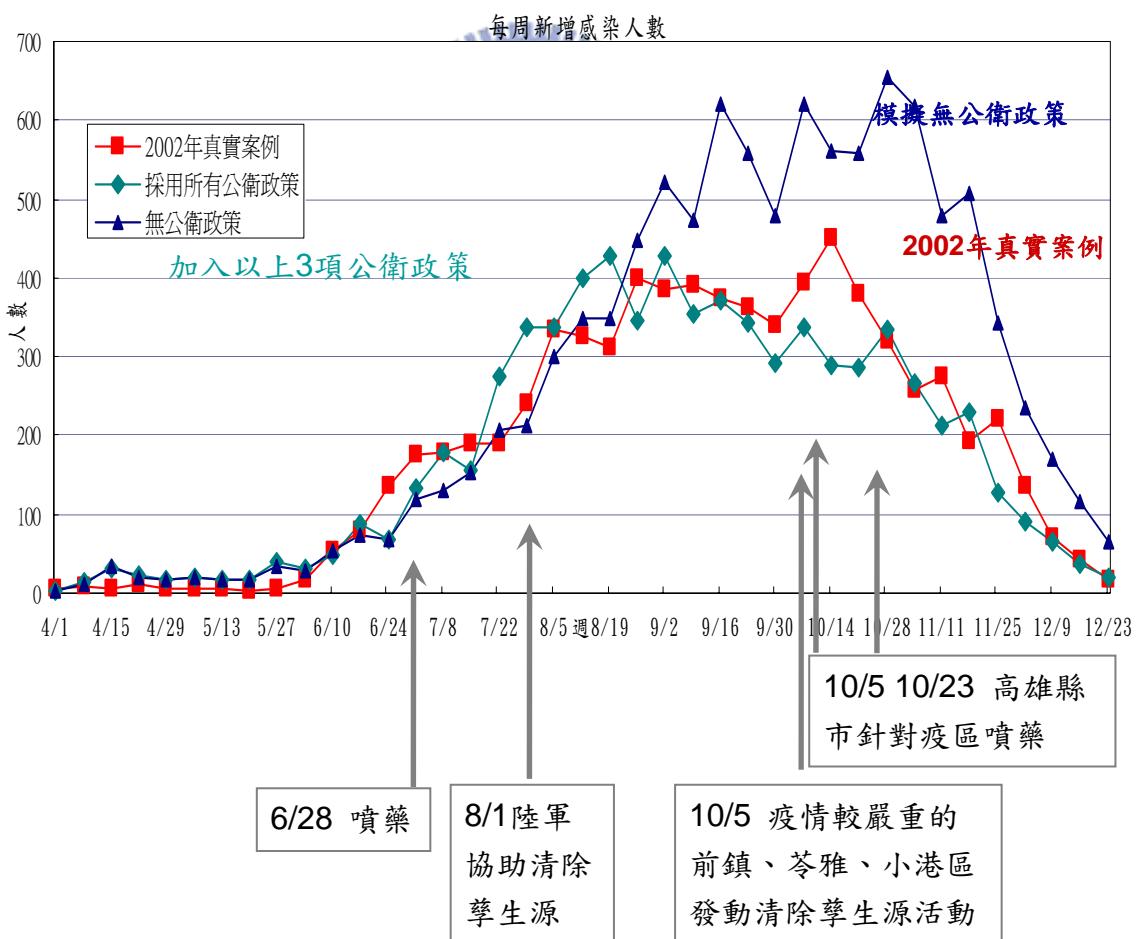


圖 35 2002 年真實案例執行噴藥及清除孳生源公衛政策之比較

## 6. 結論

此篇論文提出利用小世界網路及分身點概念來建立病媒性疾病模型，在模擬模型中，我們以代理人為基礎，利用社會分身點概念，來表現人類個體在現代都會生活中日常定點活動、長距離移動、高群聚度、低分隔度、區域群聚性等重要社會網絡拓樸特質。在病媒層面，我們則以區塊化模型來模擬病媒族群散佈在都會各區域的數量與族群間的數量轉移動態，建構一個適合用來模擬病媒性傳染疾病的傳播動態的電腦模擬，並以登革熱為例，根據登革熱疾病的參數及初始資料來模擬 2002 年高雄市登革熱流行的情形及有無公衛政策的狀況。在設定參數的值時，須以相關單位公佈的真實數據作為參數，且因登革熱的傳播與人口密度及病媒蚊密度息息相關，所以根據當地的人口來設定每個地區的人口數，以病媒蚊密度及病媒與個體之比例做參數的敏感度分析，利用侵襲率來校正而得到每單位地區的病媒蚊數量，再調整人類感染率即可模擬不同城市的狀況。由前面所建之參數表可知本模型已將所有數據參數化以方便模擬的設定，所以將參數根據各地真實情況輸入，則可使用在其他城市甚至其他的國家的都會區。



由實驗及參數分析的結果，我們可知病媒的數量的確會影響疾病的流行，如果數量未超過門檻值則疾病無法傳播，所以病媒的撲滅在防疫工作上非常重要。我們實驗了不同公衛政策對登革熱疫情的影響，有鑑於登革熱防治面涵蓋三個大方向，病媒蚊、環境及民眾，一旦發生了流行，若這三個方向有一個方向疏忽了，很可能造成防疫的漏洞，所以我們模擬了噴藥、清除孳生源及民眾宣導等公衛政策，來分析這政策的不同對登革熱疫情影響。由噴藥的多種參數模擬結果發現，一旦病媒蚊對於藥產生抗藥性，則感染人數還是居高不下，表示選擇沒有抗藥性的藥對登革熱疫情防控很重要，一旦有登革熱流行，政府應先採集該區病媒蚊並用不同的藥來測試其抗藥性，再執行噴藥之公衛政策。清除孳生源的實驗結果發現在政府執行的時間點上做清除孳生源的動作，可降低疫情。由民眾宣導的不同主動就醫人數之實驗可發現，民眾經由政府宣導後而對登革熱疾病產生警覺性，一旦有發現類似的症狀時會選擇提早去就醫而

不適放任不管。越多人在發病的早期就醫，則可藉由提早讓病人的住院隔離或掛蚊帳隔離來減少病人可傳播病毒的時期，進而減低感染的人數。最後實驗加入三種不同的公衛政策，再政府公佈的時間點去執行，可經由有無公衛政策的曲線發現公衛政策對於防疫的重要，再執行公衛政策後，疫情的曲線下降，與 2002 年真實案例相近，可知每種公衛政策都具有其重要性，也對登革熱都具又重大影響力。公衛政策的實施必須確切的執行，在模擬的系統中，公衛政策的實施以參數化的方式執行，一旦執行就能達到設定的成效，但在真實的世界中，政策實施方式以及防疫人員的執行成效，都會影響到公衛政策對於防疫的效果，在訂立各種政策的同時，也要加強政策的實施，否則再好的政策都無法有效的達到預期的防疫效果。

登革熱的歷史已有兩百年之久，然而卻沒有辦法完全消滅，許多熱帶及亞熱帶國家，都深受其害，在此我們模擬台灣高雄地區的登革熱流行，利用公衛政策的模擬對登革熱的防治上做一些比較及建議。登革熱疾病的消滅還需要政府相關人員及民眾一起努力來維護大家的生命健康，將登革熱杜絕。



## 7. 參考

- [1] 世界衛生組織(WHO), <http://www.who.int/en/>.
- [2] Kermack, W.O. and A.G. McKendrick, *A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics*. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, 1927. **115**(772): p. 700-721.
- [3] Huang, C.Y., et al., *Simulating SARS: Small-World Epidemiological Modeling and Public Health Policy Assessments*. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 2004. **7**(4).
- [4] Sumdodhee, C., Impact of social behaviors on epidemiological models: A Computer Simulation on HIV Epidemic 2005.
- [5] Gubler, D.J., Epidemic dengue/dengue hemorrhagic fever as a public health, social and economic problem in the 21st century. Trends Microbiol, 2002. **10**(2): p. 100–3.
- [6] 陳幼雪, 埃及斑蚊對藥劑的感受性試驗及登革熱病媒指數與實際斑紋密度之關係, in 生命科學所. 2003, 中興大學.
- [7] Simmons, J.S., J.H.S. John, and F.H.K. Reynolds, *Experimental studies of dengue*. 1931: Manilla, Bureau of printing.
- [8] Gubler, D.J., Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever.
- [9] 林鼎翔等, 疫情報導 高雄市鼓山區野生台灣獼猴棲息地文類感染登革熱病毒之研究. 1993. **9**.
- [10] Anderson, R.M. and R.M.C. May, *Infectious diseases of humans: dynamics and control*. 1991: Oxford University Press.
- [11] Liew, C. and C.F. Curtis, Horizontal and vertical dispersal of dengue vector mosquitoes, *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*, in Singapore. Medical and Veterinary

Entomology, 2004. **18**(4): p. 351-360.

[12]李翠瓊, 黃., 2004 年台灣地區登革熱疫情防治報告. 疫情報導, 2005. **21**(6): p. 385.

[13]Focks, D.A., et al., Transmission thresholds for dengue in terms of Aedes aegypti pupae per person with discussion of their utility in source reduction efforts. The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 2000. **62**(1): p. 11-18.

[14]Watts, D.J. and S.H. Strogatz, *Collective dynamics of small-world'networks*. Nature, 1998. **393**(6684): p. 409-10.

[15]蔡瑜珍, 社區意識與整體環境維護的登革熱防治觀點一個針對高雄市的社區比較研究, in 衛生政策與管理研究所. 2004, 台大.

[16]Li, M.Y. and L. Wang, Global stability in some SEIR epidemic models. Preprint, 2000.

[17]許惠美, 登革熱-台灣南部的防疫重點.

[18]高雄市政府網站, <http://www.kcg.gov.tw/>.

[19]行政院疾病管制局, <http://www.cdc.gov.tw/>.

[20]Patz, J.A., et al., Dengue fever epidemic potential as projected by general circulation models of global climate change. Environ Health Perspect, 1998. **106**(3): p. 147-53.

[21]Dobson, A. and J. Foufopoulos, *Emerging diseases of wildlife*. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 2001. **356**: p. 1001-2.

[22]Massad, E., et al., Dengue and the risk of urban yellow fever reintroduction in Sao Paulo State, Brazil. Rev Saude Publica, 2003. **37**(4): p. 477-84.

[23]Rogers, D.J., et al., *Satellite imagery in the study and forecast of malaria*. Nature,

2002. **415**: p. 710-715.

[24] Feng, Z.E. and J.X.E. Velasco-Hernandez, *Competitive exclusion in a vector-host model for the dengue fever*. Journal of Mathematical Biology, 1997. **35**(5): p. 523-544.

[25] 吳民惠, 2001~2003 年台灣南部地區登革熱登革出血熱的流行病學探討. 1994.

[26] 行政院環保署 - 地方環境資料庫 - 高雄市 - 人口指標 ,  
<http://ivy2.epa.gov.tw/envdb/KaohsiungCity/index.asp>.



## 附錄

### 附錄 1 高雄市各里人口數

行政區	總計人數	行政區	總計人數	行政區	總計人數	行政區	總計人數
三民區九如里	98	鼓山區雄峰里	2,755	前鎮區_竹北里	2,802	苓雅區_人和里	2,316
三民區力行里	1,427	鼓山區新民里	1,488	前鎮區_竹西里	5,197	苓雅區_中正里	3,638
三民區十全里	1,989	鼓山區裕興里	3,727	前鎮區_竹東里	2,703	苓雅區_五福里	4,828
三民區十美里	2,331	鼓山區裕豐里	3,009	前鎮區_竹南里	3,828	苓雅區_五權里	2,447
三民區千北里	1,614	鼓山區鼓岩里	1,768	前鎮區_西山里	4,354	苓雅區_仁政里	1,626
三民區千秋里	2,945	鼓山區鼓峰里	2,673	前鎮區_西甲里	2,371	苓雅區_文昌里	4,929
三民區千歲里	1,426	鼓山區壽山里	1,982	前鎮區_良和里	3,407	苓雅區_日中里	2,748
三民區川東里	2,397	鼓山區綠川里	1,933	前鎮區_忠孝里	2,851	苓雅區_正大里	6,184
三民區本上里	6,725	鼓山區維生里	1,753	前鎮區_忠純里	5,896	苓雅區_正仁里	3,389
三民區本元里	6,477	鼓山區樹德里	1,479	前鎮區_忠誠里	2,619	苓雅區_正心里	4,569
三民區本文里	2,669	鼓山區興宗里	1,757	前鎮區_忠誠里	2,619	苓雅區_正文里	2,293
三民區本安里	5,982	鼓山區龍子里	8,689	前鎮區_明正里	4,181	苓雅區_正言里	3,500
三民區本和里	8,219	鼓山區龍井里	1,781	前鎮區_明孝里	3,242	苓雅區_正義里	3,361
三民區本武里	2,147	鼓山區龍水里	5,459	前鎮區_明義里	2,834	苓雅區_正道里	5,365
三民區本揚里	10,282	鼓山區麗興里	1,378	前鎮區_明道里	1,485	苓雅區_民主里	4,748
三民區本館里	9,966	鼓山區寶樹里	1,547	前鎮區_明禮里	2,061	苓雅區_永康里	2,983
三民區正順里	4,340	鹽埕區_中山里	1,429	前鎮區_信義里	1,940	苓雅區_田西里	1,683
三民區正興里	13,000	鹽埕區_中原里	919	前鎮區_信德里	3,061	苓雅區_光華里	964
三民區民享里	2,647	鹽埕區_光明里	1,599	前鎮區_前鎮里	1,954	苓雅區_同慶里	3,205
三民區立業里	1,326	鹽埕區_江西里	1,560	前鎮區_建隆里	1,066	苓雅區_安祥里	3,012
三民區立誠里	1,109	鹽埕區_江南里	1,150	前鎮區_振興里	2,525	苓雅區_和煦里	2,726
三民區立德里	1,636	鹽埕區_沙地里	1,384	前鎮區_草衙里	11,594	苓雅區_尚義里	1,876
三民區同德里	3,484	鹽埕區_育仁里	1,033	前鎮區_盛興里	3,044	苓雅區_林中里	4,041
三民區安生里	1,997	鹽埕區_府北里	2,300	前鎮區_盛豐里	3,496	苓雅區_林安里	2,048
三民區安吉里	5,746	鹽埕區_河濱里	2,419	前鎮區_復國里	3,554	苓雅區_林西里	2,217
三民區安邦里	4,978	鹽埕區_南端里	1,470	前鎮區_瑞文里	3,202	苓雅區_林南里	3,889
三民區安和里	3,432	鹽埕區_教仁里	2,759	前鎮區_瑞北里	3,673	苓雅區_林泉里	2,508
三民區安宜里	4,070	鹽埕區_陸橋里	1,509	前鎮區_瑞平里	5,537	苓雅區_林園里	3,029
三民區安東里	4,084	鹽埕區_博愛里	896	前鎮區_瑞竹里	1,757	苓雅區_林富里	2,548
三民區安泰里	4,881	鹽埕區_港都里	1,493	前鎮區_瑞西里	3,140	苓雅區_林華里	3,939
三民區安康里	3,685	鹽埕區_慈愛里	582	前鎮區_瑞和里	2,864	苓雅區_林貴里	1,825
三民區安發里	5,697	鹽埕區_新化里	890	前鎮區_瑞昌里	3,657	苓雅區_林靖里	2,105
三民區安寧里	2,453	鹽埕區_新樂里	1,179	前鎮區_瑞東里	3,422	苓雅區_林榮里	5,303
三民區長明里	1,470	鹽埕區_新豐里	738	前鎮區_瑞南里	6,733	苓雅區_林德里	2,263
三民區建東里	1,352	鹽埕區_壽星里	1,614	前鎮區_瑞崙里	3,304	苓雅區_林興里	1,858

三民區博惠里	5,089	鹽埕區_藍橋里	1,638	前鎮區_瑞祥里	7,305	苓雅區_城北里	1,973
三民區博愛里	1,492	鹽埕區_瀨南里	865	前鎮區_瑞華里	5,905	苓雅區_城西里	846
三民區港北里	400	小港區_二苓里	4,654	前鎮區_瑞隆里	5,024	苓雅區_城東里	2,507
三民區港西里	998	小港區_三苓里	3,694	前鎮區_瑞誠里	3,343	苓雅區_奏捷里	2,100
三民區港東里	1,748	小港區_大坪里	1,974	前鎮區_瑞興里	3,427	苓雅區_建軍里	2,760
三民區港新里	1,783	小港區_大苓里	3,195	前鎮區_瑞豐里	3,808	苓雅區_美田里	1,509
三民區裕民里	1,327	小港區_小港里	2,619	前鎮區_德昌里	2,470	苓雅區_英明里	2,744
三民區達仁里	1,866	小港區_山明里	10,014	前鎮區_興中里	3,793	苓雅區_苓中里	2,070
三民區達明里	2,236	小港區_山東里	2,882	前鎮區_興仁里	1,038	苓雅區_苓昇里	1,699
三民區達勇里	1,354	小港區_中厝里	4,101	前鎮區_興化里	902	苓雅區_苓東里	1,964
三民區達德里	1,799	小港區_六苓里	3,006	前鎮區_興邦里	2,722	苓雅區_苓洲里	1,597
三民區鼎力里	4,595	小港區_孔宅里	4,374	前鎮區_興東里	6,537	苓雅區_苓雅里	1,836
三民區鼎中里	4,193	小港區_正苓里	4,953	前鎮區_鎮中里	1,067	苓雅區_凱旋里	2,526
三民區鼎西里	7,871	小港區_合作里	3,113	新興區_大明里	1,459	苓雅區_博仁里	762
三民區鼎金里	4,001	小港區_宏亮里	4,097	新興區_中東里	3,601	苓雅區_普天里	3,684
三民區鼎泰里	23,504	小港區_坪頂里	3,030	新興區_仁聲里	1,101	苓雅區_普照里	3,185
三民區鼎強里	4,612	小港區_店鎮里	7,221	新興區_文昌里	3,429	苓雅區_晴朗里	2,289
三民區鼎盛里	8,139	小港區_松山里	2,990	新興區_正氣里	1,939	苓雅區_朝陽里	1,973
左營區中北里	895	小港區_松金里	3,076	新興區_永寧里	1,809	旗津區_上竹里	3,335
左營區中南里	713	小港區_青島里	2,633	新興區_玉衡里	1,301	旗津區_中洲里	2,150
左營區永清里	2,663	小港區_桂林里	8,951	新興區_光耀里	3,035	旗津區_中華里	1,713
左營區光輝里	3,234	小港區_泰山里	3,485	新興區_成功里	1,458	旗津區_中興里	2,978
左營區合群里	1,530	小港區_海昌里	1,055	新興區_明莊里	994	旗津區_北汕里	3,179
左營區自立里	27	小港區_海城里	1,212	新興區_東坡里	1,600	旗津區_永安里	1,388
左營區自助里	2,749	小港區_海原里	1,145	新興區_長驛里	1,212	旗津區_安順里	1,147
左營區自治里	104	小港區_海澄里	1,920	新興區_南港里	2,824	旗津區_南汕里	2,329
左營區自勉里	46	小港區_海豐里	838	新興區_建華里	1,079	旗津區_振興里	2,162
左營區尾北里	3,718	小港區_高松里	4,053	新興區_建興里	1,062	旗津區_復興里	3,701
左營區尾西里	1,421	小港區_港口里	4,513	新興區_秋山里	1,106	旗津區_慈愛里	2,776
左營區尾南里	990	小港區_港正里	3,470	新興區_振成里	1,629	旗津區_實踐里	1,662
左營區明建里	1,748	小港區_港后里	2,999	新興區_振華里	1,575	旗津區_旗下里	1,538
左營區果峰里	2,186	小港區_港明里	4,424	新興區_浩然里	2,337	楠梓區_久昌里	3,068
左營區果惠里	1,939	小港區_港南里	2,690	新興區_華聲里	1,280	楠梓區_大昌里	2,620
左營區果貿里	2,253	小港區_港墘里	2,425	新興區_開平里	4,102	楠梓區_中和里	2,319
左營區城南里	670	小港區_港興里	3,086	新興區_順昌里	2,617	楠梓區_中陽里	3,755
左營區屏山里	1,788	小港區_順苓里	5,779	新興區_愛平里	1,068	楠梓區_中興里	1,455
左營區海勝里	7,236	小港區_廈莊里	2,728	新興區_新江里	1,418	楠梓區_五常里	6,530
左營區埠北里	1,668	小港區_鳳林里	2,842	新興區_榮治里	1,090	楠梓區_仁昌里	4,860
左營區埠西里	1,278	小港區_鳳宮里	2,809	新興區_漢民里	1,064	楠梓區_加昌里	8,639
左營區埠東里	1,589	小港區_鳳森里	2,151	新興區_德生里	3,535	楠梓區_玉屏里	2,914
左營區崇實里	1,267	小港區_鳳源里	3,383	新興區_德政里	913	楠梓區_宏昌里	3,546

左營區祥和里	647	小港區_鳳鳴里	2, 991	新興區_德望里	2, 545	楠梓區_宏南里	2, 096
左營區莒光里	2, 232	小港區_鳳興里	2, 278	新興區_黎明里	1, 150	楠梓區_宏榮里	3, 100
左營區頂北里	699	小港區_龍鳳里	2, 910	新興區_興昌里	2, 339	楠梓區_宏毅里	3, 960
左營區頂西里	1, 400	小港區_濟南里	4, 546	新興區_蕉園里	959	楠梓區_秀昌里	2, 901
左營區復興里	1, 367	前金區三川里	914	鼓山區山下里	1, 635	楠梓區_享平里	3, 899
左營區菜公里	27, 809	前金區文西里	1, 301	鼓山區內惟里	1, 491	楠梓區_和昌里	2, 826
左營區進學里	2, 489	前金區文東里	1, 647	鼓山區平和里	4, 193	楠梓區_東寧里	3, 437
左營區新下里	13, 772	前金區北金里	1, 103	鼓山區正德里	2, 486	楠梓區_金田里	4, 067
左營區新上里	28, 171	前金區民生里	904	鼓山區民強里	3, 531	楠梓區_建昌里	3, 228
左營區新中里	6, 143	前金區東金里	1, 183	鼓山區民族里	1, 880	楠梓區_泰昌里	1, 898
左營區新光里	13, 456	前金區林投里	1, 508	鼓山區光化里	1, 767	楠梓區_國昌里	4, 764
左營區聖后里	1, 036	前金區社西里	1, 471	鼓山區光榮里	4, 835	楠梓區_清豐里	16, 757
左營區聖西里	461	前金區社東里	2, 111	鼓山區自強里	940	楠梓區_盛昌里	6, 298
左營區聖南里	686	前金區長生里	1, 855	鼓山區延平里	1, 164	楠梓區_惠民里	4, 396
左營區路東里	957	前金區長城里	1, 744	鼓山區忠正里	5, 088	楠梓區_惠楠里	3, 726
左營區福山里	33, 940	前金區長興里	1, 344	鼓山區明誠里	17, 069	楠梓區_惠豐里	4, 358
左營區廟北里	1, 247	前金區青山里	1, 773	鼓山區河邊里	1, 938	楠梓區_隆昌里	4, 423
左營區廟東里	1, 077	前金區後金里	1, 157	鼓山區前峰里	5, 505	楠梓區_瑞屏里	4, 428
前鎮區_仁愛里	1, 673	前金區草江里	1, 373	鼓山區厚生里	3, 480	楠梓區_稔田里	2, 065
前鎮區_平昌里	839	前金區國民里	1, 376	鼓山區建國里	2, 796	楠梓區_裕昌里	4, 566
前鎮區_平等里	2, 966	前金區博孝里	1, 210	鼓山區哨船頭	1, 414	楠梓區_福昌里	2, 395
前鎮區_民權里	5, 491	前金區復元里	1, 306	鼓山區峰南里	1, 303	楠梓區_翠屏里	15, 566
前鎮區_竹中里	3, 758	前金區新生里	3, 857	鼓山區桃源里	749	楠梓區_廣昌里	3, 840
前鎮區_竹內里	3, 314	前金區榮復里	1, 558	鼓山區惠安里	1, 732	楠梓區_慶昌里	4, 147
鼓山區華豐里	4, 917	楠梓區_錦屏里	4, 194	鼓山區登山里	935	楠梓區_興昌里	4, 659

## 附錄 2 巴西地區的 $R_0$ 值

The number of dengue cases, the Basic Reproduction Number for dengue and yellow fever and the correspondent proportion to vaccinate against yellow fever to prevent and epidemic.  
São Paulo State, 2001[22].

City	Dengue cases	R0 dengue	R0 yellow fever	Pc
Andradina	1,414	4.26	2.43	0.59
Araçatuba	450	3.25	1.86	0.28
Araraquara	196	3.8	2.17	0.54
BarraBonita	160	10.33	5.90	0.83

Barretos	3,045	3.91	2.23	0.55
Barueri	414	4.74	2.71	0.63
Bastos	46	4.62	2.64	0.62
Bauru	94	3.36	1.92	0.48
Bebedouro	478	4.14	2.37	0.58
Birigui	64	2.84	1.62	0.38
Borborema	477	7.75	4.43	0.77
Cajobi	307	6.03	3.45	0.71
Campinas	439	3.36	1.92	0.48
Castilho	254	4.26	2.43	0.59
Catanduva	111	3.47	1.98	0.50
Catigua	69	4.62	2.64	0.62
Colina	444	3.15	1.80	0.44
Colômbia	93	2.74	1.57	0.36
Cubatão	2,504	4.26	2.43	0.59
Dracena	48	3.25	1.86	0.46
Espírito Santo do Pinhal	42	4.74	2.71	0.63
Fernandópolis	542	4.03	2.30	0.57
Fernando Prestes	44	6.59	3.77	0.73
Franca	64	4.14	2.37	0.58
Guaíra	944	5.63	3.22	0.69
Guarujá	2,857	6.59	3.77	0.73
Hortolândia	89	2.84	1.62	0.38
Ibitinga	51	2.84	1.62	0.38
Igarapava	296	4.62	2.64	0.62
Ilha Solteira	386	7.16	4.09	0.76
Indaiatuba	49	3.25	1.86	0.46
Itápolis	55	3.04	1.74	0.42
Ituverava	189	4.26	2.43	0.59
Jaboticabal	109	6.45	3.69	0.73
Jardinópolis	1,874	6.03	3.45	0.71
José Bonifácio	51	3.8	2.17	0.54
Limeira	704	4.03	2.30	0.57
Lins	125	4.38	2.50	0.60
Maracai	191	11.57	6.61	0.85
Miguelópolis	190	5.12	2.93	0.66
Mirassol	1,574	5.37	3.07	0.67
Monte Aprazível	44	3.8	2.17	0.54
Neves Paulista	58	4.03	2.30	0.57
Noval Independência	54	4.03	2.30	0.57
Olímpia	772	3.36	1.92	0.48
Osvaldo Cruz	146	8.06	4.61	0.78
Paulo de Faria	197	4.26	2.43	0.59
Penápolis	138	4.62	2.64	0.62
Piracicaba	355	3.36	1.92	0.48
Pontal	449	3.47	1.98	0.50
Praia Grande	278	3.47	1.98	0.50
Ribeirão Preto	2,703	4.99	2.85	0.65
Rio Claro	105	4.03	2.30	0.57

Riolândia	87	4.03	2.30	0.57
SantaBárbara	79	4.03	2.30	0.57
Santos	11,282	4.99	2.85	0.65
SãoJosédoRioPreto	6,420	5.77	3.30	0.70
SãoJoaquimdaBarra	139	5.24	2.99	0.67
SãoPaulo	320	6.59	3.77	0.73
SãoSebastião	445	7.16	4.09	0.76
SãoVicente	3,017	5.9	3.37	0.70
Sertãozinho	743	4.38	2.50	0.60
Sumaré	154	3.58	2.05	0.51
Valparaíso	163	7.6	4.34	0.77

### 附錄 3 高雄市人口統計表

高雄市人口統計表

年度	總人口數	男	女
84 年底	1,426,035	727,489	698,546
85 年底	1,433,621	729,813	703,808
86 年底	1,436,142	730,164	705,978
87 年底	1,462,302	742,146	720,156
88 年底	1,475,505	746,996	728,509
89 年底	1,490,560	752,776	737,784
90 年底	1,494,457	754,030	740,427
91 年底	1,509,510	760,228	749,282
92 年底	1,509,350	758,717	750,633
93 年底	1,512,677	759,006	753,671

### 附錄 4 高雄市人口動態分析

#### 4.1 人口動態

出生、死亡與社會增加是人口變遷的 3 大要素。出生、死亡相抵後所增減人數之差稱為自然增加(減少)。社會增加乃遷入、遷出本市相抵後之淨增減人數。

#### 4.2 自然增加率

(1) 出生率：民國 91 年高雄市共出生嬰兒 15,458 人，平均每天出生 42 個嬰兒，平均每 34.00 分就有 1 個嬰兒出生。出生率為 0.93%，死亡率為 0.53%，相抵後自然增加為 0.40%，與上年比較自然增加率減少 0.06%。91 年之出生率為 0.93%。

(2) 死亡率：高雄市近 15 年死亡率均維持在 0.38% 至 0.48%，變動幅度尚稱穩定。

(3) 自然增加率：高雄市自然增加率由民國 63 年 2.09%，逐年降低且均在 2% 以下，惟 65 年因屬龍年突增至 2.29%，至 91 年降至 0.93%。顯示高雄市人口之自然增加已漸緩和。（行政院環保署-地方環境資源-高雄市人口指標[26]）

