

# 國立交通大學

## 理學院應用科技學程

### 碩士論文

利用複雜網路模擬新型流感爆發  
對科學園區的影響

Impact of novel influenza Outbreak in the Science-Park  
using network-oriented simulation model

研究生：汪哲強

指導教授：孫春在 教授

中華民國九十七年六月

利用複雜網路模擬新型流感爆發對科學園區的影響

Impact of novel influenza Outbreak in the Science-Park

using network-oriented simulation model

研究生：汪哲強

Student : Che-Chiang Wang

指導教授：孫春在

Advisor : Chuen-Tsai Sun

國立交通大學

理學院應用科技學程

碩士論文

A Thesis

Submitted to Degree Program of Applied Science and Technology

College of Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Degree Program of Applied Science and Technology

June 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年六月

# 利用複雜網路模擬新型流感爆發 對科學園區的影響

學生：汪哲強

指導教授：孫春在 博士

國立交通大學理學院應用科技學程碩士班

## 中文摘要

根據世衛組織截至 2008 年 4 月 30 日統計，H5N1 流感從 2003 年起至今全球總計 14 國確診 382 例，其中 241 例死亡，致死率為 63%。H5N1 目前還在禽傳人的階段，若 H5N1 病毒發展為像普通流感一樣具有人傳人的傳染性，則可能發生大流行；世衛組織使用了一個相對保守的估算：全球 200 萬至 740 萬人死亡，有可能真正的疫情遠高於此估算。

本論文的電腦建模範圍著重在一個特定的工作區域：科學園區，而非一個城市或是國家，而本論文模擬的科學園區為竹科、中科、南科此類的大型科學園區，為何要以科學園區來做為主要研究範圍？

因為經濟面影響重大，僅竹科 2007 年總產值約 1.14 兆元，就占台灣工業總產值的十分之一。且科學園區在台灣有如科技產業的火車頭，若不保，對於未來科技業的發展必然受阻。

科學園區還有和一個城市或是國家所不同的獨特性，即上中下游產業都群聚在一個特定範圍內，具有多種產業的高度群聚度，日常生活接觸網路的低分隔度，以及人員接觸數量的冪次率分佈；科學園區外來人口多，人員來自台灣各地及外國，常會因回家、出差、旅行而對外連結，若爆發疫情容易在向台灣各地及全世界蔓延擴散，影響之大，不可不慎；所以，我們有必要對新型流感爆發對科

學園區有何影響進行分析研究，為避免模擬範圍太大而致研究失真，本研究以竹科為取樣點，探討科學園區的新型流感傳播動態，並評估公衛政策的成效。

我們依竹科工作人員行業人口比例進行抽樣問卷調查，藉以對竹科社會網路做合理的數據設定；利用二分關聯網路、社會分身點概念，來表達人類與場所之間的關聯，從中轉換成新型流感傳播動態電腦模擬模型專用的日常生活接觸網路，與新型流感監測系統專用的場所關聯網路，結合過去流行病學領域用來粗估季節性流感傳播動態的 SEIR 模型，建立科學園區日常生活接觸網路。

然後模擬季節性流感、新型流感在科學園區的傳播動態，並以台灣區 2002~2007 年的流感真實通報數據來驗證模型結果，最後模擬公衛政策介入的效果評估，提供衛生決策單位可以及時採用的適當策略，減低新型流感爆發對科學園區的損害，確保台灣經濟成長及科技業發展。

關鍵字：複雜網路、小世界網路、電腦建模，疾病模擬，二分關聯網路、新型流感、日常生活接觸網路、場所關聯網路、社會分身點。

# Impact of novel influenza Outbreak in the Science-Park using network-oriented simulation model

Student: Che-Chiang Wang

Advisor: Dr. Chuen-Tsai Sun

Master Thesis Submitted to Degree Program of Applied Science and  
Technology  
College of Science  
National Chiao Tung University

## ABSTRACT

Up to count by will it be April 30 2008, H5N1 influenza from 2003 so far global total 14 country make a definite diagnosis of 382 according to WHO, among them 241 die, the causing death rate is 63%. H5N1 is still at the birds successor's stage at present, if H5N1 virus develops into as with successors of people and infective as ordinary influenza. May happen greatly popularly; WHO has used a relatively conservative estimation: 2 million to 7.4 million persons in the world die, the probably real epidemic situation is higher than this estimation far.

The computer of this thesis builds and encloses exemplarily in the area of a specific job emphatically: Science-Park, but not a city or the country, and for the large-scale science park of Hsinchu, Taichung, Tainan in the science park of this thesis simulation, why do it for main research range with the Science-Park?

Because influence is great economy, only Hsinchu Science-Park is about NT 1.14 trillion of gross output value in 2007, accounts for 1/10 of total industrial output value of Taiwan. And the Science-Park is in locomotive engine like the scientific and technological industry of Taiwan, if does not protect, must be obstructed the

development of the science and technology industry in the future.

There is and a city or the different uniqueness of countries in Science-Park, namely go to industry's all clustering of upper and midstream and downstream in a specific range, have height clustering degree of many kinds of industries, daily life contact network low degree of separation, and personnel are exposed to the quantity of power-low distributed; The Science-Park has a large population outsiders, The personnel comes from Taiwan each place and the foreign country, Will often link to the outside because of going home, going on business, traveling. If it is easy to break into the epidemic situation and spread that all parts and the whole world of Taiwan, influence is big, must be cautious. Therefore, our necessary for novel influenza has any influence to analyse and research to the Science-Park to break out, causing the distortion of studying for preventing the simulation range from being too great, this research is clicked in order to take a sample with Hsinchu Science-Park, the novel influenza of probing into the science park propagates the trends, assess the common effect of defending the policy.

We carry on the sampling questionnaire survey according to the Hsinchu Science-Park staff profession population proportion, so as to making rational data to set up the social network of Hsinchu Science-Park; Using dichotomize related networks and Social Mirror Identity Concept, is it express mankind and relation of place to come, change into the novel influenza and propagate the special-purpose daily life of simulation model of the dynamic computer and contact the network from it, with the special-purpose related network of place of monitoring system of the novel influenza, combine over the epidemiology field and use and estimate the seasonal influenza to propagate dynamic SEIR model thickly, set up the daily life and contact network of Science-Park.

Then the spread trends in the Science-Park of seasonal influenza, novel influenza of simulation, and with the influenza in 2002~2007 of Taiwan district really data verify the result of models, Simulation common to defend result that policy get involved assess, Provides suitable strategy which the hygienic decision-making unit may promptly use, decreases the novel influenza to erupt to the Science-Park harm, guarantees the Taiwan economy growth and the science and technology industry development.

Key word : complex network, small world network , computer modeling , disease simulation, dichotomize related networks , novel influenza , daily life are exposed to the network , dichotomize related networks , Social Mirror Identity Concept.



## 誌 謝

時光荏苒，兩年匆匆而過，回首來路，彷彿昨日才進交大，而今已是鳳凰花開畢業季節，心中滿是感恩與不捨。

由衷感謝我的指導老師 孫春在教授，是您引領我走向研究的道路，一路指引我的方向，讓我在研究的路上不致茫然無措，每週的實驗室 meeting，老師幽默及深入淺出的指導，讓我學到用不同的角度去思考問題，在老師身上，總是讓我感受到如春風般的學者風範。

感謝 崇源學長在疾病模擬上鉅細靡遺的指導，以及模擬程式原創者明其的幫忙，讓竹科的疾病模擬更趨完整，感謝實驗室學長姐的幫忙，瑜龍、東騰、添鴻、福明、孟郁、進興、恆毅、睿清、芊君、昌賢、俊瑋我會記得和你們相處的點點滴滴。

感謝理學院專班老師們的諄諄教悔，尤其是專班主任 陳永富教授，我們都感受的到您對專班的用心，相信在您的指導下，專班未來必定蒸蒸日上。

我要將此論文獻給我的父母，希望你們感到高興和驕傲，兩年來內人的支持與鼓勵，讓我無後顧之憂，得以兼顧工作與課業；最後謝謝公司的長官及同事，還有我的朋友們，由於你們的體諒與幫忙，讓我能順利完成碩士論文。

哲強 于台中大里 2008/6/8



# 目 錄

中文摘要.....	II
ABSTRACT.....	IV
誌 謝.....	VII
目 錄.....	VIII
圖 表 目 錄.....	X
第一章：緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究背景.....	2
1.3 研究目標.....	6
1.4 論文結構.....	7
第二章：文獻探討.....	8
2.1 新型流感概述：.....	8
2.2 傳染病模型之發展.....	10
2.2.1 SIR 模型.....	10
2.2.2 無尺度網路的病毒.....	12
2.2.3 小世界網路模型.....	12
2.2.4 更加真實的網路.....	14
第三章：模型架構與設計.....	17
3.1 二分關聯網路.....	18
3.2 日常生活接觸網路.....	24
3.1.1 日常生活接觸網路定義.....	24
3.1.2 日常生活接觸網路.....	25
3.3 場所關聯網路.....	28
3.3.1 竹科的固定分身點場所總數.....	29
3.3.2 竹科的隨機分身點場所總數.....	30
3.4 底層網路建構的流程.....	32
3.5 個體屬性與染病過程.....	33
3.5.1 個體的屬性.....	33
3.5.1 染病過程及疾病參數設定.....	34
3.5.2 傳染率計算.....	36
3.6 公衛政策的模擬.....	37
第四章：實驗與結果.....	39
4.1 驗證日常生活網路的小世界性質性質.....	39
4.2 疾病的動態模擬與公衛政策探討.....	40
4.2.1 模擬無公衛政策下的流感爆發情形.....	40
4.2.2 模擬公衛政策流感疫苗的成效.....	47

4.2.3	模擬公衛政策流感藥物的成效.....	50
4.2.4	模擬居家隔離公衛政策的成效.....	54
4.2.5	模擬戴口罩公衛政策的成效.....	55
4.3	公衛政策模擬.....	56
	第五章：結論.....	60
	參考文獻.....	62
	附錄.....	64
	問卷調查.....	64



## 圖 表 目 錄

圖 1.	模型的三個部分.....	7
圖 2.	SIR 模型的三種狀態 .....	11
圖 3.	瘟疫造成的條件為再造率 $>1$ .....	11
圖 4.	無尺度網路中的病毒感染率由 0 開始.....	12
圖 5.	正規網路與小世界網路.....	13
圖 6.	HUANG, C.Y 等人所提出的分身點結合二維晶格模型 [5].....	16
圖 7.	二分關聯網路示意圖。上層節點代表個體、下層節點代表場所.....	18
圖 8.	常態分佈圖.....	19
圖 9.	網站的连接數呈無尺度分佈圖.....	20
圖 10.	竹科各職務分類所佔人數比例.....	21
圖 11.	平均上班日一天到過的場所.....	21
圖 12.	平均休假日一天到過的場所.....	21
圖 13.	二分關聯網路的轉換圖.....	23
圖 14.	模型架構圖.....	25
圖 15.	將二分關聯網路轉換成日常生活接觸網路.....	26
圖 16.	時間交集的上限範例圖.....	27
圖 17.	時間交集的下限範例圖.....	27
圖 18.	將二分關聯網路轉換成場所關聯網路.....	28
圖 19.	本地(新竹縣市)及外地人口比重 .....	31
圖 20.	上班日的居住地.....	31
圖 21.	新型流感 SEIR 模型示意圖 .....	35
圖 22.	日常生活接觸網路.....	37
圖 23.	竹科人口參數設定.....	41
圖 24.	流感參數設定.....	41
圖 25.	1000 人 131 場所感染曲線.....	42
圖 26.	1000 人 500 場所感染曲線.....	42
圖 27.	1000 人 262 場所感染曲線.....	42
圖 28.	1000 人 1000 場所感染曲線.....	43
圖 29.	1000 人 65 場所感染曲線.....	43
圖 30.	1000 人 131 場所模擬 & 2002~2007 年台灣區流感真實通報 .....	44
圖 31.	1000 人 500 場所模擬 & 2002~2007 年台灣區流感真實通報 .....	45
圖 32.	1000 人 262 場所模擬 & 2002~2007 年台灣區流感真實通報 .....	45
圖 33.	1000 人 1000 場所模擬 & 2002~2007 年台灣區流感真實通報 .....	46
圖 34.	1000 人 65 場所模擬 & 2002~2007 年台灣區流感真實通報 .....	46
圖 35.	傳染阻絕政策程式參數設定.....	48
圖 36.	比較 3 種接種疫苗方法的效果.....	49

圖 37.	比較高危險族群接種的人數百分比.....	49
圖 38.	第 1 天實施公衛，比較 3 種藥物政策.....	52
圖 39.	第 14 天實施公衛，比較 3 種藥物政策.....	52
圖 40.	第 28 天實施公衛，比較 3 種藥物政策.....	53
圖 41.	比較高危險族群在感染前服用流感藥物的百分比人數.....	53
圖 42.	隔離政策感染人數比較.....	54
圖 43.	隔離政策隔離人數比較.....	55
圖 44.	比較 3 種口罩政策的成效.....	56
圖 45.	公衛政策感染人數比較.....	58
圖 46.	公衛政策隔離人數比較.....	58
圖 47.	D 公衛政策,政策效果 46.95 & 無公衛政策比較.....	59
圖 48.	C 公衛政策政策效果 64.38 & 無公衛政策比較.....	59
表格 1.	根據職務分類有不同的分身點配置。.....	22
表格 2.	個體的屬性參數設置表.....	33
表格 3.	疾病特性參數設置表.....	36
表格 4.	社會網路驗證表.....	40
流程圖 1.	底層網路建構.....	32

# 第一章：緒論

## 1.1 研究動機：

本論文的電腦建模範圍著重一個特定的工作區域：科學園區，而非一個城市或是國家，而本論文模擬的科學園區為竹科、中科、南科此類的大型科學園區，為何要以科學園區來做為主要研究範圍？

因為經濟面影響重大，僅竹科 2007 年總產值就約 1.14 兆元，占台灣工業總產值的十分之一 [12]。如果新型流感在科學園區爆發開來，台灣經濟的損失將會很嚴重，且科學園區在台灣有如科技產業的火車頭，倘若不保，未來科技業的發展必然受阻。

科學園區還有和一個城市或是國家所不同的獨特性，即上中下游產業都群聚在一個特定範圍內，具有多種產業的高群聚度，同時具有日常生活接觸網路的低分隔度 [6]，科學園區外來人口多，人員來自台灣各地及外國，常會因回家、出差甚至旅行而對外連結，若爆發疫情易迅速地向台灣各地及全世界蔓延擴散，影響之大，不可不慎；所以，我們有必要針對新型流感在科學園區有何影響進行分析研究，來建立一個新型流感在科學園區的傳染模型平臺，提供相關決策者評估各種公衛政策的參考依據。

人類感染感禽流感病毒（新型流感）中以 H5N1 為目前最大宗的一種，疾管局已於 2007 年 5 月將新型流感正名為 H5N1 流感，因 H5N1 流感已是世界通用名稱；新根據世界衛生組織（WHO）截至 2008 年 4 月 30 日統計，全球今年累計 4 國確診 31 例，24 例死亡，致死率為 77.4 %；從 2003 年起至今全球總計 14 國確診 382 例，其中 241 例死亡，致死率為 63 % [8]。H5N1 目前還在禽傳人的階段，若 H5N1 病毒發展為像普通流感一樣具有人傳人的傳染性，則可能發生大流行；由於它是一種新病毒，人類的免疫系統不具備預存免疫性，一旦疫情擴散

開來，可以在短時間內使得大量人口受到感染與死亡，世界衛生組織使用了一個相對保守的估算：全球低至 200 萬，高至 740 萬人死亡。這一估算的基礎是 1957 年流感爆發相對輕度的數據，實際上有可能真正的疫情遠高於此估算；屆時可能出現疾病高發率和生產人員高缺勤率，當缺勤率損及諸如能源、運輸和通訊等基本服務時，將會產生最嚴重的社會結構破壞 [1]；還有一項值得憂慮的是有可能會像 2003 年的 SARS 造成的重大經濟損失，社會大眾因為心理層面的恐慌造成不敢出門消費，使商店、旅遊業、餐廳、旅館、KTV 等服務業的生意一落千丈，像 2003 年的 SARS 風暴就使亞洲一年損失 8000 億美元（GNP 下降 2%）[7]。

當前世界各國政府與衛生醫療機構都積極的投入流行傳染病的相關研究，但是疾病傳播牽涉到人類個體的行為和生活型態，個體之間的互動與整個社會環境等因素，讓整個公共衛生政策的決策和落實的難度增加。如何取得一個能有效控制疫情，且符合成本效益的公衛政策，是目前政府和公衛決策者很重要的考量點。因此本研究主要提出一個公衛政策的評估，以供公衛決策者作為衡量公衛政策應用在科學園區成效的參考。

## 1.2 研究背景：

之前已有利用電腦建模來模擬新型流感擴散的相關研究，但建模範圍都是以一個國家或大城市，而本論文電腦建模的範圍著重在一個特定的工作區域：科學園區，所模擬的為竹科、中科、南科此類的大型科學園區，這三個科學園區除了都有產業的高群聚度和日常生活接觸網路的低分隔度外，還有許多共同點，都有工程師及線上人員，且都有正常班，四班二輪，三班制以及三五通勤族、外地通勤族、本地人口和外來人口(包括外國人)、交通區間車、出差外地人員、協力廠商人員、外食人員、旅遊人員等；為避免模擬範圍太大而致研究失真，本研究以竹科為取樣點，探討科學園區的新型流感傳播動態，並評估公衛政策的成效。

截至 2008 年 2 月 18 日竹科管理局統計資料，竹科共有 125,589 位就業人口



(不含外籍勞工 3,923 人)，產業類別主要有積體電路、電腦及週邊、通訊產業、光電產業、精密機械產業、生物科技產業等六種主要產業，其中積體電路產業占 74,893 人、光電產業 29,413 人、電腦及週邊產業 12,331 人及通訊產業 5,945 人，這四種視為上中下游產業，產業間連結性較強，可視成同一套模型參數，總共 122,582 人，占園區總人口 97.6%，我們假定 3923 人的外籍勞工也是這前四大產業因此忽略不計；精密機械產業及生物科技產業由於產業型態較獨特，各為一套模型參數，因此將竹科六大產業區分成三套模型參數；考量到精密機械產業及生物科技產業總人數為 2860 人，人數少於竹科總人口的 2.5%，即使忽略不計也不影響模擬結果，所以我們省略此 2 種行業，將模型簡化為一套模型參數。

以往在模擬疾病的傳播動態時，大多數的研究底層網路都只在探討人際關係網絡結構，並在其上模擬傳染病的動態傳播，而人際關係網路大多是指時常見面的家庭成員、公司同事、學校的同學所構成的群聚網路，也包含曾經交往互動過，但目前不常聯絡，偶而見面或經由電話聯絡及透過電子郵件聯繫的親朋好友或同事、同學等。

但其實真實社會的流感傳播並不同於人際關係網路，比如你不會傳染流感給只通電話而住在外地很久沒見面的朋友，流感傳播必須在 1-2 公尺（飛沫傳染最遠可達 2 公尺）的近距離接觸才有可能被傳染 [2]，也就是要近距離接觸到傳染源個體才有可能被傳染，因此流感主要是由日常生活接觸網路來傳播，而非人際關係網路；日常生活接觸網路包括常見面或接觸的家庭成員、公司同事、學校同學及日常生活中眾多陌生人彼此間偶爾互動與接近等，如：一起搭電梯的陌生人、用餐時前後排隊的陌生人等。

因此，在過去的流感動態的電腦模擬研究中，所建立的底層社會網路會造成與真實世界的社會網路不符的現象。因此有人提出一些簡單的網路（例如：隨機網路、二維晶格和小世界網路等），探討網路結構和性質對疾病的傳播動態所造成的影響，但是仍然無法建構出精確的接觸網路，所以對於預測疾病的動態傳播

的準確性還是有很大的差距。近年來，還有一些研究者提出較符合真實的接觸網路的模型，例如：

- Eubank 在 2005 年 [3] 提出以城市交通系統 TRANSIMS 建構底層網路，再加入以個人為基礎的流行病學模型，透過一些可以得到的公開數據（例如：人口、性別、年齡分佈等），將每個人的日常生活習慣真實的呈現出來，完全仿造真實的社會網路來建構。

- Ira M. Longini 等人 [4]，採用一些真實的統計資料建立群組來表現出真實的生活環境，找出容易造成疾病傳染的公共場所（例如：家庭、幼稚園、國小、車站等），透過個體在場所之間的互動接觸來建立一個接觸網路。

- Huang, C.Y 等人在 2003 年 [5]，提出以分身點來表達個體在一天當中固定到達某些地方的概念。透過此概念來建構符合都市生活特性的接觸網路。在上述的流行病電腦模擬研究中，我們提出幾個想法：

1. 問卷調查和田野觀察所收集的數據，只是眾多參考的依據之一，並非唯一的來源。
2. 在真實的日常生活接觸網路中（例如：學校的同學、搭乘同一台電梯的陌生人），所呈現的是動態、快速改變、著重短期且受限於實際時空的條件。
3. 流感的傳染路徑，主要是由飛沫傳染或近距離的接觸，所以流感的傳染是一件不可預測的隨機事件，而不是只在特定的人際關係之中傳播。

所以，綜觀所述，要瞭解竹科的流感傳播模式，就要先瞭解竹科的社會網路，然後才能進一步推算竹科人員的日常生活接觸網路；要得到竹科的社會網路，就要考量不同產業及同產業不同公司間人員的小世界網路弱連結，以及同公司間人員的小世界網路強弱連結；所謂的強連結即是個體之間頻繁且密切的



接觸，而弱連結為個體之間偶而接觸或短暫互動。

同公司內部連結的分析因素大致可依工作型態分成工程人員和線上作業人員及廠商間的強連結，工程人員和行政及業務人員的弱連結 [10]；對外連結的分析因素可分為產業類別及職務分類、廠區作息（正常班，四班二輪，三班制等）、園區人口居住地（例如：三五通勤族，外地通勤族）、本地人口和外來人口（包括外國人）、出差外地人員、搭乘交通區間車人員、協力廠商人員、中午外食人員、出差及旅遊人員等九項。

竹科產業間連結不少，上下游關係的產業間常有業務會談及交際應酬，以而竹科工作就業機會眾多，吸引許多台北台中及其他城市人員前來職，由於新竹本身位居一高和二高樞紐，鄰近高鐵，交通便利，形成一股罕見的三五通勤族，且有很多廠商在中科南科設廠，交通區間車每日乘載人員往返新竹各廠區至中科南科廠區，而很多協力廠來自台灣各地，竹科人員亦經常去世界各地出差，甚至有外國人來竹科工作或出差，而為數不少的園區人喜歡外食，或者部門、私人聚餐而中午出園區用餐，甚至到臨近的學校交大用餐然後再回來上班，竹科人也經常利用休假去世界各國旅遊，長距離的連結加速了傳染病的傳播 [11]。

經由上述竹科社會網路的初步說明，我們得以瞭解竹科人員的日常生活接觸網路，我們把全竹科人員以職務來分類大致上分成業務人員、行政人員、工程人員、線上作業人員、其他人員共五類，而以上班日一天到過的場所（固定分身點）及上班日接觸人員，通常以業務人員居多，其餘四類人員由實際問卷調查統計起來普遍較少。

總總因素都會影響分析結果，因此我們在電腦建模時都要考慮進去，本論文的關鍵就在於將這些因素合理的數據化，期望能得到最接近真實的日常生活接觸網路，可以有效的模擬、推測流感在竹科的傳播動態，並比較各種公衛政策對疾病傳播的影響，以提供公衛政策執行者作為參考。

### 1.3 研究目標:

本研究依竹科工作人員行業人口比例進行抽樣問卷調查,以提供對上述竹科社會網路做合理的數據設定,期望提出一個接近真實竹科社會網路的新型流感傳播動態電腦模擬;在此,我們規劃出本研究的研究目標:

1. 建立科學園區日常生活接觸網路。
2. 模擬季節性流感、新型流感在科學園區的傳播動態。
3. 公衛政策介入的效果評估。包括疫苗、特效藥、戴口罩、洗手與居家隔離等各項公衛政策成效評估。

本論文使用電腦模擬方法以快速建立新型流感在竹科的擴散模式,讓有關單位可以參考依據及時採用適當的策略,以減低新型流感爆發對竹科的損害程度,進而確保台灣的經濟成長及科技業的發展。參照下圖(圖1)的表示,我們將模型分為三個部分來討論,即「個體」、「流感特性」、「竹科日常生活接觸網路和場所關聯網路」。個體部分為設定不同的個體的差異,例如:年齡、性別、行業類別、職務分類等。流感特性為流感是經空氣(咳嗽和打噴嚏)或者和感染者接觸傳染,根據不同的日常生活接觸網路及場所關聯網路,個體受到感染的機率也不相同。

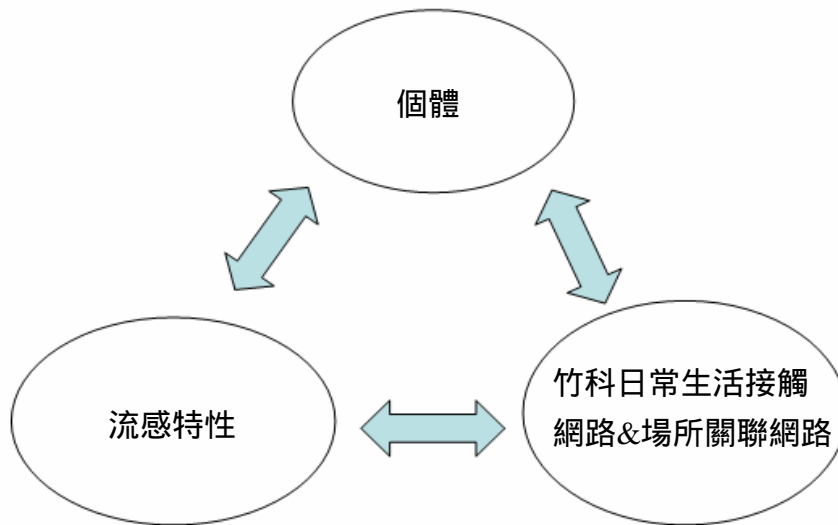


圖 1. 模型的三個部分

#### 1.4 論文結構：

本篇論文撰寫的順序如下：

第一章為「緒論」，提出本研究的研究動機與背景及主要的研究目標。

第二章為「文獻探討」，此章節特別探討與本篇論文相關的背景知識、過去的研究內容與主題，其中包含了新型流感概述、流感模型的研究問題，疾病擴散、具有小世界性質的人際網路，及模擬個體每天在各場所活動的小世界模型「具分身點概念細胞自動機」等。

第三章為「流感模型設計」，此章主要說明以二分關聯網路與社會分身點為基礎的新型流感在竹科的傳染模型整體架構。

第四章為「實驗與結果」，此章我們針對本研究設計的季節性流感傳染模型、竹科人口總數與感染率的模擬，並以台灣區流感實際的資料來驗證我們的模型的準確性，接著分別模擬各項公共衛生政策介入的效果預測、評估功能。

第五章為本論文之結論。

## 第二章：文獻探討

### 2.1 新型流感概述：

新型流感為禽流感病毒因為基因突變或經由宿主（例如：豬）同時讓人類流感及禽流感依附而出現洗牌效應造成禽傳人 [1]，甚至人傳人的變種流感；其傳染途徑為經由空氣（咳嗽和打噴嚏）或者和感染者接觸傳染，和日常生活接觸網路有關。

禽流感病毒的天然載體是野鴨等水棲候鳥，這些候鳥本身有免疫力，但能夠把病毒傳染給易於感染的家禽；因此禽流感可能經由候鳥過境及其他未經檢疫的活體禽鳥的輸入而傳入台灣。

流行性感冒病毒屬正黏液病毒科（Orthomyxoviridae），A 型流行性感冒病毒，含 8 段負向單股 RNA 病毒，依核蛋白質（nucleoprotein）或基質蛋白質（matrix protein），病毒分為 A、B、C 等 3 型。B、C 只有在人發現；A 型則廣佈於人及各種動物。一般我們所稱的禽流感病毒係指存在於禽鳥類中的 A 型流感亞型病毒，A / H5N1 禽流感病毒亦稱為「H5N1 病毒」，是一種主要存在於鳥類的 A 型流感病毒亞型，通常不傳染給人，1961 年在南非從鳥類（燕鷗）中首次被分離出，H5N1 病毒在鳥類中傳染性非常強並可致命；而人類流感病毒則是指存在於人類的亞型，目前有 H1N1、H1N2 和 H3N2 三種。由於人類 A 型流感病毒的一些基因部分可能來自於鳥類，A 型流感病毒不斷地變化，可能在一段時間後產生在人類之間具傳播力的亞型病毒。

如前所述，禽流感病毒通常不會傳染給人，但自 1997 年以來已有數例人感染禽流感病毒的報告。目前 H5N1 型禽流感病毒因基因突變造成禽傳人，有可能一段時間後與人類流感病毒進行基因重組，若適應於人體即可有效地人傳人，屆時將導致全球致命性的人類流感大爆發。禽流感病毒種類很多，目前以 H5N1 病

毒感染為最大宗。另豬隻細胞可同時讓人類流感及禽流感依附，易出現洗牌效應，亦會造成致命性的人類流感。

由於它是一種新病毒，人類的免疫系統不具備預存免疫性，它通過咳嗽和打噴嚏像普通流感一樣非常容易傳播，經由空氣或者和感染者接觸傳染。H5N1 型毒株首次於 1997 年在香港傳染給人類，造成 18 人患病，6 人死亡。自 2003 年中以來，這一病毒造成了在禽類中歷史上最大和最嚴重的暴發。2003 年 12 月在接觸病禽的人中確認了感染。根據 WHO 資料，截至 2008 年 4 月 9 日，全球確定染上人類禽流感總計病例數就達 14 個國家 379 人，其中 239 人死亡，致死率為 63%，死亡率相當高（一般流感死亡率為 0.01%），大多數病例發生在原先很健康的兒童和年輕人中。如果 H5N1 型病毒發展為向普通流感一樣具有傳染性，則可能發生大流行。鑑於當今國際航空旅行的速度和運載量，這一病毒的傳播將更加迅速，可能在不到 3 個月的時間內傳播至所有大陸。由於大多數人對大流行性病毒不具免疫力，感染和患病率預期將高於普通流感的季節性流行。當前對下一次大流行的預測估計，大量的世界人口將需要某種形式的醫療保健。很少有國家具備應對突然患病的大量病人所需的人員、設施、設備和病床。所有的國家在大流行之初及其後的數月中均將缺乏上述資源。大流行期間為減少疾病和死亡的兩項最重要的醫療干預措施：疫苗和抗病毒藥物的供應；疫苗短缺是特別重要的一個問題，因為疫苗被認為是保護人口的第一道防線。按照目前的趨勢，很多新興國家在整個大流行期間將不能獲得疫苗，有可能出現大量死亡，世界衛生組織使用了一個相對保守的估算：低至 200 萬而高至 740 萬人死亡，因為它提供了一個有用和似乎合理的計劃性指標。這一估算的基礎是 1957 年流感相對輕度的流行，實際上有可能真正的疫情遠高於此估算，屆時可能出現疾病高發率和生產人員高缺勤率，當缺勤率損及諸如能源、運輸和通訊等基本服務時，將會產生最嚴重的社會結構破壞 [1]；還有一項值得憂慮的是有可能會像 2003 年的 SARS 造成的重大經濟損失，社會大眾因為心理層面的恐慌造成不敢出門消費，使商

店、旅遊業、餐廳、旅館、KTV 等服務業的生意一落千丈，像 2003 年的 SARS 風暴就使亞洲一年損失 8000 億美元（GNP 下降 2%）[7]。

## 2.2 傳染病模型之發展

在本節我們將介紹三種病毒傳染模型，其一是在傳染病學中總是被使用的數學模型「SIR 模型」[13]，另一個則是在無尺度網路中的病毒，它不會像 SIR 模型顯示感染門檻（臨界），感染率將由 0 開始 [16]，最後一個為以網絡概念為基礎的「簡單社會網路模型」。在下一節中將介紹這些模擬的基本觀念與兩者之間的差異，並針對過去流感模擬的相關研究作介紹。

### 2.2.1 SIR 模型

SIR 模型是由 William Kermack 和 A.G. McKendrick 兩位數學家在 1927 年所創，為數理傳染病學之父。SIR 以一個人感染到某一疾病的 3 階段為名，如圖二：

1. S 代表易受感染的（susceptible），易感的狀態是指個體容易受到感染，但還未患病之時，其數量以  $S(t)$  表示，代表  $t$  時刻尚未受到感染的人數。
2. I 代表感染的（Infections），是指已經被感染、正處於生病狀態並且可以傳染他人的個體，其數量以  $I(t)$  表示，代表  $t$  時刻已受到感染的人數。
3. R 代表離去（Removed），就是個體已沒有任何危害能力（痊癒或死亡），表示有免疫能力不受感染，代表  $t$  時刻已從感染者移出的人數，其數量以  $R(t)$  表示。

如果假設總人口數為  $N(t)$  則：

$$N(t) = S(t) + I(t) + R(t) \quad (1)$$

SIR 模型是一個簡單的模型，所以根據空氣動力學假設人際接觸是完全隨機，完全不考慮真實的社會人際網路，它假設每個感染者（Infections）傳給每個



易染者 (susceptible) 的機率是完全相同的，這類的模型概念簡單，適合去探討疾病的傳播門檻值。對 SIR 模型我們有兩個看法：

1. 對於社會上任意兩個人之間的接觸機率是相同的；但是在真實社會中，每個人所接觸的人只有佔社會上的一小部份，另外對於大部分幾乎很少或完全沒有接觸。
2. SIR Model 只能對疾病的傳播得到疾病的再製率 ( $R_0$ )，在數學上而言，瘟疫造成的條件為再造率  $>1$ ，如果再造率總是  $<1$ ，則受感染者從人口離去的速度將快於感染者的增加速度，因而疾病患者會漸漸減少而不會造成流行（如圖三）。無法了解疾病的動態傳播。SIR Model 缺乏社會接觸網路的觀念。

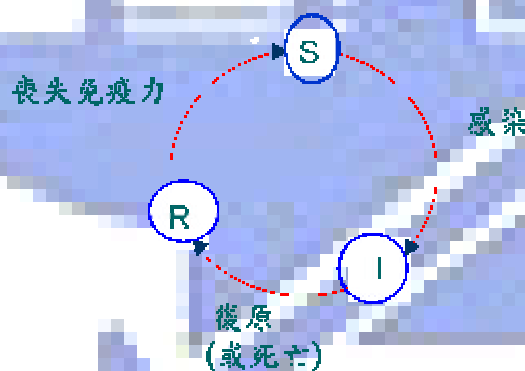


圖 2. SIR 模型的三種狀態

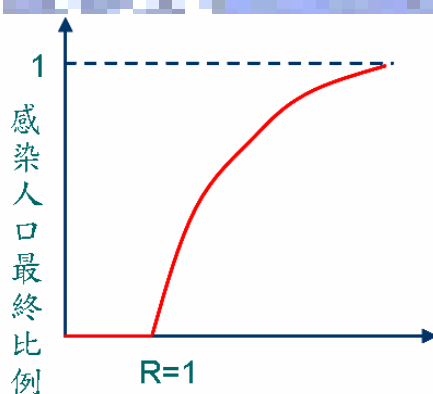


圖 3. 瘟疫造成的條件為再造率  $>1$

### 2.2.2 無尺度網路的病毒:

2001 年,西班牙學者 Pastor-Satorras 和 Vespignani 利用八百多種電腦病毒的公報記載時間證明,有起伏好多年的病毒並未消失,即使有解毒軟體也一樣;這是由於有極少數人擁有大量的通訊錄,不同於一般人只和少數人交流,只要這些少數人其中之一每隔一段時間感染一次病毒,就會對整體產生某程度的循環感染;所以,在無尺度網路中的病毒,不會像一般模型顯示感染門檻(臨界),感染率將由 0 開始 [16],隨著疾病感染者的增加而持續緩慢的成長,因而瘟疫會突然出現,如圖四。在真實社會也會有無尺度的現象,對於疾病的擴散也會有某種程度的循環感染。

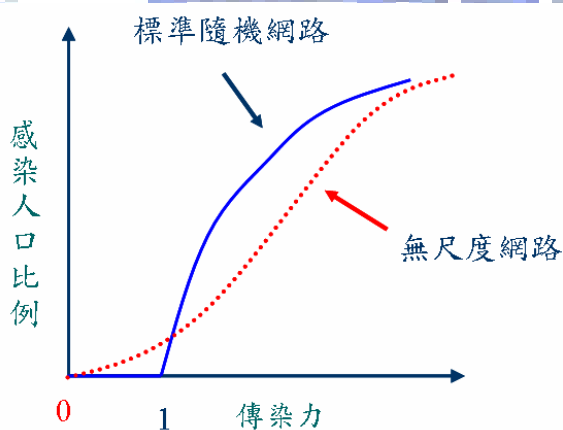


圖 4. 無尺度網路中的病毒感染率由 0 開始

### 2.2.3 小世界網路模型:

Milgram 在 1967 年提出「小世界現象」(Small-World Phenomenon) [9], 而 Mrak Granovetter 在 1973 年提出微弱連結 (a weak tie) 的優勢 [15], 1998 年 Watts 與他的指導教授 Strogatz 利用理論與實際建構, 結合 Milgram 和 Granovetter 的理論, 提出小世界的兩個重要特質: 高群聚度與低分隔度 [6]。

高群聚性: 顯示出現實人類社會中人際關係的緊密性, 例如: 阿強認識小白, 而



小白認識志朋，則阿強和志朋很可能會彼此相識。這些互相認識的人形成一個緊密交織的團體（如家人、朋友、同學）。這層關係就是所謂的強連結。

低分隔度：Milgram所提出的「六度分隔」- 世界上任意兩個人之間的人際關係距離大約只有 6 度。

Watts 與 Strogatz 發現在正規網路中加入一些遠距離的捷徑，就可以大大降低整個網路的分隔度，如圖五（A 到  $B_{new}$ ）的小世界網路。遠距離的連結就是生活中的弱連結，而這些強連結和弱連結對傳染病的動態傳播有很重要的影響。由於現在交通便利，現代人可以快速的穿梭在不同的場所，與不同的人群接觸，例如：阿強是一個上班族，他家住在竹南，每天早上從家裡開車到竹科上班，下班之後去城隍廟吃飯，也許還會去新竹市逛街或者在回家路上買水果。阿強每天約出現 3-4 個場所，而開車就像是長距離的連結，可以降低真實世界的社會距離，小世界現象符合真實人類社會的假設。

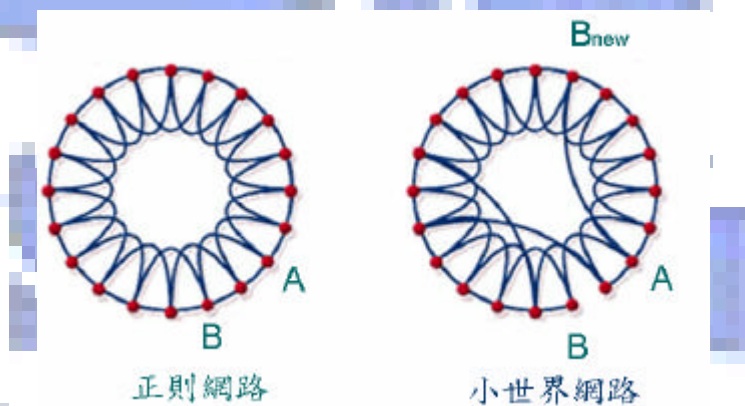


圖 5. 正規網路與小世界網路

但是在 Watts 與 Strogatz 的建構人際社會網路的方式與真實世界的人際社會網路的演化方式是有所出入的，Watts 與 Strogatz 所提出的方法就像是一個簡化版的社會網路，在其網路上隨機加入長距離的連結，與真實社會演化的方式有所出入，真實社會的連結是隨著人類行為、職業、實際距離甚至婚姻、種族等..，許多方面來進行演化，而非只是單一面向就能夠了解任意兩個人之間的社會距離

長短。

#### 2.2.4 更加真實的網路

之後有許多研究提出以更微觀的方式去探討個體與個體之間的互動方式，底層模型採用網路的方式，研究著重在個體與個體之間的連結與影響，將個體當作是網路上的節點，節點與節點連結的邊表示存在某種關聯，例如：志朋和小白是同班同學，他們之間就有一條邊，代表他們彼此有接觸或認識等。這條連結的邊可以當作是謠言的路徑、傳染路徑等 [14]。為了建構更符合真實社會的網路，以下的研究者提出了他們的方法：

- 模擬每人每天在各地點的移動來建立接觸網路：

Eubank 等人 [3] 模擬城市中人與車移動的交通模擬系統 (TRANSIMS) 來建構疾病的電腦模擬系統。TRANSIMS 原本是用來模擬波特蘭的交通情況 (包括鐵路、道路、路標、交通號誌及其他大眾運輸設施，並提供交通模式及行駛時間的訊息)，他們利用公開可得的資料 (例如：人口、性別、年齡分佈等)，產生出了 18 萬個地點 (例如：家庭、公司、購物中心、醫院、加油站等)，160 萬名虛擬居民，以及這些人日常生活的動態模擬，完全仿照美國波特蘭市建構底層網路。另外對於一般民眾每天的生活作息與從事的工作、活動做詳細的調查，作為系統中個體在城市裡移動的依據。利用完全真實的數據來模擬人與人之間的互動、接觸，例如：同搭一部電梯的人、家人、學校的同學..等，產生完全仿照真實世界的疾病傳播模擬。

這類的模擬對於城市規模有很大的限制，因為有大量的統計資料需要記錄與計算，且個體每天、每小時甚至每分鐘的狀態和移動都需要去計算，所以對於模擬必需有很大的計算量，很難將此模型擴大到整個國家或整個世界。另外對於居民的生活習慣必須要花費很多人力、物力和財力。

#### ■ 使用 mixing group 的觀念建立接觸網路：

由 Longini 等人[4]所提出利用 mixing group 的觀念，仿造美國一個真實的城鎮建構出一個接觸網路模型，並利用這個模型模擬流感的動態傳播與其公衛政策的成效。mixing group 表示一些人口密集度高、容易去傳染疾病的場所，例如：例如：家庭、幼稚園、國小、車站等和其他任意接觸的場所。人們會根據年齡而分配到不同的 mixing group。每個人有一個固定的機率與其他人互相接觸，最後得到一個接觸網路。

在模型中採用許多真實的統計數據，而依照年齡資料產生 mixing group 分配，使用家庭人口和年齡資料仿造出家庭人數和家庭成員年齡。然而採用許多真實數據來提高模型的真實感，但是在模型中加入了許多不同的接觸情況，讓模型的複雜度提高。另外在模型中很多參數的設定需要反覆的實驗來設定或採取經驗來設定，例如：公司裏員工彼此接觸機率應該設為多少，而每位員工應該跟多少員工接觸？這些問題都沒有一個準確的答案來驗證，所以對於模型的參數設定及驗證都很不容易。

#### ■ 提出分身點結合二維晶格建立接觸網路：

Huang, C.Y 等人在 2003 年 [5]，提出以分身點來表達個體在一天當中固定到達某些地方的概念（例如：家庭、公司、學校、餐廳、補習班等）。透過此概念來建構符合都市生活特性的接觸網路。並結合二維晶格網路，建構出一個符合小世界性質的接觸網路，2003 年 SARS 在各大城市爆發，包括台北市、新加坡及多倫多，利用這個網路的模擬結果與真實 SARS 的傳染動態有高度的一致性。

在模型中，使用二維晶格的方式來表示底層網路，每一個晶格代表一個人的某個分身點，將上層的代理人(agent) 透過隨機選取的方式對應到下面的晶格，而底層的晶格就代表個體所固定出現在這些場所。透過分身點數量的調整，可以表示每位個體不同程度的繁忙，以此去探討底層疾病接觸網路。

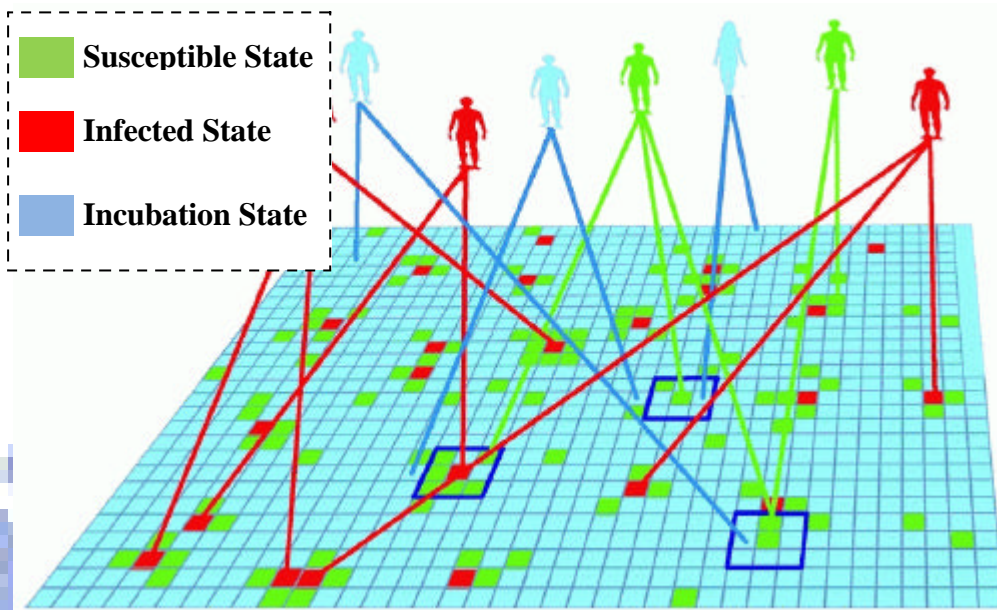


圖 6. Huang, C.Y 等人所提出的分身點結合二維晶格模型 [5]

此模型的優點主要是它不需要太多複雜的統計資料，例如：人口、性別、年齡分佈...等，就可以建構出一個具有現代城市特性的接觸網絡。但是它也許缺少人類的聚集異質性，譬如阿拉斯加客機就是最好的例子，1977 年一架因為引擎故障而在阿拉斯加停留的客機，停機上有一名流感帶原者。進行維修時將通風系統關閉 3 個小時，結果在 72 小時內，機上的乘客 72% 的人都出現了流感的症狀，而這個模型一個分身點只能跟他週遭另外八個分身點接觸，沒辦法表示出在某些場所中所造成的集體感染 [23]。

### 第三章：模型架構與設計

本模型所要模擬的是以科學園區為建模範圍，由於竹科目前對於新型流感尚未有完整的數據與資料，所以先以季節性流感作為模擬目標。首先使用二分網路去建構一個符合竹科的日常生活接觸網路和場所關聯網路，並利用日常生活接觸網路當作是流感傳染的底層網路，再去探討公衛政策的模擬成效。以下各小節分別探討本模型的結構與定義。

我們對於所建構的符合小世界性質的竹科網路，提出了下列四項規則：

#### 1. 固定的節點數

竹科人口的變動短期內不會太大，所以在節點個數的設定上，我們採用固定不變的方式。

#### 2. 個體的分身點數是有限的

人一天只有24個小時，不可能無時無刻在更換場所，而且在真實生活中，從A場所到B場所的過程中，必需在場所移動上需花費一些時間。

#### 3. 場所採用優先連結

有一些熱門的場所會因為容納人數多寡，而吸引其他人的隨機分身點前往該場所，例如：各公司一年一度舉辦的股東大會會場吸引很多個體前來參與，或電影院每到假日總是人群聚集，而有些場所（例如：家庭或工作場所等）就不會因為容納人數的多少而吸引很多其他個體進入。

#### 4. 個體的社會分身點採用無尺度分佈

大部分竹科人員只會去少數的熱門場所，只有一些可能是因為工作（例如：業務員等），才會在一天當中往來很多場所。



### 3.1 二分關聯網路

我們將人與人之間的社會距離轉換成群組的概念，每個人都會屬於幾個群組，而群組在我們的模型中就是所謂的場所，透過這種轉換方式得到二分關聯網路。例如：在二分關聯網路中，志朋和小白是同一間公司的員工，他們兩個同處一個脈絡，兩人就當作是有關聯。所以我們將二分關聯網路當作是實際社會網路運作的平台，如果兩人之間沒有同時隸屬於同一個群組或場所，表示他們之間缺乏關聯性，那麼兩人之間接觸的機會就很小，流感透過他們之間的關聯來傳染可能性就很低。

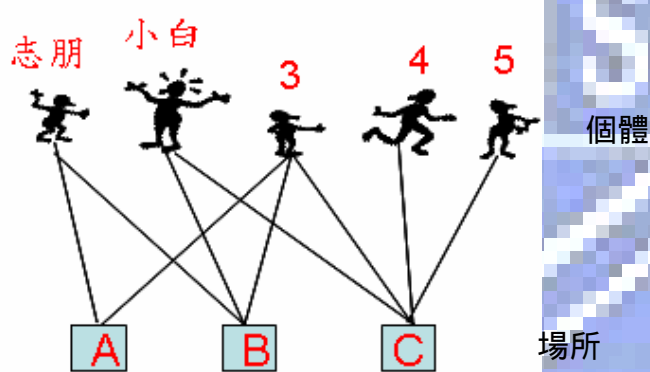


圖 7. 二分關聯網路示意圖。上層節點代表個體、下層節點代表場所。

對於二分關聯網路而言，我們必須考慮兩個因素：

- 1) 場所容納人數（每個場所可以容納多少人）。

將場所的容納人數取Power-law的分佈 [17]，例如：住家、辦公室等，這些場所的容納人數少，但場所數多；而像餐廳、公司室內休閒運動場、超級市場、大賣場、電影院（竹科人員下班或休假也會去這些場所），這些容納人數多，但是場所數卻遠小於住家、辦公室的個數。例如：一般人選擇餐廳吃飯，大部分可能會找一些已經有人用餐的餐廳，而不會去找一間沒人的餐廳。依照這樣的假設

也符合真實社會環境，一些熱門的場所總是會吸引很多人進入。

場所分佈可分為常態分佈（uniform）與無尺度分佈（power-law）兩種不同的分佈。

1. 常態分佈：根據平均值，不管比平均值高或低，數值離平均值差距越多，所發生的機率越低。

例如：調查某公司 1550 位工作人員平均年齡，如果 1550 人的平均年齡是 30-39 歲，年齡離 30-39 歲越遠的人，所占比例越少。所以在平均值發生的機率是最高，隨著與平均值的距離，曲線隨指數快速下降。

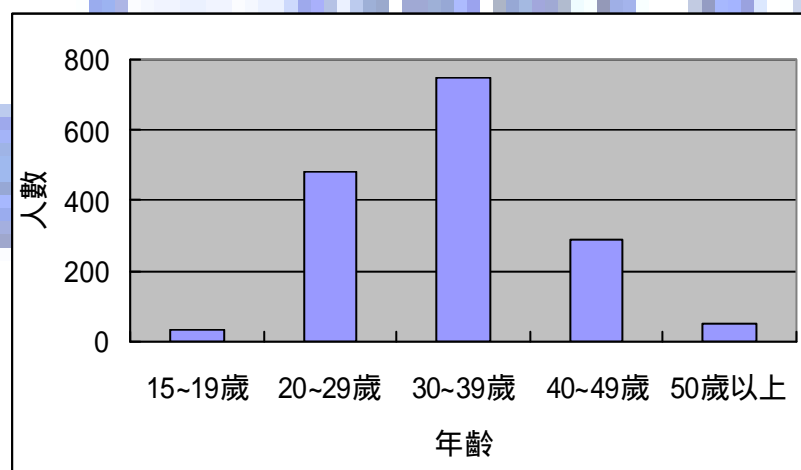


圖 8. 常態分佈圖

2. 無尺度分佈：又稱為冪次律，連接次數越低而產生的機率越高，但連接數越高所發生的機率隨指數下降。美國科學家 A.L.Barabasi 等人用統計物理學的實驗方法發現絕大多數網站的連接數都很少，但卻有極少數網站擁有高於普通網站百倍、千倍甚至萬倍的連接數，由原先正態分佈的隨機模型轉變為冪次分佈的無尺度模型 [17]。

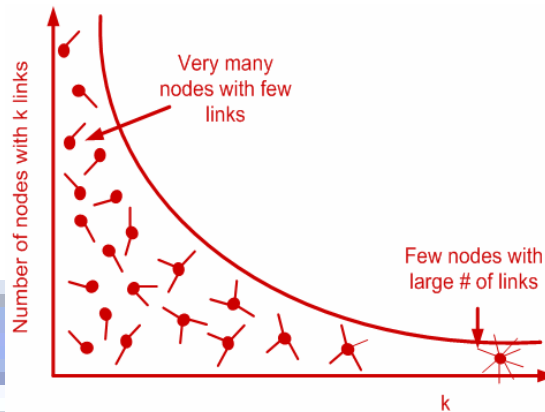


圖 9. 網站的连接數呈無尺度分佈圖。

## 2) 個體分身點數 (每個人的分身點數該如何分配)

為了讓人口與個體的社會分身點數量可以更貼近竹科，我們依竹科行業人口比例進行抽樣問卷調查，依照問卷統計值決定分身點數。為了讓模型可以更符合真實的竹科，考慮了固定分身點和隨機分身點。(圖 10 12)

**固定分身點：**表示個體每天上班固定會去的場所，例如：家庭、工作場所等，個體選擇此類場所以完全隨機的方式選擇，不考慮目前場所的容納人數多寡。

**隨機分身點：**表示個體假日或平日下班會去的場所，例如：、電影院、超級市場、百貨公司、KTV、服飾店等，通常個體會選擇熱門的場所，根據場所目前容納人數的多寡，來判斷對個體的吸引力。在竹科問卷中，很多人上班日都只會去 1-2 處場所(業務人員除外為 7-9 處)，這或許是竹科上班工作壓力大，因此下班後就很少去消費娛樂。而休假日會去的場所為 3-4 處居多，顯示竹科人員假日會回家或出門消費，因為問卷顯示竹科來自外地人口(非新竹縣市)佔了 63%。我們依行業人口比例進行抽樣的問卷調查，樣本數為 1630，扣掉 28 份無效問卷，有效問卷數為 1602 份，以竹科管理局 20080313 公布的資料看，男女比例為 55:45，而我們問卷男女比例為 55.2:44.8，以竹科目前少數公開的統計資料來看是蠻符合實際狀況的，至於其他資料，如各職務分類的男女比例，外地人口比例..等等，因為目前沒有相關的實際資料，所以目前無法驗證這些項目問卷和實際竹科社會網路的相關度。



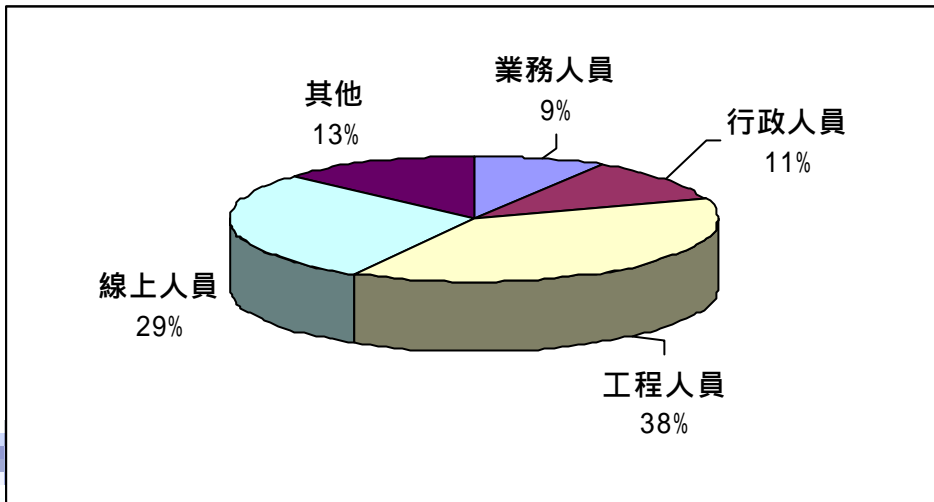


圖 10. 竹科各職務分類所佔人數比例

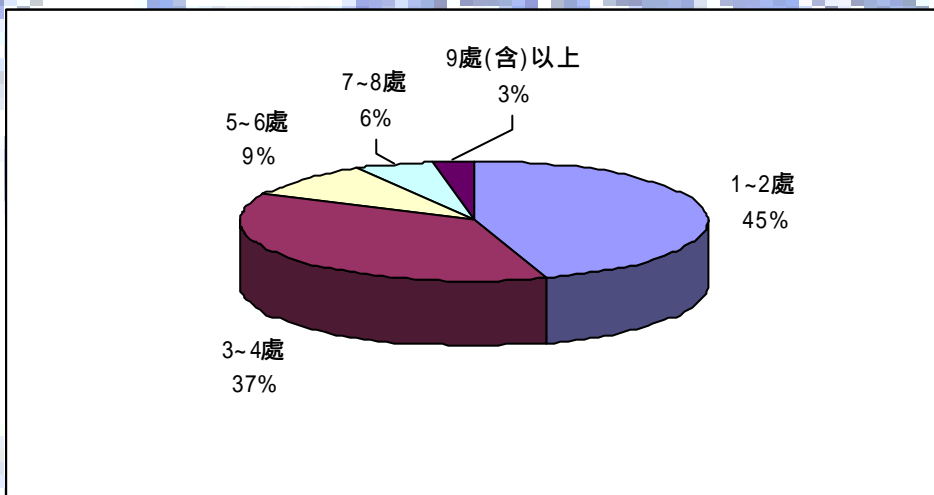


圖 11. 平均上班日一天到過的場所

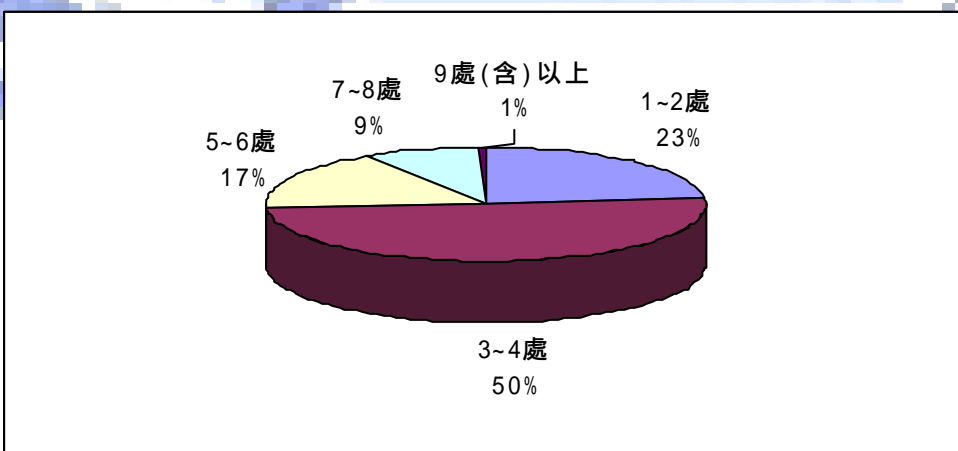


圖 12. 平均休假日一天到過的場所

職務分類	固定式 社會分身點	隨機式 社會分身點	佔竹科總人口 的比例	
			男	女
業務人員	1~8 常態分佈	0~80 無尺度分佈	0.076	0.014
行政人員	1~3 常態分佈	0~50 無尺度分佈	0.018	0.092
工程人員	1~3 常態分佈	0~50 無尺度分佈	0.32	0.06
線上人員	1~2 常態分佈	0~50 無尺度分佈	0.03	0.26
其他	1~3 常態分佈	0~50 無尺度分佈	0.108	0.0022

表格 1. 根據職務分類有不同的分身點配置。

業務人員：固定會去的場所（例如：家中、工作場所等）因為工作關係較其他職務分類的人員多，平均固定分身點為 1~8 處。

行政、工程、其他人員：平均固定分身點為 1~3 處。

線上人員：由於線上人員有一項特殊的工作場所：無塵室，考量到無塵室因為有負壓將微塵向下吸，再加上人員都穿無塵衣戴口罩，會隔離飛沫及接觸傳染，因此在無塵室即使短距離（2 公尺內）所接觸人員也難以傳染流感，由於線上作業人員的工作場所不會感染因此忽略而減一個場所，因此我們設為 1~2 平均固定分身點。

而關於隨機式社會分身點的配置，基本上隨機分身點為下班後或假日會去的場所，以 0~50 的無尺度分佈來表達某些特殊的情況，例如：有些人假日那兒都不去，而極少數個個體假日甚至下班後到處游走，而業務人員下班後有可能要陪客戶交際應酬，所以隨機分身點的上限也較多，我們設定 0~80，基本上幾乎不

會到 80 個分身點，最多大概在 50 左右，但在無尺度分布上，數字越大發生的機率雖然越低，但並不能肯定絕對沒有，基於一天的時間只有 24 小時，所以隨機分身點也有個上限。隨機分身點的上下限點採取一個 power-law 的分佈曲線。

在本論文中所提出的二分關聯網路應用於新竹科學園區，有二點看法：

- (1) 上下層節點數不同，竹科的員工不少（上層節點），因廠房不少，因此場所數也不少（下層節點）。
- (2) 竹科平日的隨機式社會分身點的數目普遍較少。可能由於竹科工作較繁忙，下班通常較晚，比較不會再去別的場所而直接回家休息，通常假日才會去一些地方或回家，因為問卷調查結果有 63% 的外地人口，判斷假日才有較多隨機式社會分身點的發生。

我們的建立二分關聯網路的目的是在於轉換成電腦模擬底層的日常生活接觸網路與新型流感監測系統專用的場所關聯網路。日常生活接觸網路主要是利用人與人之間的關聯強弱，來建立人對人的網路，再深入去探討流感在竹科的動態傳播以及公衛政策的制定；而場所關聯網路是提出一個新式的疾病監測系統。以下小節將深入去說明日常生活網路與場所關聯網路。

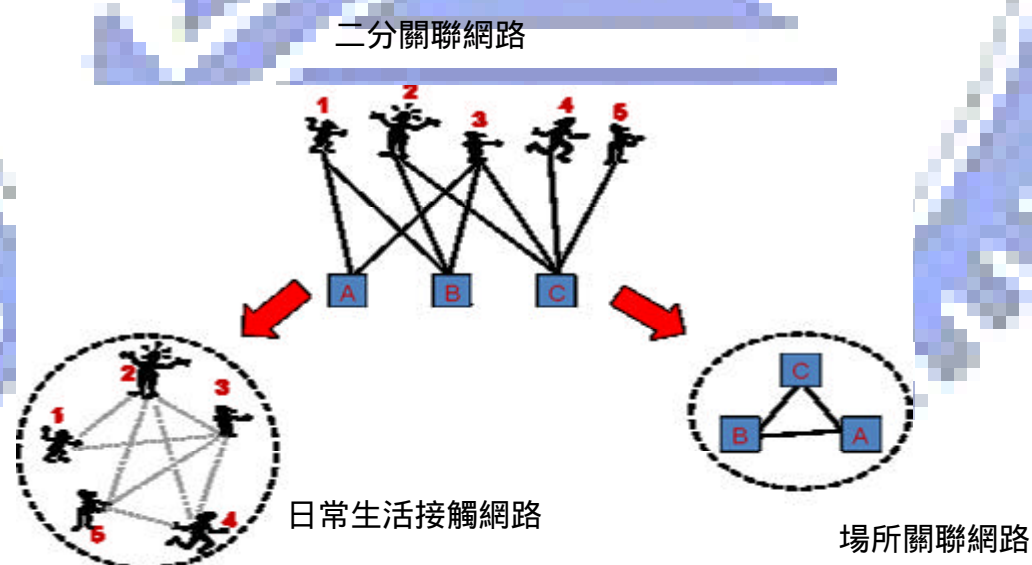


圖 13. 二分關聯網路的轉換圖。

## 3.2 日常生活接觸網路

### 3.1.1 日常生活接觸網路定義

日常生活接觸網路除了包含家庭成員、公司同事、學校同學、社團朋友等所構成的群聚網路之外，也包含在日常生活中眾多陌生人彼此間偶爾的互動與接觸，例如：用餐時前後排隊的人、一起電梯的人、在服飾店一起挑衣服的人；而人際關係網路除了包含時常接觸、見面、互動的家庭成員、公司同事、學校同學所構成的群聚網路之外，也包含曾經交往過、互動過，然而目前不常聯絡，偶爾長久才見面一次，或根本不見面只偶而通電話或電子郵件的親朋好友或前同事、師長同學..等。

流感的傳染路徑是藉由空氣或飛沫及近距離的接觸傳染，整個傳染過程是一個完全隨機的事件發生，所以我們所建立的二分關聯網路中，在每個場所內的接觸視為完全接觸網路，等同一個完全圖，例如：在同個班級中，每一個人彼此都相識且有所互動，不會有 A 跟 B 是同班同學，但彼此間從來都沒有互動過。網路所建構的日常生活網路是由很多小的構成要素所組成的，構成要素的連接是由存在於兩個構成要素的人，作為連接兩個構成要素的橋樑。

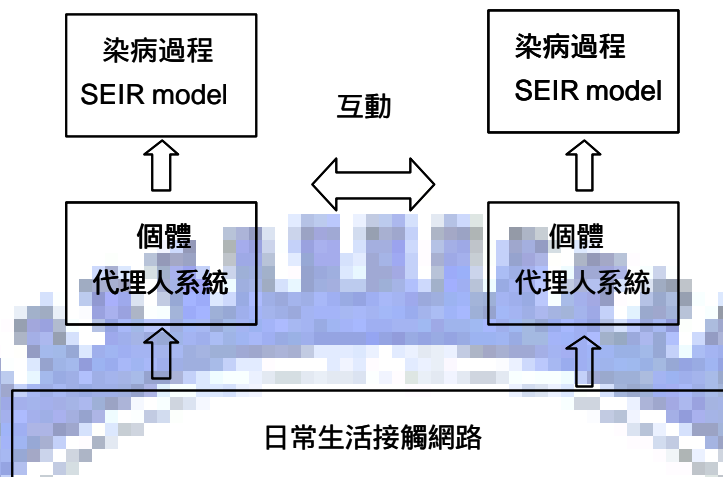


圖 14. 模型架構圖

流感傳播的主要平台是日常生活接觸網路，而非人際關係網路。兩種特定的社會網路雖然有部份的交集，但並非完全相同，最大差異點就在於和陌生人接觸的部分，或許此部分才是造成流感的傳播動態與傳染阻絕政策，成效難以掌握與推測的主要原因。

### 3.1.2 日常生活接觸網路

日常生活接觸網路與場所關聯網路的邊都具有權重值。在日常生活接觸網路中，每條連結都具有一個權重參數，代表兩個人在（一個以上）相同的活動場所內彼此可能接觸的時間的長短程度。因此，此權重參數的設定值有一個範圍，分別表示兩人最短、最長可能的接觸時間，通常，此權重參數被設定成一個平均值，或接近平均值的一個常態分佈隨機亂數，表示在一般情況下，兩個人可能的接觸時間介於最短與最長時間之間，所以我們採取平均值的計算。

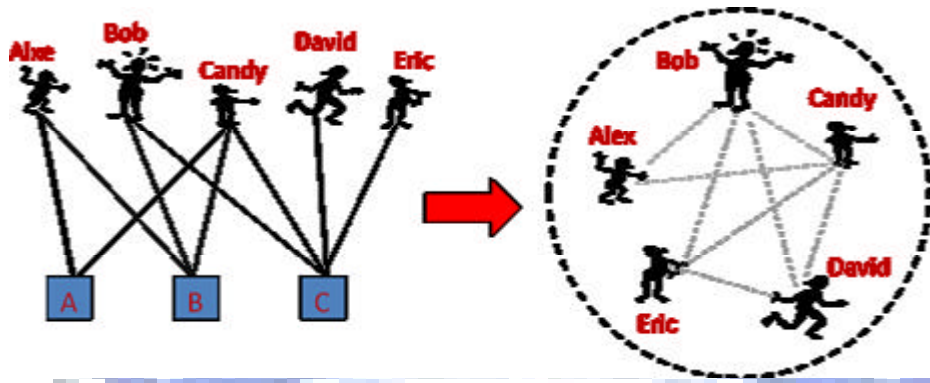


圖 15. 將二分關聯網絡轉換成日常生活接觸網路

公式：

$$C_{\text{upper bound}}(a,b) = \min \left( \frac{AB}{M_A}, \frac{AB}{M_B} \right) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} C_{\text{low bound}}(a,b) &= \min(A, B) - (24 - \text{MAX}(A, B)) \\ &= \frac{AB}{M_A} \times \frac{AB}{M_B} - 1 \\ &= \max \left( 0, \left[ \frac{AB}{M_A} \times \frac{AB}{M_B} - 1 \right] \right) \quad (3) \end{aligned}$$

$$C_{\text{avg}}(a,b) = \frac{AB}{M_A} \times \frac{AB}{M_B} \quad (4)$$

$M_A$ ：個體 A 的分身點個數、 $M_B$ ：個體 B 的分身點個數

$A_{,B}$ ：表示 A、B 分身點的交集個數。

舉出一個簡單的例子(參照圖 16)。根據現實中每個人的時間都是 24 小時，在志朋的分身點有在場所 A 和場所 B 中出現，小白在場所 B 和場所 C 中，在模型中設定為在場所的時間是平均的，推得，志朋出現在場所 A 的時間為 12 小時，出現在場所 B 的時間為 12 小時，而小白出現在場所 B 的時間為 12 小時、出現在場所 C 的時間為 12 小時。如下圖所示：

時間交集的上限:

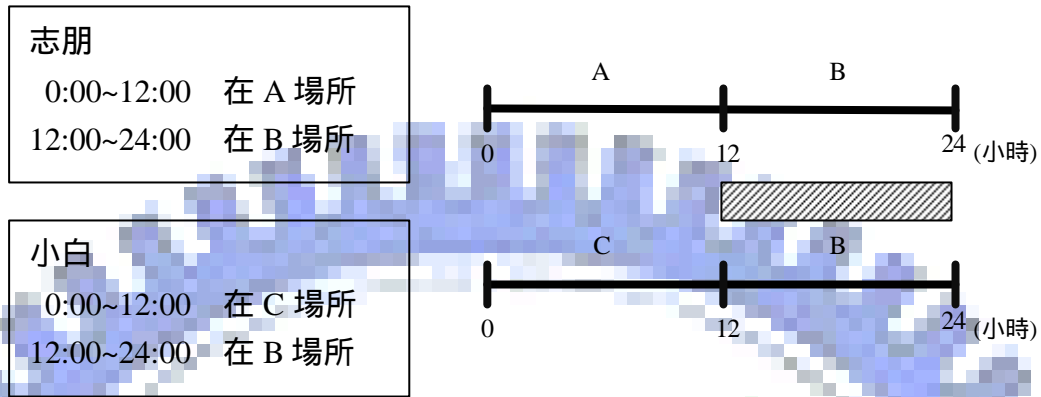


圖 16. 時間交集的上限範例圖

在志朋和小白交集的時間為 12 小時（斜線部分）。公式參照上頁（2）。

時間交集的下限:

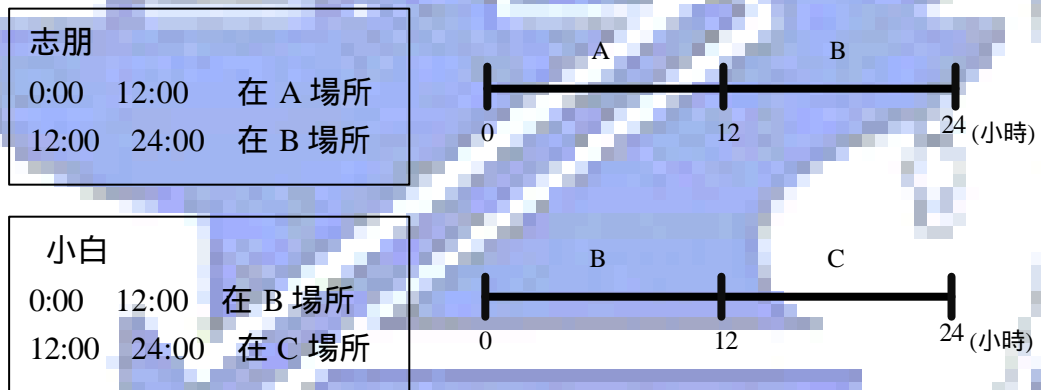


圖 17. 時間交集的下限範例圖

在志朋和小白交集的時間為 0 小時。公式參照上頁（3）。

在上列的範例中，為了方便講解公式（2）（4），採用真實的時間來說明。但是在我們的權重計算公式中，將接觸時間做正規化，具體表現出時間大小的差異。而權重的比例範圍在 0 1 之間，而且權重必須為正值。權重公式如下：

$W_{A,B}$ ：表示個體 A 和個體 B 的權重。

$$W_{A,B} = \frac{|A,B|}{|M_A| \cdot |M_B|} \quad (5)$$



### 3.3 場所關聯網路

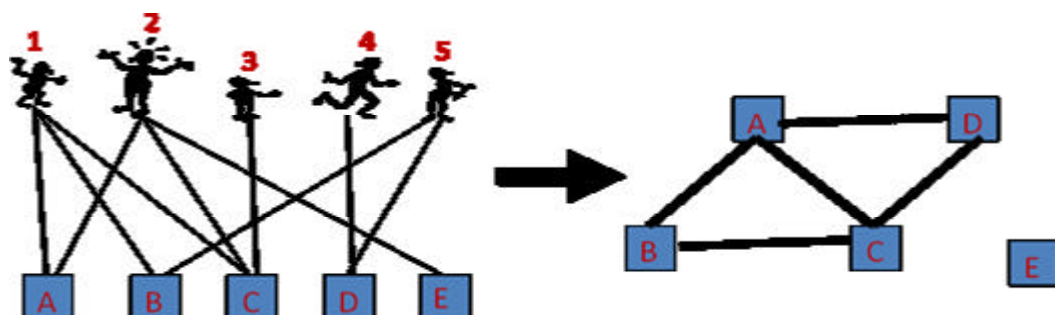


圖 18. 將二分關聯網路轉換成場所關聯網路

在場所關聯網路中，每條連結都具有一個權重參數，代表有人在（一個以上）兩個場所中移動，透過人數來判斷場所之間的關聯性，與日常生活網路一樣，將移動的人數做正規化來表示權重（關聯性）大小，權重的範圍在 0 1 之間。

公式：

$$W_{A,C} = \frac{|A,C|}{|K_A| \cdot |K_C|} \quad (6)$$

$W_{A,C}$ ：表示場所 A 和場所 C 之間的權重（關聯性）

$K_A$ ：表示場所 A 的容納人數、 $K_C$ ：表示場所 C 的容納人數。

$A,C$ ：表示來往場所 A 與場所 C 的人數。

例如：場所 A 和場所 C 有個體 1 和個體 2 在兩個場所之間往來，場所 A 容納人數為 2、場所 C 容納人數為 3，得到的權值為：

$$W_{A,C} = \frac{2}{|2| \cdot |3|} = \frac{1}{3}$$

### 3.3.1 竹科的固定分身點場所總數

1. 竹科共 122738 人，考量有的場所如大型辦公區容納約 30 人，大型會議室 50 人，而中型會議室有的只容納 20 人，小型會議室約 10 人，更小型辦公室(如部經理室容納不到 5 人)，而餐廳一個角落約 6 人用餐，我們把以上參數相加平均：

$$= (30+50+20+10+5+6) / 6 = 20 \text{ 人 (每個場所平均人數).}$$

所以，場所數= 竹科總人口數 / 每個場所平均人數，

$$\text{即 } 122738 / 20 = 6137$$

2. 目前園區前 4 大行業共 387 家公司，除特大廠如 T 公司、U 公司，2 家場所數約各 600，大型公司如力公司，華公司等 5 家各約 200，其餘 381 家中小型公司平均估 10 個，

$$\text{即 } (600*2) + (5*200) + (381*10) = 5810 \text{ 場所}$$

3. 依科管局 97 年 3 月資料廠房供給總面積數為 310,804 平方公尺，考量到實際上廠房使用的面積（廠房供給總面積不會 100% 都建廠房，還有其他空間），所以我們將每個場所平均面積高估一些，估大約 15 坪 ~ 50 平方公尺（1 坪等於 3.30679 平方公尺），場所數=廠房供給總面積 / 每個場所平均面積，即  $310804 / 50 = 6216$  場所

最後，我們將以上 3 項概略估計因素相加，取其平均值：

$$\text{即竹科的固定分身點場所總數} = 1 + 2 + 3 / 3$$

$$(6280 + 5810 + 6216) / 3 = 6102 \text{ 個場所}$$

### 3.3.2 竹科的隨機分身點場所總數

關於竹科的隨機分身點場所總數，我們使用兩種概略的估計：

1. 高估：根據抽樣問卷調查結果，上班日最主要的居住地還是新竹縣市（87%），所以上班日最主要的隨機分身點（下班後）推測多在新竹縣市，依照主計處 2006 年新竹市營利事業營業家數為 21920 家(商店)，新竹縣有 20086 家，新竹縣市的店家總數有 41376 家，假設有 50% 的店家會聚集個體  $41376 * 0.5 = 20688$ ，再加上 63% 的外地人會在假日回家或消費(本地人當然假日也會出門消費)，這些假日的隨機分身點場所假設為 35000 處，所以我們概略高估竹科人員的隨機分身點場所總數為  $20688 + 35000 = 55688$  處。

高估分身點總數=固定分身點+ 隨機分身點 =  $6102+55688= 61790$  場所。

2. 低估：新竹縣市的店家總數雖有 41376 家，但絕大多數的店家很少人會去，假設只有 10% 的店家會聚集個體，如：大賣場、KTV、服飾店等熱門場所，加上假日竹科人會常去的隨機場所，兩者總共估計 10000 處。

少估分身點總數=固定分身點+隨機分身點 =  $6102+ 10000 = 16102$  場所。

上述場所數為概略估計，因此我們在電腦建模時，需要將場所數較少或場所數較多的條件考慮進去，並且模擬結果觀察其相關性，我們將在下一章討論。

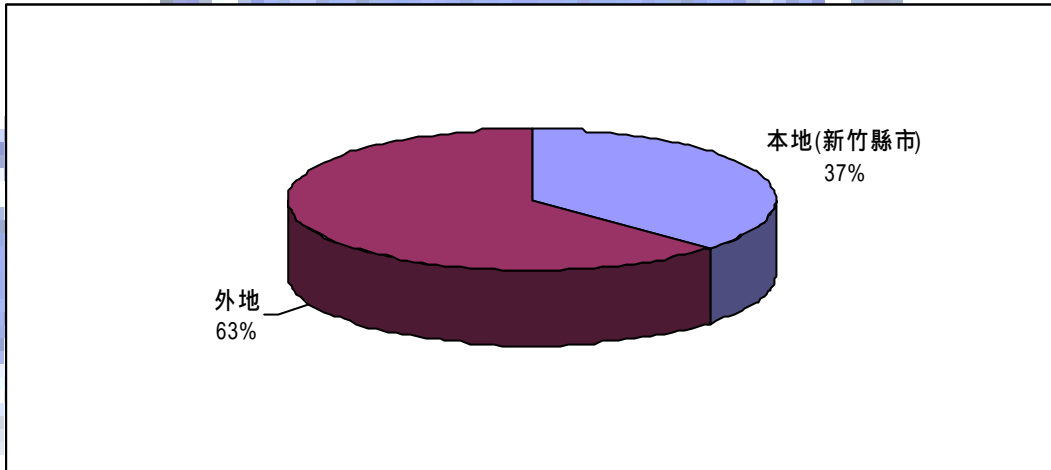


圖 19. 本地(新竹縣市)及外地人口比重

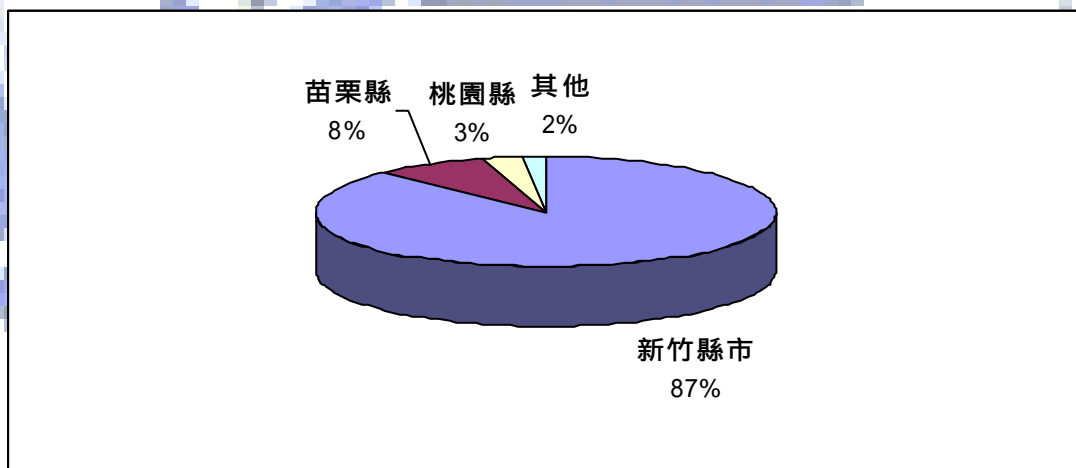
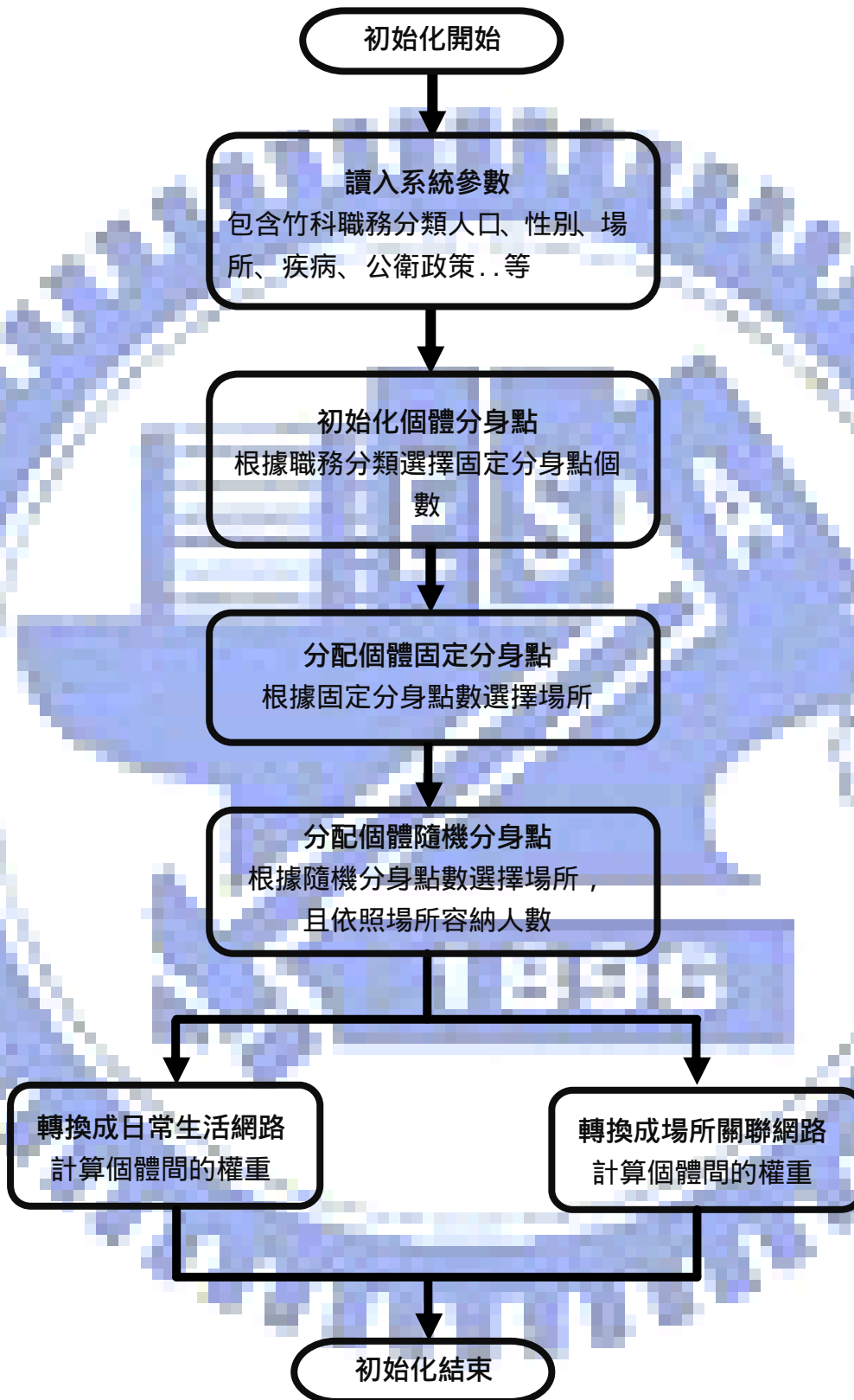


圖 20. 上班日的居住地

### 3.4 底層網路建構的流程



流程圖 1. 底層網路建構

### 3.5 個體屬性與染病過程

#### 3.5.1 個體的屬性

模型中個體擁有各種屬性，用來表示個體的疾病狀態、免疫力、行動力...等，以上的屬性主要用來表示個體的先天或後天的差異及模擬過程中因為感染或公衛政策介入等事件所造成個體狀態上的轉變。

屬性名稱	資料型態	說明
State	疾病狀態	個體的疾病狀態
Num_P_MI	整數	個體分身點的個數
Symp	布林值	個體是否發病
Isolated	布林值	個體是否被隔離治療
Quarantined	布林值	個體是否被居家隔離
Medication	布林值	個體是否服用克流感
Vaccined	布林值	個體是否接受疫苗注射
Latency_L	整數	潛藏期 (個體被感染後多久便具有傳染力)
LatencyPeriod	整數	潛伏期 (個體被感染後多久會發病)
Infect_L	整數	傳染期 (個體具有傳染力狀態所持續的天數)

表格 2. 個體的屬性參數設置表

### 3.5.1 染病過程及疾病參數設定

依照日常生活接觸網路所定義的權重，每一個體每天會與其他個體產生接觸，每一次的接觸是否成功傳染，則由發病患者傳染參數（SymptTransRate）及感染但尚未發病患者的傳染參數（AsymptTransRate）這兩個機率值來決定。

在本模型中使用了流感專用的 SEIR model 4 種疾病狀態（Susceptible、Exposed、Infectious、Recovered）來表現個體染病的過程：

1. S 代表易受感染的（susceptible），易感的狀態是指個體容易受到感染，但還未患病之時。
2. E 代表已感染但還不具傳染力（Exposed），或可表示為潛伏期。
3. I 代表感染的（Infections），是指已經被感染，正處于生病狀態並且可以傳染他人的個體。
4. R 代表離去(Removed)，就是個體已沒有任何危害能力（痊癒或死亡），表示有免疫能力不受感染。

從 E 進入 I 代表潛伏期（Latent Period）已經結束，個體開始具有傳染力。  
從 I 進入 R 代表感染期（Contagious Period）結束，處於狀態 R 的個體不具傳染力也不會再度受到感染。



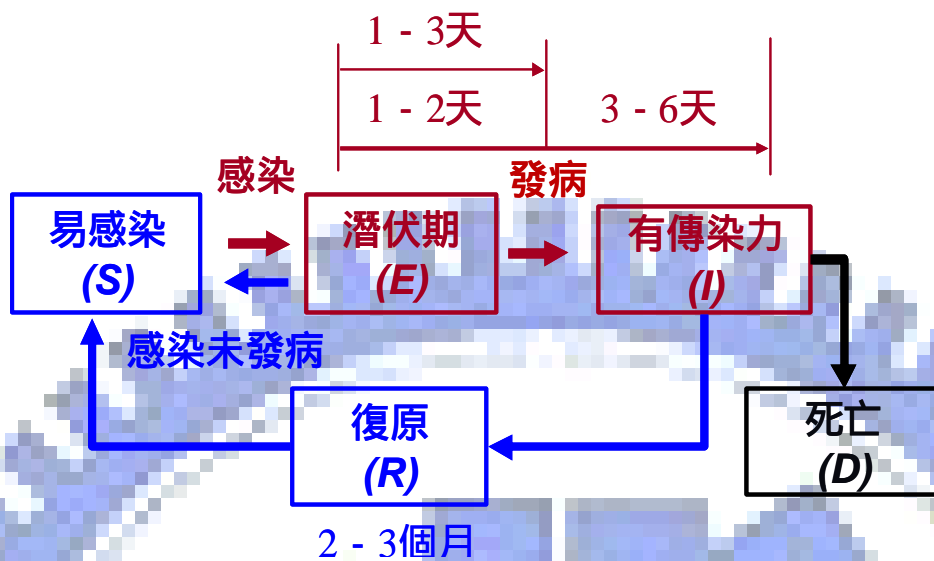


圖 21. 新型流感 SEIR 模型示意圖

由於我們模擬的是新型流感病毒的爆發，因此每個人對病毒並不具有免疫力，所以在人們初始的疾病狀態設定上，每一個人都是屬於 S 易受感染的狀態 (susceptible)。此外，我們假設新型的流行時間為一年，因此考慮人們康復後二到三個月的時間之後，因免疫力消失而再度被感染的情形，就是人們從復原狀態 R 再度回到易感狀態 S，如圖 21。

由於流感患者在發病前 (潛伏期) 就可能具有傳染力，所以在模擬個體的發病時我們使用個體的状态屬性 (State) 來代表患者發病與否，而從感染到發病所需的時間稱為潛伏期 (Incubation Period)。另外，因為每個流感患者在症狀表現上會有所差異，有部分的患者感染後並不會發病，對於那些尚未發病或不會發病的流感感染者，模型中設定他們只有發病者一半的傳染力。

參數名稱	資料型態	說明	設定值
SymptTransRate	浮點數	發病者每一次接觸的傳染機 率	見 3.5.2 小節
Asympt Trans Rate	浮點數	已感染但尚未發病者每一次 接觸的傳染機率	見 3.5.2 小節
Symptomatic Rate	浮點數	已感染的患者發病的機率	0.63 [18]
Latent Period	機率分布	潛藏期的機率分布	2 [19]
Incubation Period	機率分布	潛伏期的機率分布	4 [19]
Contagious Period	機率分布	傳染期的機率分布	3~6 [19]

表格 3. 疾病特性參數設置表

### 3.5.2 傳染率計算

在疾病參數的設定上，我們主要參考 Ferguson [19] 的設定，在我們的模型中疾病的傳染率計算公式如下：

$$I_B = 1 - \prod_{I=1}^{N-1} (1 - W_{B,I}) \quad (7)$$

：流感傳染機率。

N：代表與個體 B 有關聯且有傳染力的個體個數

I：與個體 B 有關聯的其他節點，有流感傳染力的個體編號。

$W_{B,I}$ ：表示個體 B 與有關聯的其他個體的權重。

例子：在圖二十中，個體 2、個體 3（紅色字）代表有感染能力，計算個體 5 受到感染計算。

ANS：

$$1 - [(1 - \beta \cdot W_{2,5}) \times (1 - \beta \cdot W_{3,5})]$$



圖 22. 日常生活接觸網路

### 3.6 公衛政策的模擬

在本模型中所考慮的公衛政策主要有下列幾項：疫苗、特效藥、居家隔離、戴口罩與洗手等，探討各項傳染阻絕政策在新型流感大流行期間的實施時間點、對象（職務分類、性別..等）及方式之成效。

以下簡述各項公衛政策的在模型中的表現方式、所使用的參數是參考 Longini [20]。

特效藥是指克流感藥物，對於克流感的藥效採取三個參數表示：AVES、AVEI、AVED [20]。

AVES：代表克流感藥物對於一個尚未受感染個體所提供的防護能力。例如：服用克流感藥物的人，在他與流感患者的接觸過程中，被傳染的機率降低多少。

AVEI：代表克流感藥物對於抑制已受感染個體所傳染給其他人的能力。例如：服用克流感藥物的流感患者，在他跟其他人接觸過程中，傳染給其他人的機率降低多少。

AVED：代表克流感藥物對於一個被感染但尚未發病的個體，可降低多少發病的機率。

另外由於流感藥物是有限的，所以另外採用一個參數表示克流感的藥劑庫存量（Drug\_num），以顆為單位。

居家隔離：限制流感患者的外出行為，或與流感患者接觸的個體外出行為。因為這些人可能已經有輕度感染，很有可能會傳染給其他人。先用一個機率值來決定是否讓此人參與居家隔離政策，此機率值為 quarantine\_Rate。如果參與居家隔離，我們將他的分身點改為 1（住家），其餘的分身點都移除。

流感疫苗：參考克流感藥物的定義，設定兩個參數來定義疫苗的效果 VES、VEI。

VES：VES 表示流感疫苗對於疫苗接種者的保護能力。例如：施打疫苗的個體，跟流感患者的接觸過程中，被傳染的機率比未打疫苗個體降低多少。

VEI：VEI 表示流感疫苗對於疫苗接種者，抑制病毒擴散的效果。例如：施打疫苗的流感患者在與其他個體的接觸過程中，傳染給其他個體的機率降低多少。

戴口罩與洗手：減少流感病毒透過飛沫傳染和接觸傳染的機率。這個政策主要是在戴口罩時有二個參數值 參與率（ participation\_rate ）與防疫率（ prevention\_rate ），可針對不同的狀況作調整。

參與率表示有戴口罩與洗手習慣的人佔總人口的百分比。

防疫率則代表民眾戴的口罩的防禦等級。

## 第四章：實驗與結果

實驗可分為兩個部分，一個是驗證日常生活網路的小世界性質，另一個是在疾病的動態模擬與公衛政策探討。

### 4.1 驗證日常生活網路的小世界性質

如前 3.3.1 及 3.3.2 小節所述，我們概略估計了竹科的固定及隨機分身點場所總數為 61790 處（概略高估）及 16102 處（概略低估），而竹科人口共 125598 人，忽略精密機械&生物科技 2860 人，共 122738 人。

- ◆ 概略高估：人口數：場所數= 122738：61790 = 1:0.5034 = 1000：500。
- ◆ 概略低估：人口數：場所數= 122738：16102 = 1:0.1311 = 1000：131。

因為是概略估計，因此我們在電腦建模時，需要將場所數較少或場所數較多的條件考慮進去，並且模擬結果觀察其相關性，也就是我們要考量 1000：65 及 1000：131、1000：262、1000：500、1000：1000 等五組的人口場所模組。

各種大小的人口場所模組，比較它們的日常生活接觸網路的小世界性質，即群聚性與平均路徑長度（分隔度）及網絡密度；由表格 4 的模擬結果看來數值是在合理的差距間。所以我們用小尺度的人口場所數來模擬等於大尺度的人口場所數模擬。模擬結果符合小世界及無尺度網路特性，亦就是竹科社會網路具有高群聚性、低分隔度與個體接觸的人數成幕次律分佈。

人口數=1000 場所數=65	群聚度		0.83224	人口數=1000 場所數=500	群聚度		0.854233
	分隔度		2.083		分隔度		2.388015
	密度		0.29301		密度		0.091574
	幕次率	個體分身點數	-1.3858		幕次率	個體分身點數	-1.9971
場所容納人數		-1.474	場所容納人數	-1.4566			
個體接觸人數		-0.4501	個體接觸人數	-0.62085			
人口數=1000 場所數=131	群聚度		0.82088	人口數=1000 場所數=1000	群聚度		0.67935
	分隔度		2.183099		分隔度		2.58
	密度		0.027989		密度		0.0783
	幕次率	個體分身點數	-1.7189		幕次率	個體分身點數	-2.01735
場所容納人數		-1.6908	場所容納人數	-1.6163			
個體接觸人數		-0.5971	個體接觸人數	-0.81243			
人口數=1000 場所數=262	群聚度		0.799862	人口數=1000 場所數=2000	群聚度		0.72161
	分隔度		2.386735		分隔度		2.6812
	密度		0.021425		密度		0.067524
	幕次率	個體分身點數	-1.8345		幕次率	個體分身點數	-2.15631
場所容納人數		-1.3968	場所容納人數	-1.7204			
個體接觸人數		-0.6036	個體接觸人數	-0.8558			

表格 4. 社會網路驗證表

## 4.2 疾病的動態模擬與公衛政策探討

在這章節中，我們主要是去模擬流感的動態傳播與公衛政策對於流感的影響，以及探討公衛政策的效率。

### 4.2.1 模擬無公衛政策下的流感爆發情形

模擬無公衛政策下的流感爆發情形，根據竹科行業人口比例抽樣問卷調查所統計的職務人口比例，來設定竹科人口參數（圖 23），再參考 Longini et al. 2004 [20] 及 Stroud et al. 2007 [21] 設定流感參數（圖 24），模擬時期為一年（53 週），模擬結果為 30 次的平均值，並驗證是否符合前三年該時期之平均病例數。首先，模擬推估的人口場所模組，1000：131 及 1000：500，其中感染人數比例為當週新增感染數 / 當年總感染數，如此作法是將其正規化，去掉網路規模效應的影響性。再來依序比較 1000：262 及 1000：1000 的人口場所模組，以及場所數較少的 1000：65 人口場所模組。



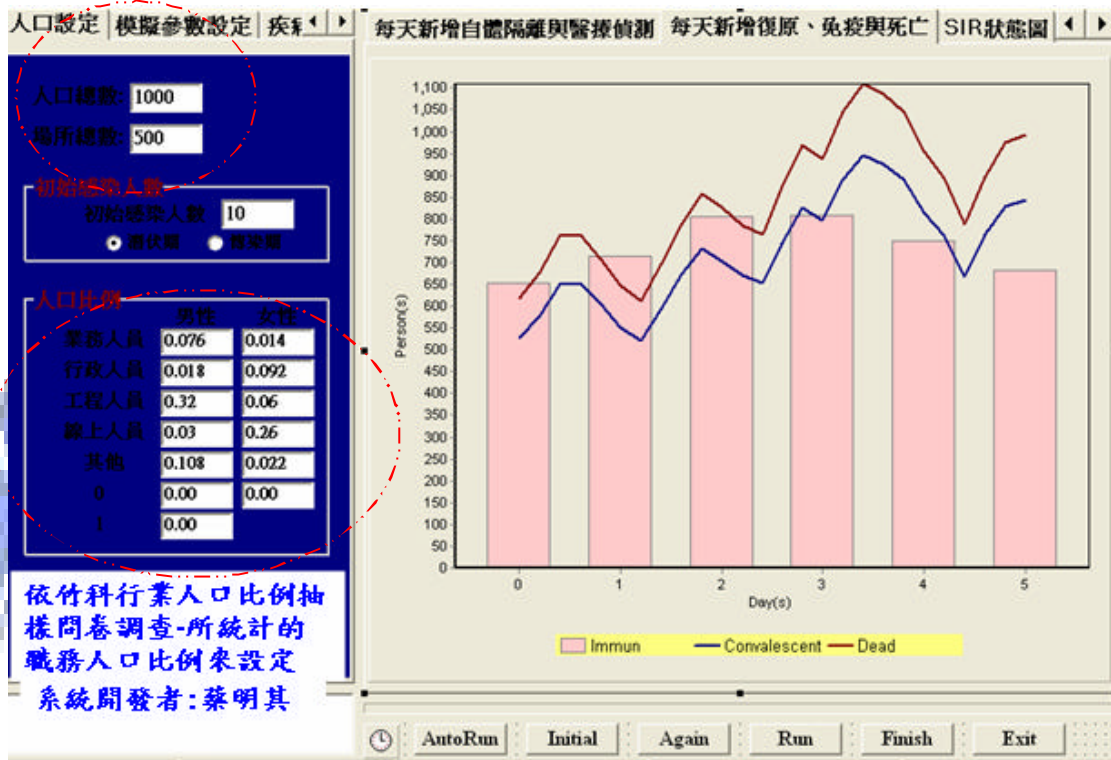
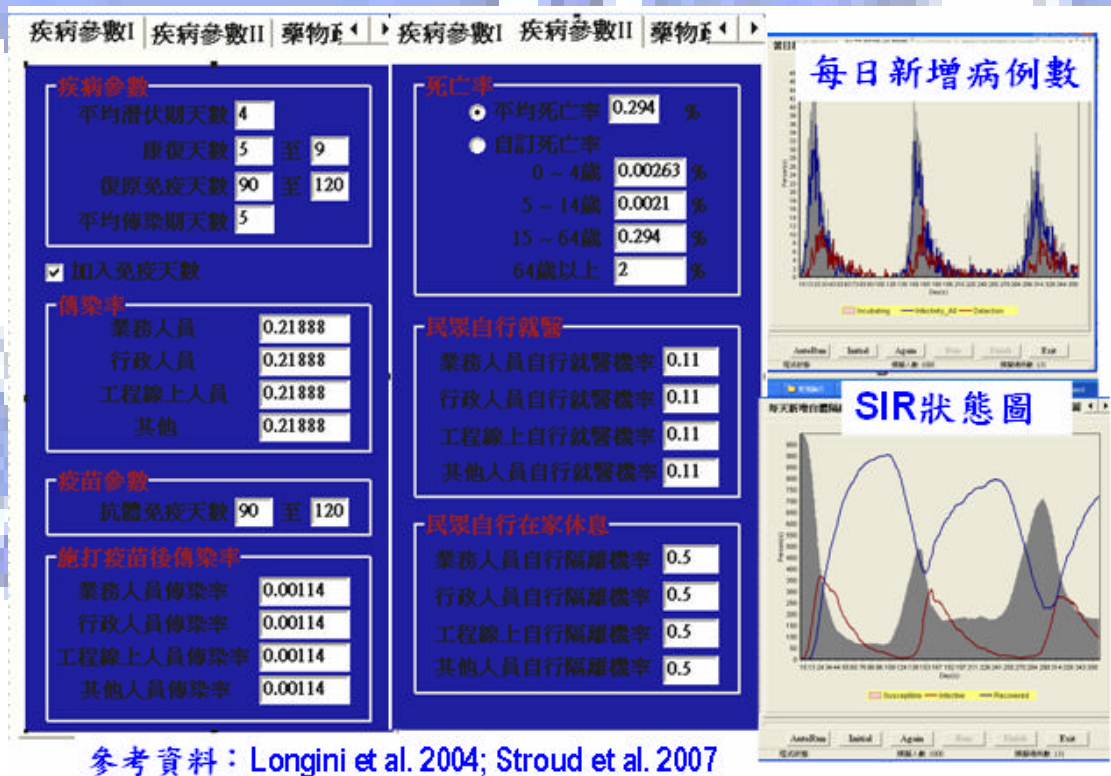


圖 23. 竹科人口參數設定



參考資料: Longini et al. 2004; Stroud et al. 2007

圖 24. 流感參數設定



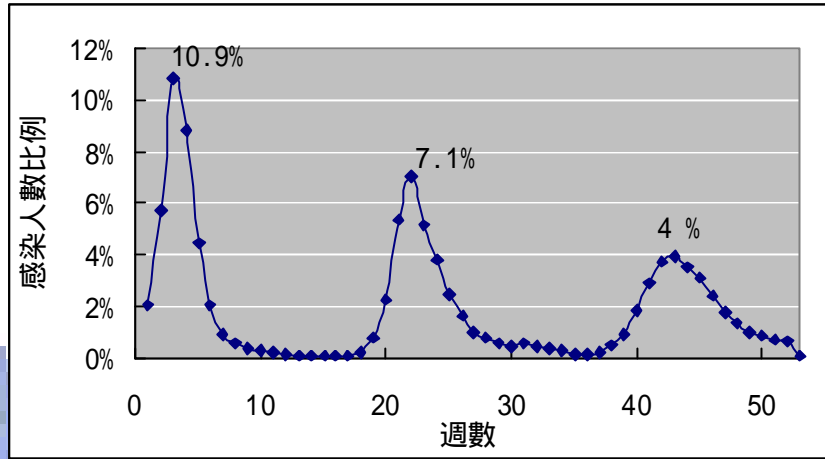


圖 25. 1000 人 131 場所感染曲線

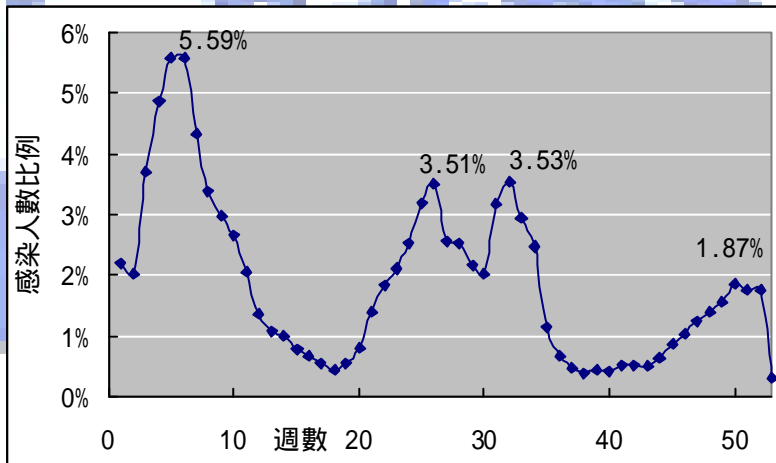


圖 26. 1000 人 500 場所感染曲線

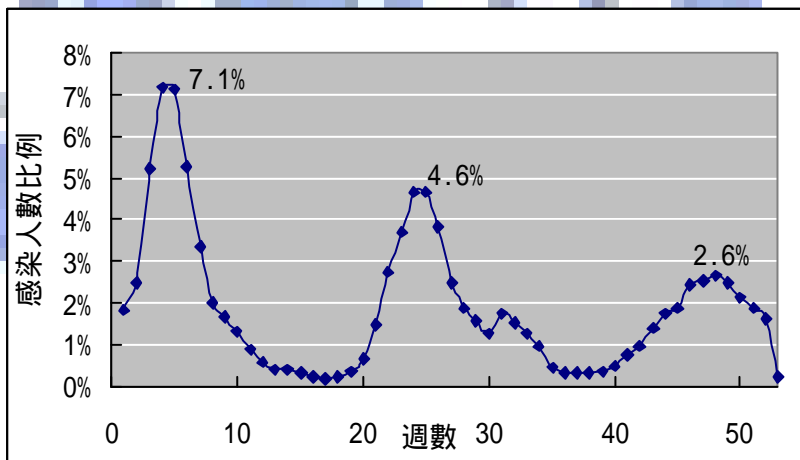


圖 27. 1000 人 262 場所感染曲線

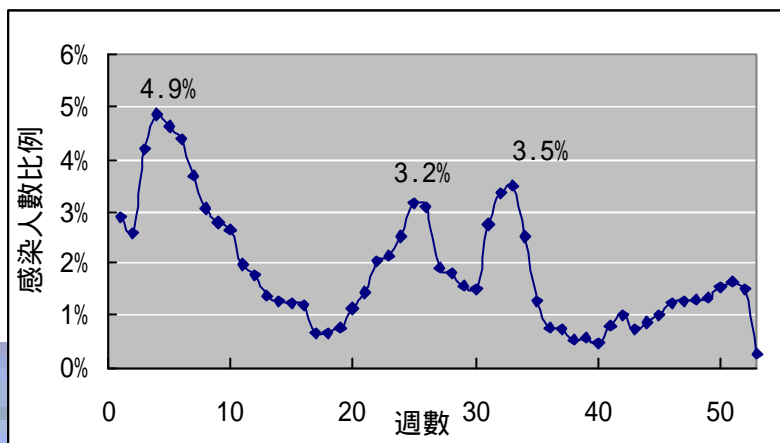


圖 28. 1000 人 1000 場所感染曲線

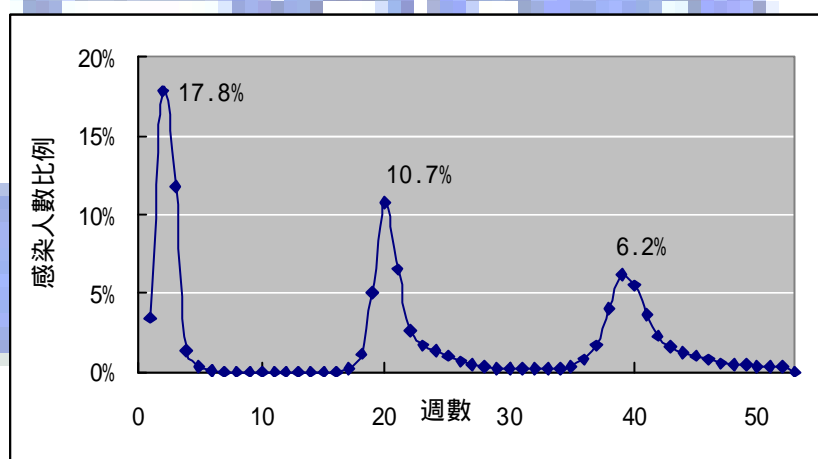


圖 29. 1000 人 65 場所感染曲線

我們觀察到當人口數不變（固定設定 1000 人）而場所數越少，感染的人數比例越高，這是因為場所數變少，則場所的人口密度相對就高，因此感染的機率就增加。

接著，我們加入 CDC（疾管局）2002 年到 2007 年的實際流感資料來比較，我們先以概略估計的 1000 : 131 及 1000 : 500 人口場所模組，和 CDC 2002~2004 年及 2005~2007 年台灣區流感真實通報資料 [22] 的二組 3 年平均值來作比較，接著依序比較 1000 : 262、1000 : 1000 的人口場所模組，以及場所數較少的 1000 : 65 人口場所模組。

模擬實驗完成後，100：1000 及 1000：500 人口場所模組，較符合 2002~2004 年台灣區流感真實通報的平均值，而和 2005~2007 的流感曲線會不太符合是由於 2006 年第 51 週~53 週爆發 INFB 型流感，因此將平均值往上拉。

而場所數較少的人口場所模組 1000：65 及 1000：131 和 1000：262，則明顯的有 3 波流感爆發期，比較不符合 2002~2007 年的台灣區流感真實通報數據（圖 30 及圖 34），從此實驗可以判斷之前的場所數概略估計，似乎以概略高估的人口場所模組 1000：500 較合理。

而還有一點值得特地提出的是，即使 1000：500 人口場所模組模擬結果，較符合真實流感通報曲線，但還有稍微不同的原因判斷為因年齡層的關係（圖 31）；竹科人員年齡層都集中在 15 ~ 64 歲年齡層，並無全國區域的 0 ~ 4、5 ~ 14 及 64 歲以上年齡層的人員，而 15 ~ 64 歲為相對分身點（去的場所）最多的年齡層，因此會有此現象。

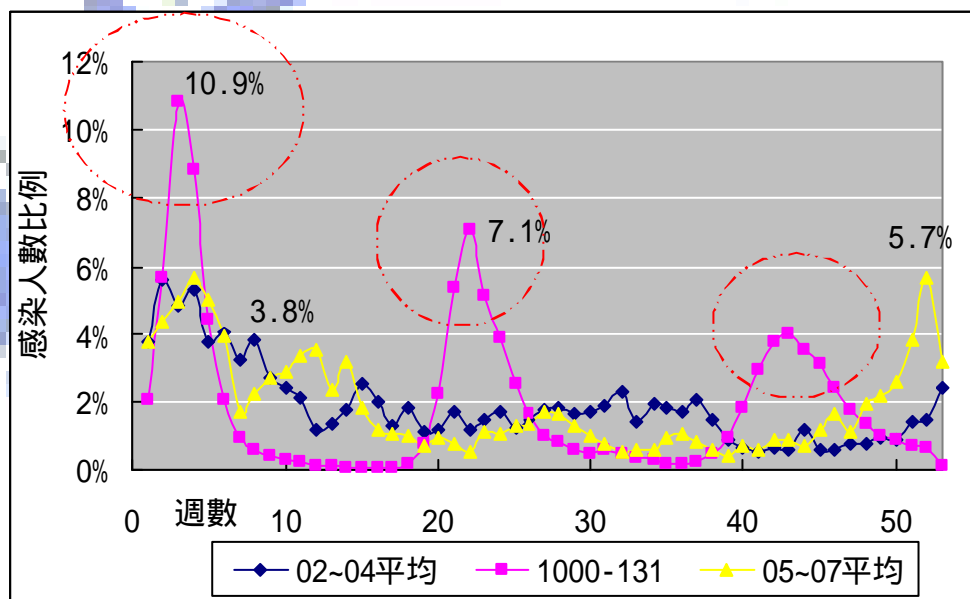


圖 30. 1000 人 131 場所模擬 & 2002~2007 年台灣區流感真實通報感染曲線比較

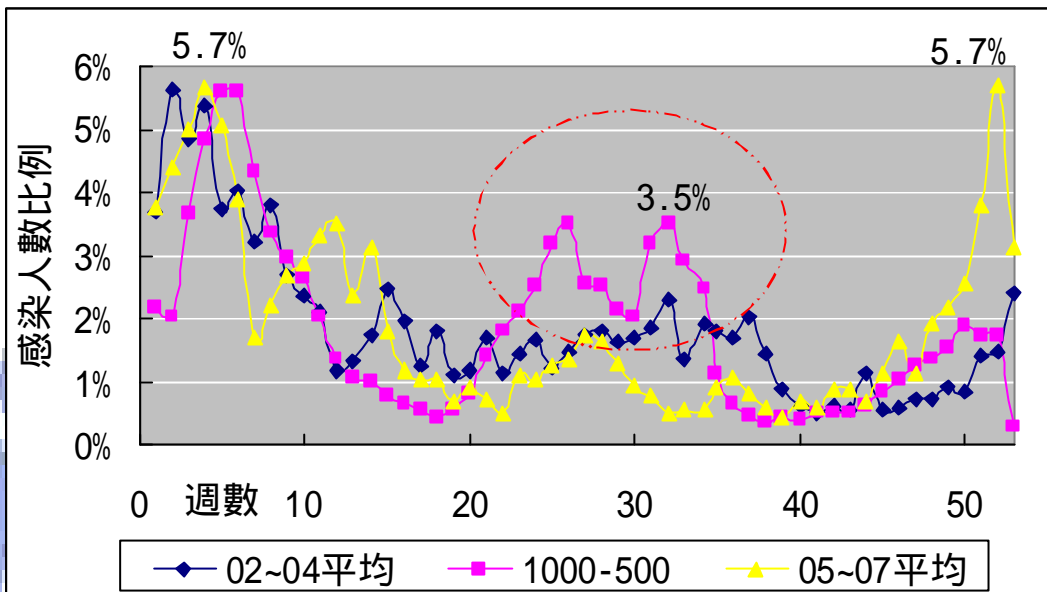


圖 31. 1000人500場所模擬 & 2002~2007年台灣區流感真實通報  
感染曲線比較

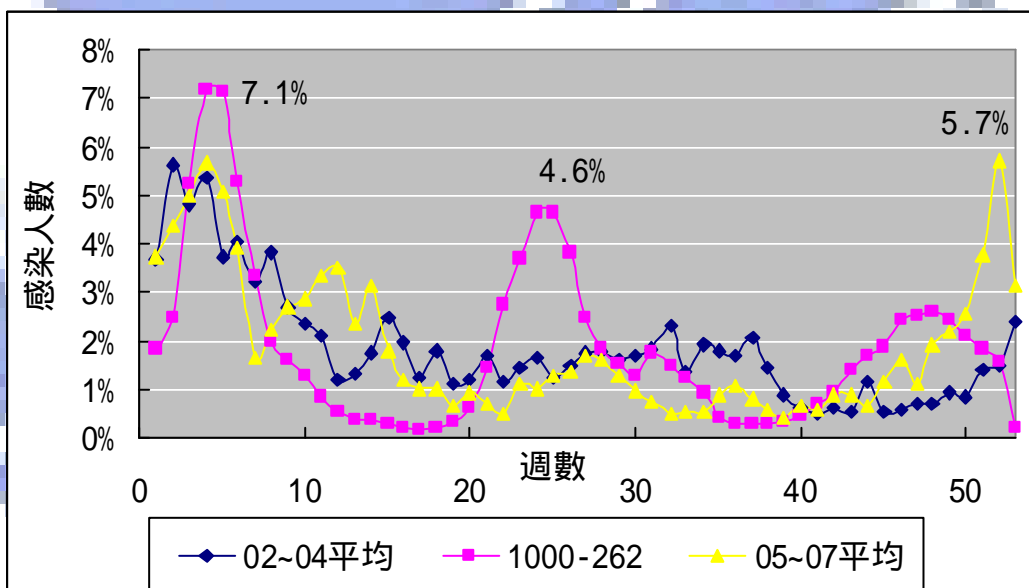


圖 32. 1000人262場所模擬 & 2002~2007年台灣區流感真實通報  
感染曲線比較

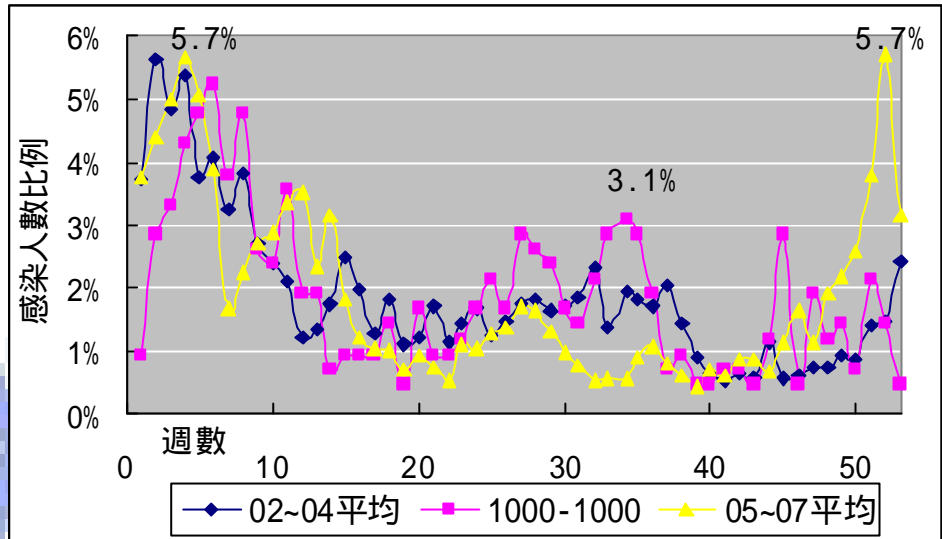


圖 33. 1000 人 1000 場所模擬 & 2002~2007 年台灣區流感真實通報  
感染曲線比較

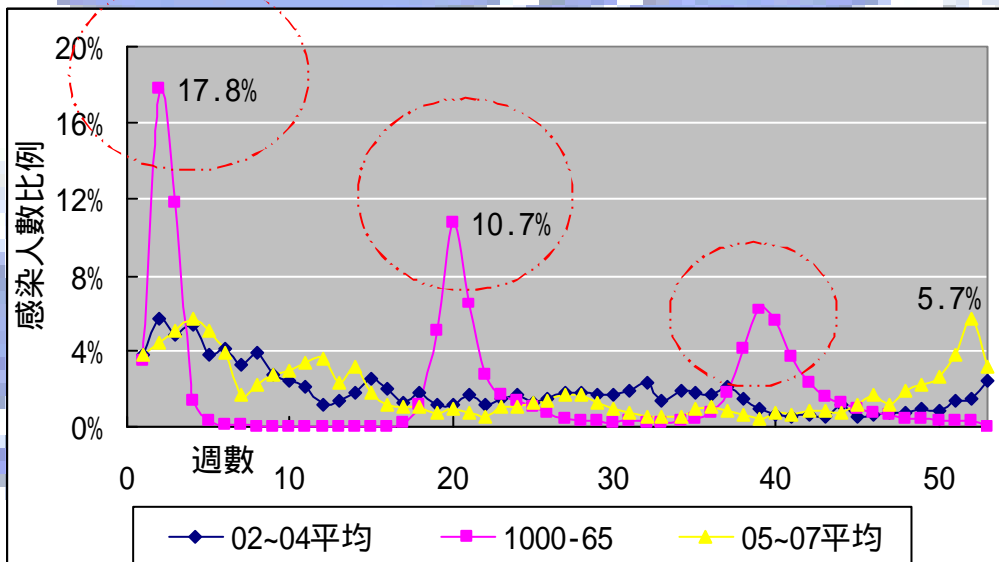


圖 34. 1000 人 65 場所模擬 & 2002~2007 年台灣區流感真實通報  
感染曲線比較

#### 4.2.2 模擬公衛政策流感疫苗的成效

接下來固定以較符合真實流感曲線的 1000 : 500 人口場所模組來進行實驗，模擬真實時間一年的時間，模擬結果為 10 次的平均值，以比較各種公衛政策，並選出符合成本效益的公衛政策。而我們設定的流感傳染率、免疫天數、就醫率及隔離率、死亡率..等，所使用的參數是參考 (Longini et al. 2004) [20] 及 (Stroud et al. 2007) [21]來設定 ( 圖 35) 。

流感疫苗的公衛政策成效實驗，主要是探討不同的疫苗接種方法，在不同的疫苗接種率下對於流感爆發的影響，我們用相同數量( 30%人口數劑量的疫苗 )，實施時間為 10 月份的第 1 天，比較 3 種接種疫苗的方法之成效：

1. 隨機接種，實驗結果總感染人數 1317.5 人。人數理論上應該要整數，但由於是模擬數據要力求精確，因此需要小數點。
2. 接種與流感病患接觸者，總感染人數 861 人。
3. 程式裡，將所有的人口依照接觸人數多寡來做排列。選擇前 30% 接觸人數多的人員來接種，亦就是高危險族群前 30%，例如：業務人員、客服人員。總感染人數 578 人。

很明顯，在相同條件的疫苗政策比較下，政策效果為高危險族群 > 與流感病患接觸者 > 隨機接種。( 圖 36 )。

接著，我們繼續模擬高危險族群來接種的人數百分比要多少符合成本效益。

1. 選擇前 10 % 高危險族群接種，總感染人數 1353.67 人。
2. 選擇前 20 % 高危險族群接種，總感染人數 1206.67 人。
3. 選擇前 30 % 高危險族群接種，總感染人數 578 人。

4. 選擇前 40 % 高危險族群接種，總感染人數 366.67 人。
5. 選擇前 50 % 高危險族群接種，總感染人數 237.33 人。
6. 選擇前 60 % 高危險族群接種，總感染人數 24 人。

所以，接種感染率有效的門檻值為前 50 % ~ 60 % 的人員，而前 60 % 總感染人數比前 50 % 降低約 90%，所以，較符合成本效益的政策為選擇前 60 % 高危險族群接種。（圖 37）。但在實務上實行此項政策或許不易，因為程式要找出前 60% 接觸人數高的人員很容易，但在實際上要找出前 60% 接觸人數高的人員，或許不易，不過，大致上業務人員及客服人員的接觸人數都較一般職務者高。

The screenshot shows a software interface for setting epidemic control parameters. The interface is divided into three main panels: '藥物政策' (Drug Policy), '施打疫苗' (Vaccination), and '居家隔離' (Home Isolation). Each panel contains various settings like '啟用' (Enable), '藥劑數量' (Drug quantity), '疫苗數量' (Vaccine quantity), '使用對象' (Target audience), and '自動模擬' (Automatic simulation).

- 藥物政策 (Drug Policy):**
  - 啟用 抗病毒藥物政策
  - 藥劑數量: 0.3 (佔總人口比例)
  - 藥物效率:
    - 對易受感染者預防效果: 30 %
    - 對受感染者預防效果: 60 %
    - 減輕流感症狀的效果: 50 %
  - 使用時機:
    - 事前預防
    - 事發治療
  - 高危險族群: 服用藥物的人口比例 0.1
  - 行政人員: 服用藥物的人口比例 0.1
  - 工程線上人員: 服用藥物的人口比例 0.1
  - 其他: 服用藥物的人口比例 0.1
  - 自動模擬: 政策實施的時間點 1
- 施打疫苗 (Vaccination):**
  - 啟用 疫苗施打政策
  - 疫苗數量: 0.3 (佔總人口比例)
  - 疫苗政策:
    - 易受感染者預防效果: 70 %
    - 傳染者減少傳染效果: 80 %
  - 施打方式:
    - 隨機選擇
    - 選擇特定族群
    - 直接與病患接觸
  - 特定族群選擇:
    - 高危險族群: 施打疫苗的比例 0.1
    - 行政人員: 施打疫苗的比例 0.1
    - 工程線上人員: 施打疫苗的比例 0.1
    - 其他人員: 施打疫苗的比例 0.1
  - 自動模擬: 政策實施的時間點 1
- 居家隔離 (Home Isolation):**
  - 啟用 退回洗手戴口罩
  - 使用對象:
    - 高危險族群: 外科口罩 使用數量 0.7
    - 行政人員: 一般口罩 使用數量 0.1
    - 工程線上人員: 一般口罩 使用數量 0.1
    - 其他: 一般口罩 使用數量 0.1
  - 洗手戴口罩 居家隔離檢疫
  - 啟用 居家隔離檢疫: 隔離天數 8
  - 選擇隔離對象:
    - A級隔離政策
    - B級隔離政策
  - 自動模擬: 政策實施的時間點 1

圖 35. 傳染阻絕政策程式參數設定



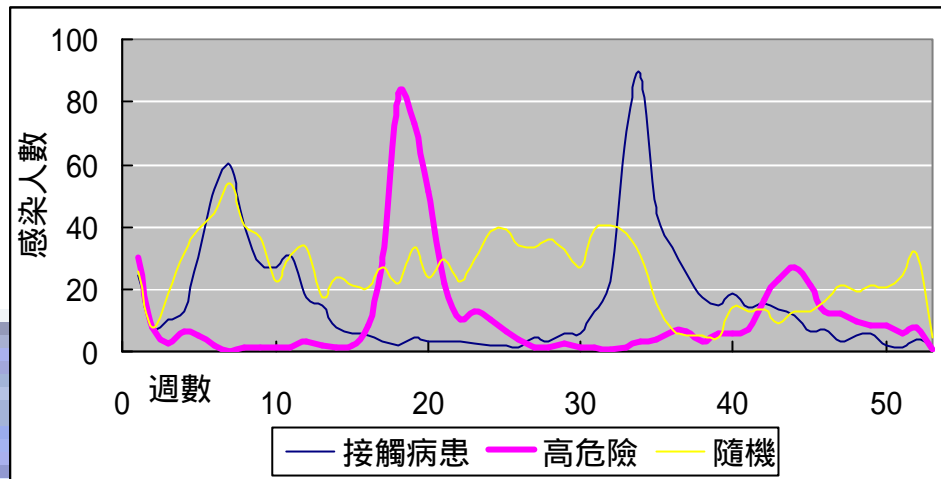


圖 36. 比較 3 種接種疫苗方法的效果

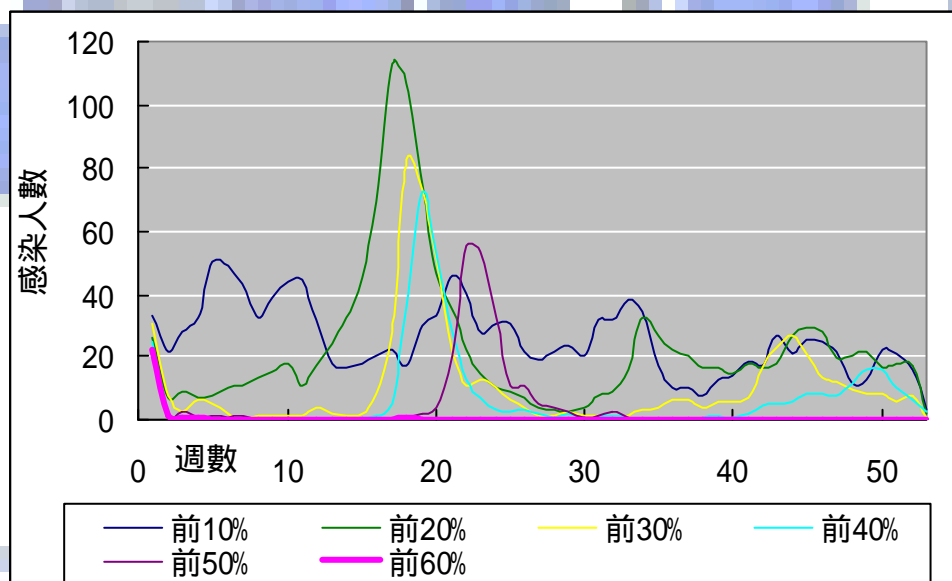


圖 37. 比較高危險族群接種疫苗的人數百分比

#### 4.2.3 模擬公衛政策流感藥物的成效

我們用相同數量（10%人口數劑量的藥物），實施時間為10月份的第1天，比較3種藥物政策的成效：

1. 在感染前服用預防流感藥物，針對竹科裏前10%高危險族群服用，總感染人數1075.67人。
2. 在感染前服用預防流感藥物，針對隨機10%人口，總感染人數1361.67人。
3. 流感藥物在人員感染後治療，總感染人數1348人。

選擇前10%高危險族群在感染前服用預防流感藥物的政策較有效。

同樣條件實施時間改為10月份的第14天：

1. 在感染前服用預防流感藥物，針對竹科前10%高危險族群，總感染人數1147.33人。
2. 在感染前服用預防流感藥物，針對隨機10%人口，總感染人數1221.67人。
3. 流感藥物感染後治療，總感染人數1361.67人。

同樣條件公衛實施時間改為10月份的第28天：

1. 在感染前服用預防流感藥物，針對竹科前10%高危險族群，總感染人數1322.33人。
2. 在感染前服用預防流感藥物，針對隨機10%人口，總感染人數1296.33人。
3. 流感藥物感染後治療，總感染人數1305人。

做了諸多實驗，以10月份的第1天實施針對竹科前10%高危險族群感染前服用預防流感藥物，此政策較有效。

並且我們觀察到流感藥物在感染發生後治療，實施的時間在 28 天後比第 1 天就實施更能控制感染人數。

我們接著實驗模擬高危險族群（接觸人數高的人員）來接種的人數百分比要多少符合成本效益：

1. 選擇前 20 % 高危險族群感染前服用預防流感藥物，總感染人數 622.33 人。
2. 選擇前 30 % 高危險族群感染前服用預防流感藥物，總感染人數 35.33 人。
3. 選擇前 40 % 高危險族群感染前服用預防流感藥物，總感染人數 24.3334 人。
4. 選擇前 50 % 高危險族群感染前服用預防流感藥物，總感染人數 24.3331 人。

所以，高危險族群在事前服用流感藥物的百分比，有效的門檻值為前 20 % ~ 30 %，而前 30 % 總感染人數比前 20 % 降低約 94.3 %，所以，較符合成本效益的政策為選擇前 30 % 高危險族群感染前服用預防流感藥物（圖 41）。

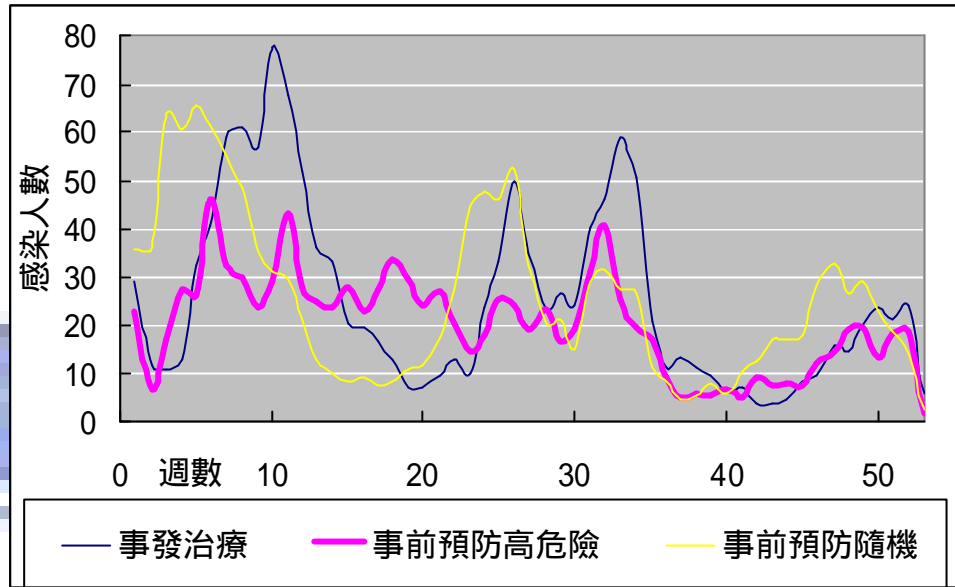


圖 38. 第 1 天實施公衛，比較 3 種藥物政策

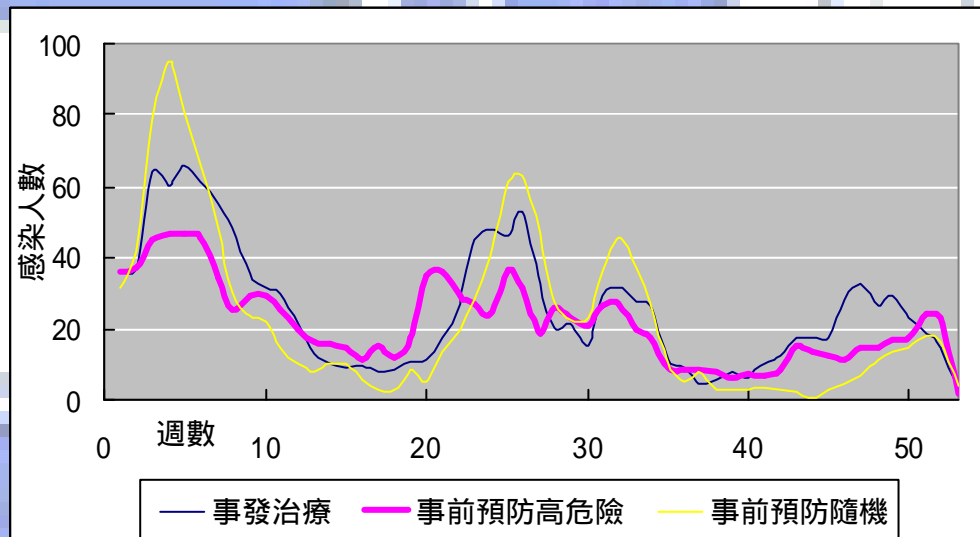


圖 39. 第 14 天實施公衛，比較 3 種藥物政策

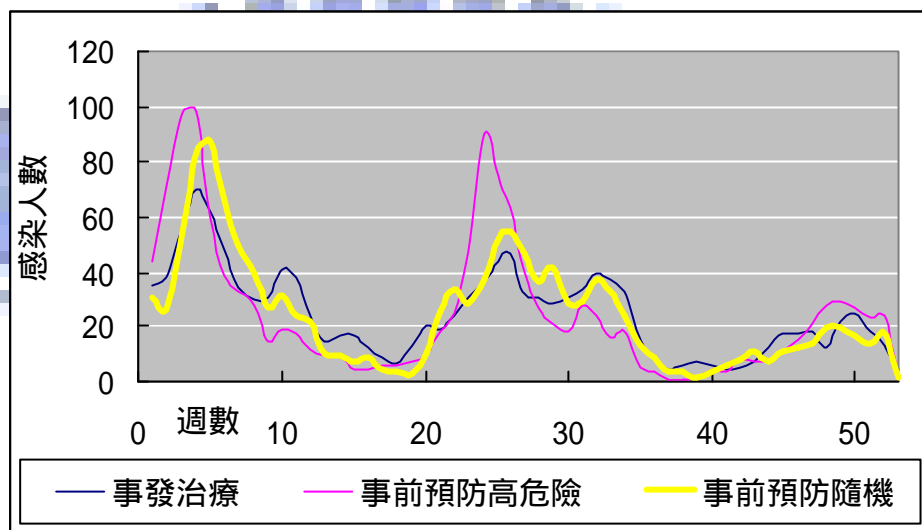


圖 40. 第 28 天實施公衛，比較 3 種藥物政策

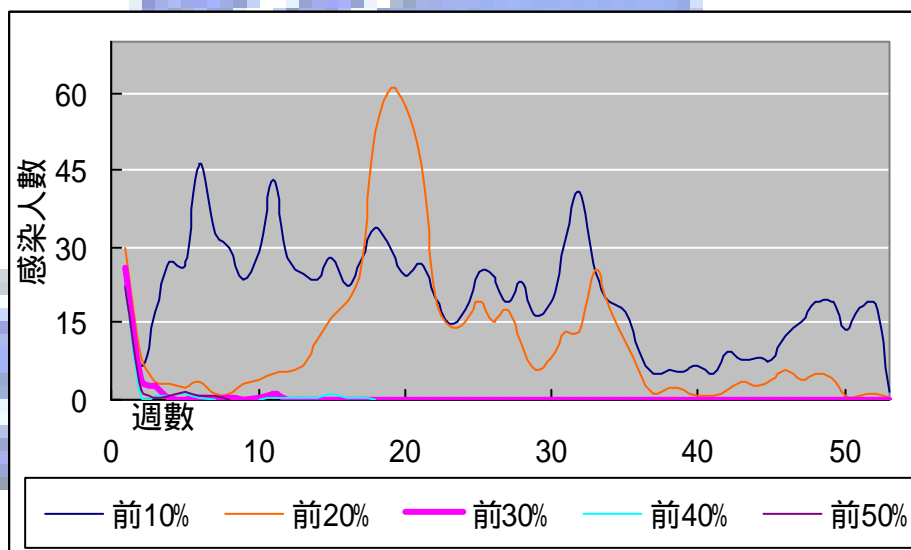


圖 41. 比較高危險族群在感染前服用流感藥物的百分比人數

#### 4.2.4 模擬居家隔離公衛政策的成效

居家隔離政策主要是減少社會網路接觸，觀察對於流感爆發的影響。此次模擬實驗實施時間為 10 月份的第 1 天，隔離天數為 8 天，期間為 1 年，比較 2 種居家隔離政策的成效，分別在於隔離的範圍不同。

1. A 級隔離對象，病患和與病患接觸的個體。感染總人數為 1237.33 人，隔離總人數為 2404 人。
2. B 級隔離對象，病患、與病患接觸的個體和與病患接觸的個體所接觸的個體。感染總人數為 876.67 人，隔離總人數為 11203 人。

我們很難看出那種居家隔離政策成效較好，因為 B 級隔離雖然感染人數較少，但隔離總人數卻為 A 級隔離政策的 4.66 倍，不符合社會成本效益，因此或許居家隔離政策要搭配其他公衛政策來實施，才能看出成效。

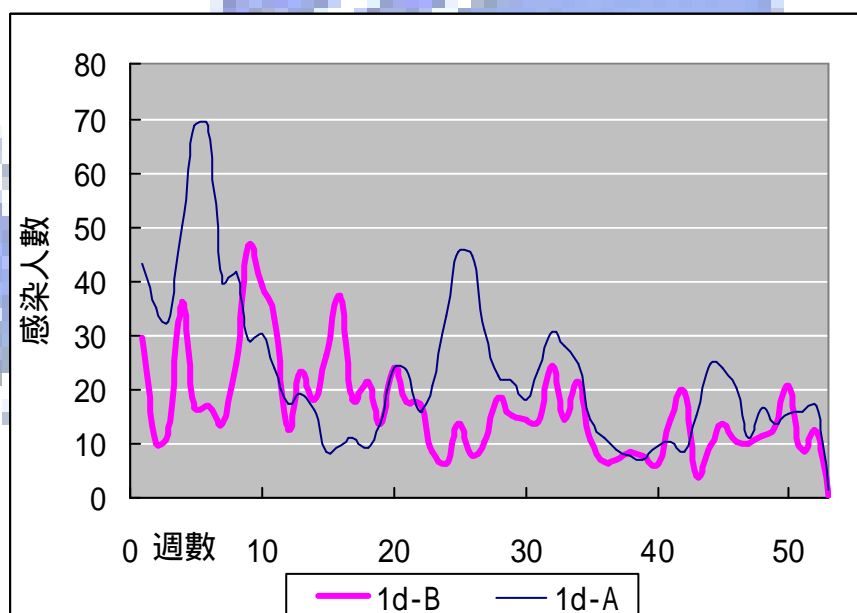


圖 42. 隔離政策感染人數比較

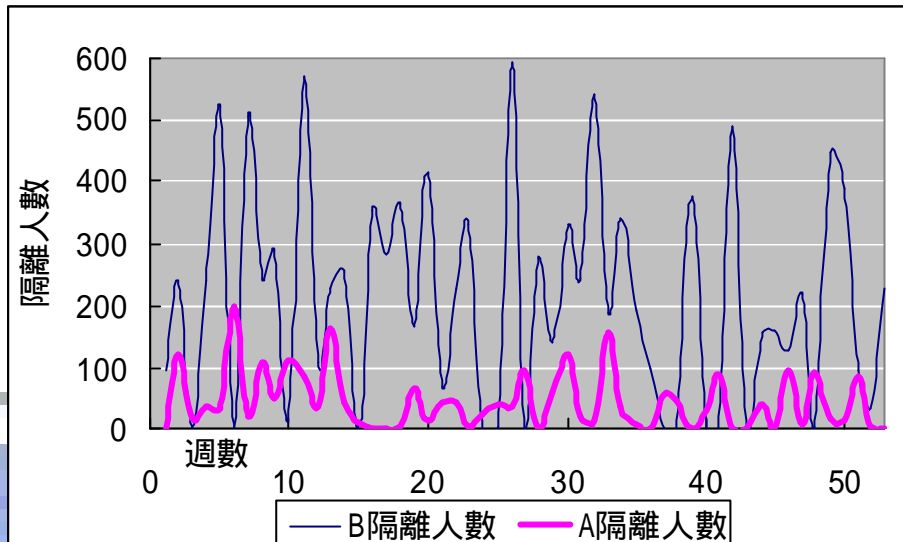


圖 43. 隔離政策隔離人數比較

#### 4.2.5 模擬戴口罩公衛政策的成效

採取戴口罩與洗手政策，主要是減少感染的機率，對流感爆發的影響。

此次模擬實驗實施時間為 10 月份的第 1 天，期間為 1 年，實施對象為前 20% 高危險族群，比較 3 種戴口罩隔離政策的成效。

1. 不戴口罩，總感染人數為 1455 人。
2. 戴一般口罩，防護率設定為 0.15，總感染人數為 1380.67 人。
3. 戴外科口罩，防護率設定為 0.5，總感染人數為 757.33 人。
4. 戴 N95 口罩，防護率設定為 0.95，總感染人數為 42 人。

很明顯，竹科前 20% 高危險族群戴 N95 口罩，的確可以將感染率到降到很低，（圖 44）但防護率越高越不透氣，也越不舒服，因為還要工作，實務上竹科人員可能會無法長久配戴，且 N95 口罩社會成本太高，不可能每人都戴，因此我們以外科口罩為主要策略，它的透氣性也較佳，防護率也不錯。



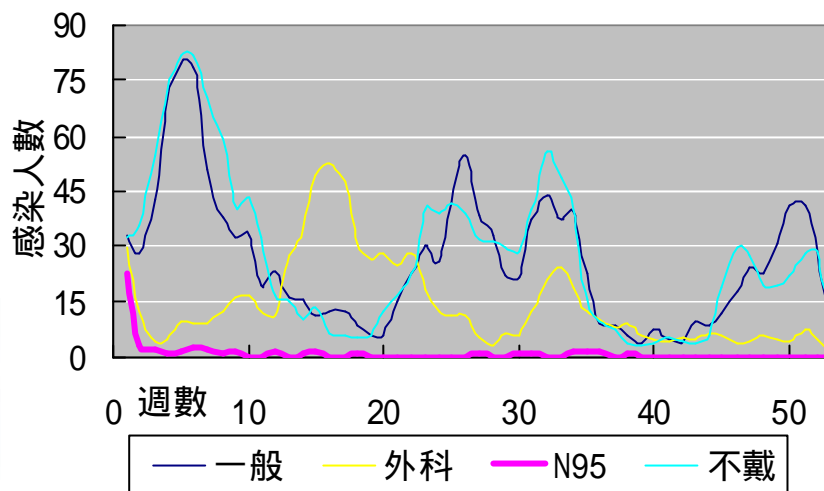


圖 45. 比較 3 種口罩政策的成效

### 4.3 公衛政策模擬

前一章節已分別探討各種公衛的成效，在這一節我們將前述的公衛政策作一些組合，來找出一個符合成本且有效的公衛政策。接下來固定以人口場所模組 1000 : 500 人口場所模來進行實驗，模擬真實時間一年的時間，模擬結果為 10 次的平均值。

1. A 公衛政策，10 月份第一天實施竹科前 20 % 高危險族群與隨機 60% 的人戴外科口罩，竹科前 20 % 高危險族群及隨機 40 % 的人員打流感疫苗，第 21 天實施 A 級隔離政策隔離 8 天。總感染人數 49.33 人，隔離總人數 35.67 人。無公衛政策總感染人數 1455 人，政策效果為無政策總感染數 / 執行 A 公衛政策總感染數 =  $1455 / 49.33 = 29.5$ 。
2. B 公衛政策，10 月份第一天實施竹科前 20 % 高危險族群與隨機 70% 的人戴外科口罩，在感染後以流感藥物治療 ( 50 % 竹科人口劑量 )，第 28 天實施 B 級隔離政策隔離 8 天。總感染人數 36.33，隔離總人數 0 人。政策效果

為 40.04。

3. C 公衛政策，10 月份第一天實施竹科前 20 % 高危險族群與隨機 70% 的人戴外科口罩，竹科前 30 % 高危險族群感染前服用預防流感藥物，第 21 天實施 A 級隔離政策隔離 8 天。總感染人數 22.6 人，隔離總人數 0 人。政策效果為 64.38。
4. D 公衛政策，10 月份第一天實施竹科前 20 % 與高危險族群與隨機 60% 的人戴外科口罩，施打疫苗在直接接觸病患之人員（20 % 竹科人口劑量），第 14 天實施流感藥物感染後治療（上限為 30 % 竹科人口劑量），第 21 天實施 A 級隔離政策隔離 8 天。總感染人數 30.99 人，隔離總人數 0 人。政策效果為 46.95。

政策效果比較：C 公衛政策 64.38 > D 公衛政策 46.95 > B 公衛政策 40.04  
> A 公衛政策 29.5

我們可以看出，以政策效果來看，C 公衛政策是最好的，以隔離總人數來看，B 和 C 及 D 公衛政策都是 0 人隔離，而考量成本效益，C 公衛政策也是兼具，因為該政策所使用的資源相對其他政策較少。

但從實際執行面上，D 公衛政策應是比 C 公衛政策來的可行，因為要在竹科找到前 30 % 高危險族群的人員，會比找前 20 % 高危險族群的人員困難，原因是因為竹科的業務人員、客戶服務人員等工作屬性接觸較多人之工作人員約占 20 % 左右。

所以，我們建議相關決策者，可在竹科的流感防疫策略上，參考前述的 C 公衛政策及 D 公衛政策，來做為決策的依據。

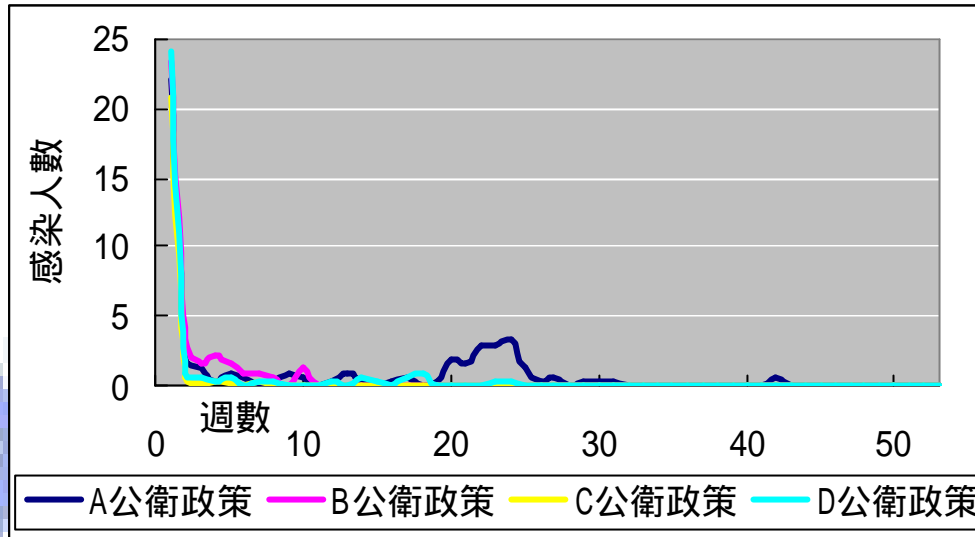


圖 46. 公衛政策感染人數比較

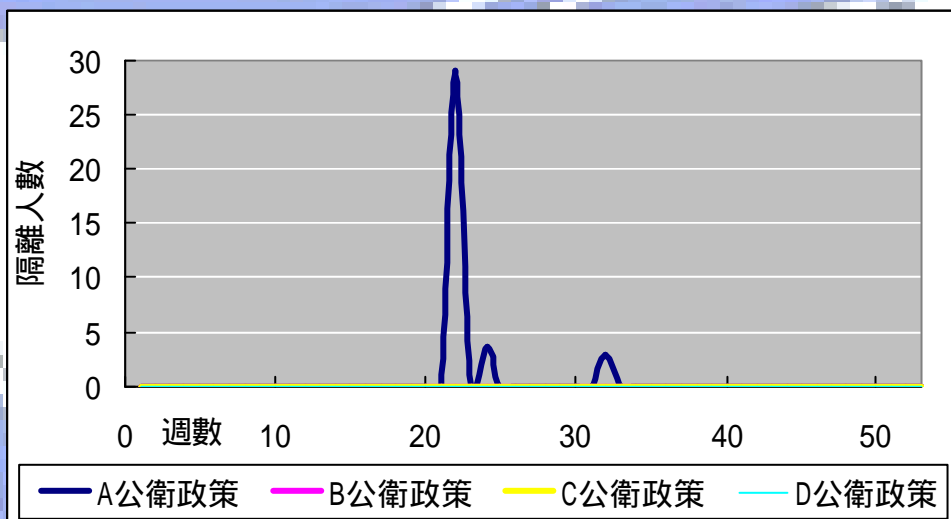


圖 47. 公衛政策隔離人數比較

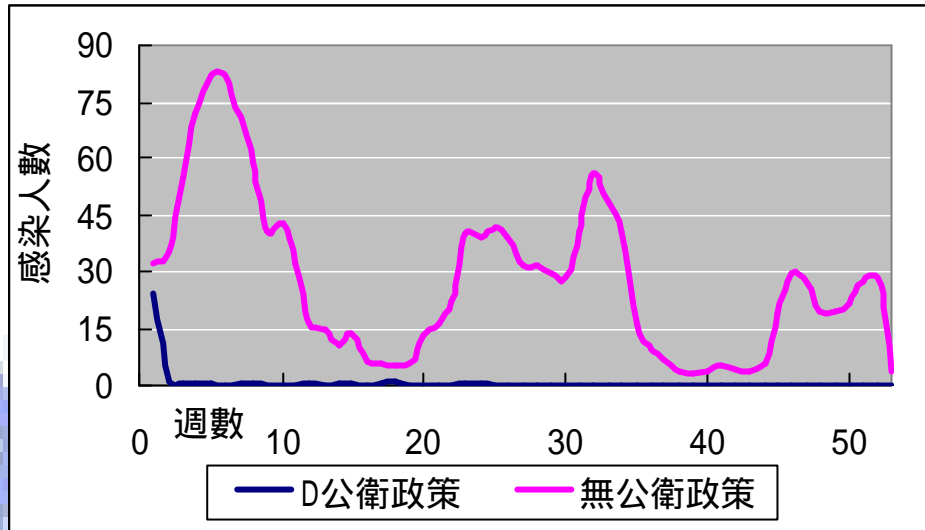


圖 48. D 公衛政策,政策效果 46.95 & 無公衛政策比較

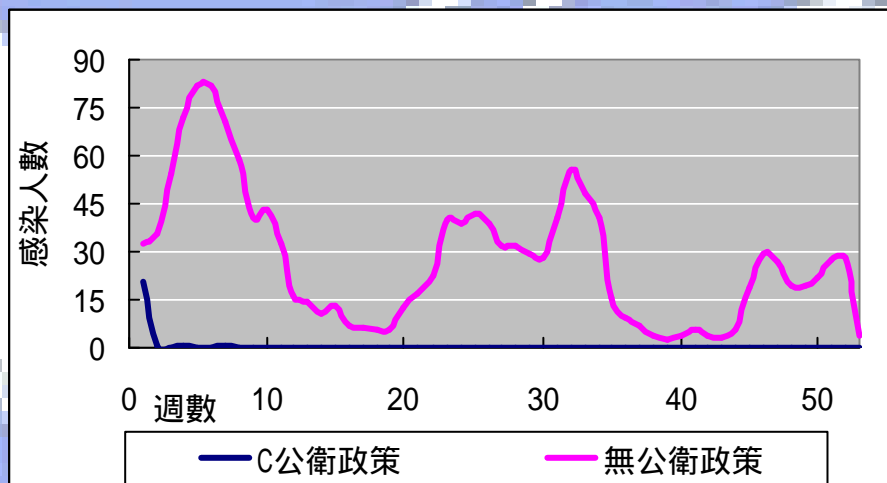


圖 49. C 公衛政策政策效果 64.38 & 無公衛政策比較

## 第五章：結論

本研究針對竹科、中科、南科的大型科學園區為電腦建模範圍，來模擬新型流感的傳播動態。

我們以竹科為主要取樣點，依竹科總人口的行業類別比例進行實地問卷調查，使用社會分身點及二分關聯網路（日常生活接觸及場所關連網路）的概念建立竹科社會網路，結果符合小世界及無尺度網路特性，亦就是竹科社會網路具有高群聚性、低分隔度與個體接觸的人數成冪次律分佈。

依據問卷得到的統計數據職務類別人口分佈、上班日到過場所數、休假日到過場所數，來設定模擬數據，依據本地外地人口分布及上班日居住地來概略估計竹科的總場所數（包括平日及假日會去的場所），我們使用概略高估及低估竹科人員的總場所數，包括 1000：65、1000：131、1000：262、1000：500、1000：1000 等五組的人口場所模組，將實際場所數可能較少或較多的條件考慮進去，模擬竹科季節性流感傳播動態，然後以疾管局 2002—2007 年台灣區季節性流感的真實通報感染曲線來做驗證比較，以 1000：500 的人口場所模組較符合曲線，曲線稍微不同的原因判斷為因年齡層不同造成（圖三十一），因為竹科人員年齡層都集中在 15～64 歲年齡層，並無全國區域的 0—4、5—14 及 64 歲以上年齡層的人員，而 15～64 歲為相對分身點（去的場所）最多的年齡層，因此會有此現象。

再以符合竹科的 1000：500 人口場所模組來進行公衛政策的模擬實驗，經由多次的模擬得到公衛政策的實施對象政策效果為：高危險族群 > 與流感病患接觸者 > 隨機選取。

實施時間效果為：10 月份第 1 天 > 第 14 天 > 第 28 天（越早越好）。

我們提出 2 個公衛政策建議來針對季節性流感：

1. C 公衛政策,10 月份第一天實施竹科前 20 %高危險族群與隨機 70% 的人戴外科口罩,竹科前 30 %高危險族群在感染前服用預防流感藥物,第 21 天實施 A 級隔離政策隔離 8 天。總感染人數 22.6 人,隔離總人數 0 人。政策效果為 64.38。
2. D 公衛政策,10 月份第一天實施竹科前 20 % 高危險族群與隨機 60% 的人戴外科口罩,施打疫苗在直接接觸病患之人員(上限為 20 % 竹科人口劑量),第 14 天實施流感藥物感染後治療(上限為 30 % 竹科人口劑量),第 21 天實施 A 級隔離政策隔離 8 天。總感染人數 30.99 人,隔離總人數 0 人。政策效果為 46.95。

一般季節性流感動態模擬是預估是爆發新型流感的最小程度疫情,如果竹科爆發人傳人的新型流感,我們建議相關公衛政策決策者,要把相關的防疫政策首先針對高危險族群人員來實施,如:業務人員、客戶服務人員、總機接待人員、警衛人員、在園區內的服務業販售人員(如:科技生活館內的店家、加油站人員)、園區內醫護人員等工作屬性為接觸較多人之人員;尤其是業務人員更為首要政策防疫對象,因為由問卷統計業務人員的接觸人數及分身點(去的場所)都是最多的;如此也符合成本經濟效益,期望能把有限的醫療資源發揮到最大的效用。

謹以此篇論文提供參考依據,希望對於新型流感防疫政策有所助益,讓衛生決策單位可以及時採用適當的策略,以減低新型流感爆發對科學園區的傷害,確保台灣經濟成長及科技業的發展。

## 參考文獻

- [1] Influenza Report 2006  
(<http://www.bch.cuhk.edu.hk/influenza/influenza2006.html>)
- [2] 社區大學 SARS 資訊網 [sars.bamboo.hc.edu.tw](http://sars.bamboo.hc.edu.tw)
- [3] CHRIS L. BATTETT, STEPHEN G. EUBANDK, JAMES P. SMITH IF  
SMALLPOX STRIKES PORTLAND. . .
- [4] Ira M. Longini, Jr., M. Elizabeth Halloran, Azhar Nizam, and Yang Yang ,  
Containing Pandemic Influenza with Antiviral Agents.
- [5] 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).
- [6] Watts, D. J. and Strogatz, S. H., Collective dynamics of 'small-world' networks, 27  
*Nature* vol. 393, no. 6684, pp. 440-2, 1998.
- [7] World Health Organisation. Avian influenza: assessing the pandemic threat.  
2005; Available from.
- [8] World Health Organization. Confirmed Human Cases of Avian Influenza  
A(H5N1). Available from:  
[http://www.who.int/csr/disease/avian\\_influenza/country/en/](http://www.who.int/csr/disease/avian_influenza/country/en/).
- [9] S. Milgram, "The small world problem," *Psychology Today*, vol. 2, pp.  
60-67, 1967.
- [10] Granovetter, M. S. The strength of weak ties. *American journal of  
Sociology*, 78, 1360-1380, 1973.
- [11] Damian Zanette, "Critical Behaviours of Propagation on Small-World  
Networks," arXiv:cond-mat/0105596, May 30, 2001.
- [12] 科學工業園區管理局  
<http://service.sipa.gov.tw/WEB/Jsp/Page/index.jsp?thisRootID=326>
- [13] Kermack, W.O. and M. Kendrick, AG (1927). Contributions to the mathematical



theory of epidemics. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. 115: p. 700–721.

[14] 黃崇源, 小世界流行病學建模與公共衛生政策評估: 利用社會分身點概念與區域資訊建構社會網路是流行病學電腦模擬. 國立交通大學資訊工程系博士論文, 2005.

[15] Granovetter, M.S. The strength of weak ties. American journal of sociology, 78, 1360-1380(1973)

[16] Pastor-Satorras, R., and Vespignani, A. Epidemic spreading in scale-free networks. Physical Review Letters, 86, 3200-3203(2001).

[17] Barabási A L, Albert R. Emergence of scaling in random network. Science, 1999, 286(5439) : 509 - 512.

[18] Stewart, J.J., Parameters of Influenza Aerosol Transmission. Comments R on Theoretical Biology, 2002. 7(6): p. 445-457.

[19] Neil M. Ferguson, Susan Mallett, Helen Jackson, Noel Roberts and Penelope Ward. A population-dynamic model for evaluating the potential spread for drug-resistant influenza virus infections during community-based use of antivirals

[20] Ira M. Longini, Jr., M. Elizabeth Halloran, Azhar Nizam, and Yang Yang. Containing Pandemic Influenza with Antiviral Agent.

[21] P. Stroud, S.D. Valle, S. Sydoriak, J. Riese, & S. Mniszewski. Spatial Dynamics of Pandemic Influenza in a Massive Artificial Society. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 2007, 10(4), 9.

[22] <http://www.cdc.gov.tw/lp.asp?ctNode=1706&CtUnit=910&BaseDSD=7&mp=1>

[23] Moser, M.R., et al., *An outbreak of influenza aboard a commercial airliner*. Am J Epidemiol, 1979. **110**(1): p. 1-6.

## 附錄

### 問卷調查

您好，這是一份有關論文研究的無記名問卷調查，調查對象為在竹科內各行業的人員，目的為瞭解竹科工作人員的日常生活接觸網路，藉以研究新型流感（人類禽流感）在竹科的傳播模式讓有關單位可以及時採用適當的策略，以減低新型流感爆發對科學園區的損害，確保台灣的經濟成長及科技業的發展。

1. 請問您的性別： 男  女
2. 請問您的年齡： 14~19 歲  20~29 歲  30~39 歲  40~49 歲  50 歲以上
3. 請問您在竹科的行業類別： 積體電路  電腦及週邊  通訊產業  光電產業  
 精密機械產業  生物科技產業  其他
4. 請問您的職務分類： 業務人員  行政人員  工程人員  線上作業人員  
 其他
5. 請問您的工作時段： 正常班  四班二輪  三班制  其他
6. 請問您是否會進入無塵室工作： 是  否
7. 請問您來自於： 本地(新竹縣市)，請跳第 9 題  外地
8. 若您為外地人口，請問您在休假時，多久回家(父母家)一次：  
 每週回  隔週回  一月一次  其他，\_\_\_月一次
9. 請問您上班日的居住地： 新竹縣市  苗栗縣  桃園縣  其他
10. 請問您上班日一天到過的場所平均有幾處，例如：住家、公司(不同辦公室、

實驗室、廠區皆算不同處)、餐廳、商店、銀行、醫院 等：

1~2 處 3~4 處 5~6 處 7~8 處 9 處(含)以上

11. 承上題，請問您休假日一天到過的場所平均有幾處：

1~2 處 3~4 處 5~6 處 7~8 處 9 處(含)以上

12. 請問您上班日一天平均近距離(2 公尺內)接觸多少人，包括認識的人及不交談的陌生人，例如:家人、同事、客戶、一起搭電梯的人、用餐時前後排隊的人 等：

少於 10 人 10~25 人 26~50 人 51~80 人 其他，約\_\_人

13. 請問如上題您接觸的人員，認識的人比重為何：

全部 80% 60% 30% 其他，\_\_%

14. 承上題，請問您休假日，一天平均近距離(2 公尺內)接觸多少人，包括認識的人及陌生人：

少於 10 人 10~25 人 26~50 人 51~80 人 其他，約\_\_人

16. 請問您最近一年出國(出差或旅行)的次數為何：

沒有 1 次 2 次 3 次 其他，1 年\_\_次

17. 請問您是否搭乘交通區間車往返其他廠區： 沒有 有，\_\_天 1 次.

18. 請問您上班日每月至園區外午餐的次數平均為何：

無 1 次 2 次 3 次 4 次 其他，\_\_次

非常感謝您接受我們的訪問,請將本表單填寫後 ,直接以電子檔直接 E-mail:

wmhome@pchome.com.tw 或交由問卷調查人員,再次由衷致謝!