

計畫編號：DOH95-DC-1406

行政院衛生署疾病管制局九十六年度科技研究發展計畫

利用整合式傳染病監測軟體以協助流行性感冒的監測
並提供公衛參考

研究報告

執行機構：國立交通大學資訊工程學系

計畫主持人：孫春在

研究人員：蔡宇軒、謝吉隆、鄭家胤、藍玉菁

執行期間：96 年 1 月 1 日至 96 年 12 月 10 日

本研究報告僅供參考，不代表衛生署疾病管制局意見

封面式樣

計畫編號：DOH95-DC-1406

行政院衛生署疾病管制局九十六年度科技研究發展計畫

利用整合式傳染病監測軟體以協助流行性感冒的監測
並提供公衛參考

研究報告

執行機構：國立交通大學資訊工程學系

計畫主持人：孫春在

研究人員：蔡宇軒、謝吉隆、鄭家胤、藍玉菁

執行期間：96 年 1 月 1 日至 96 年 12 月 10 日

本研究報告僅供參考，不代表衛生署疾病管制局意見

目錄

0. 摘要.....	5
1. 本文.....	9
2. 材料與方法.....	14
2.1 接觸網路模型.....	15
2.1.1 區域內的接觸網路.....	15
2.1.2 區域之間的接觸網路.....	18
2.1.3 接觸關係的定義.....	19
2.1.4 接觸網路的參數設定與實作.....	21
2.2 個體的屬性及染病過程.....	30
2.2.1 個體的屬性.....	30
2.2.2 染病過程及疾病參數.....	32
3. 結果與討論.....	37
3.1 關於 H5N1 流感.....	37
3.1.1 無公衛政策介入.....	37
—從不同地區爆發的結果.....	39
—不同的初始感染人數的結果.....	43
3.1.2 預防性投藥.....	45
3.1.3 交通管制.....	48
3.1.4 居家隔離.....	49
3.1.5 多種政策同時實施.....	51
3.1.6 使用疫苗.....	53
3.2 關於季節性流感.....	55
3.2.1 無公衛政策介入.....	55
—從不同地區爆發的結果.....	55
—不同的初始感染人數的結果.....	57
3.2.2 交通管制.....	58
3.2.3 使用疫苗.....	60
4. 結論與建議、計畫重要研究成果及具體建議.....	63
5. 參考文獻：請依台灣醫誌編排方式.....	65
6. 附錄.....	70
A.1 各縣市間每日交通流量-1.....	70
A.2 各縣市間每日交通流量-2.....	72
A.3 2007 年各縣市人口數.....	74
7. 審查委員意見回覆.....	75

圖目錄

圖 1	利用場所來定義接觸關係.....	16
圖 2	分身點與接觸場所.....	17
圖 3	跨區移動與跨區分身點.....	18
圖 4	接觸關係的定義.....	19
圖 5	台北市接觸場所人數分布.....	23
圖 6	系統初始化流程.....	25
圖 7	染病過程的疾病狀態變化.....	32
圖 8	預設參數下模擬 10 次的結果.....	38
圖 9	預設參數下模擬 10 次的侵襲率.....	38
圖 10	不同 R0 值下的模擬結果.....	39
圖 11	模擬不同地區爆發所產生的結果.....	40
圖 12	疫情從台北開始爆發的影響.....	41
圖 13	疫情從宜蘭開始爆發的影響.....	42
圖 14	疫情從高雄開始爆發的影響.....	42
圖 15	疫情從雲林開始爆發的影響.....	43
圖 16	疫情從花蓮開始爆發的影響.....	43
圖 17	初始感染人數的影響.....	44
圖 18	加入預防性投藥後的侵襲率.....	46
圖 19	預防性投藥政策的模擬結果.....	47
圖 20	克流感用盡的結果.....	48
圖 21	不同的啟動機制下的“交通管制”政策造成的影響.....	49
圖 22	居家隔離的效果(DetectionRate = 0.7).....	50
圖 23	三種政策同時執行的結果.....	52
圖 24	低效力疫苗的模擬結果.....	54
圖 25	高效力疫苗的模擬結果.....	55
圖 26	模擬不同地區爆發所產生的結果.....	56
圖 27	模擬台灣四大地區爆發所產生的結果.....	57
圖 28	初始感染人數的影響.....	58
圖 29	不同的啟動機制下的“交通管制”政策造成的影響.....	59
圖 30	高效力疫苗的模擬結果.....	61
圖 31	低效力疫苗的模擬結果.....	61

表目錄

表 1	世界各國 H5N1 禽流感確定病例及死亡人數.....	10
表 2	接觸網路的參數.....	21
表 3	個體的屬性.....	30
表 4	疾病特性參數.....	34
表 5	預防性投藥實驗參數設定.....	45
表 6	三種政策同時執行的模擬參數.....	51

0. 摘要

台灣疾病管制局的疫情報告顯示，由於 H5N1 高病原性禽流感病毒的高致死率和快速變種，促使衛生政策決策當局將流感疫苗、抗病毒藥劑及傳染阻絕列為新型流感三大防疫策略。為了評估新型流感流行之可能性與傳播動態，並探討現行公共衛生政策在遏止新型流感擴散的成效，本研究建立一個結合人際接觸社會網路與多代理人系統的新型流感傳播動態之模擬模型。

我們的模型共分為三個部份：社會網路、個體差異和疾病特徵。在社會網路層面，我們利用多個彼此連通的行政區域與人口族群來表現符合現代生活模式的空間群聚、區域間往來的交通現象。在個體層面，我們考慮個體的屬性如：超級感染源、免疫狀態、傳染力和行動力等等。在疾病特徵層面，我們以(SEIR)來表現疾病感染進程。

我們利用模型來探討當疫情從台灣不同縣市爆發時，會造成的全台疫情的散佈情形為何。並且從各個地區의 感染情形、疾病爆發的高峰期、疾病的傳染率等等，分別探討新型流感可能的傳播動態。在防疫政策方面，我們將探討三種措施：疫苗、交通管制和特效藥。在流感疫苗方面，我們發現疫苗將可大幅控制疫情。在交通管制方面，我們也發現對疫區的交通管制，其效果並不會比對全國的交通管制所得的效果來的差。在新型流感的

特效藥方面，我們針對藥效、施打地點、藥劑量等這些細節上去做模擬，發現預防性投藥在疾病爆發初期的確會有其效果，但若沒有控制好，最後感染人數仍可能會比沒有預防性感染人數來的高。

我們以此模型來探討新型流感在全台各區可能的傳播動態；並模擬現行各種公衛政策在疫情爆發在各分區的施行效果。

Abstract

According to the Taiwan Center for Disease Control (CDC), the highly pathogenic avian influenza virus H5N1 has evolved so quickly and poses such a threat that Taiwanese health authorities have already announced three major control strategies: a vaccine, antiviral drugs, and isolating infected individuals. We constructed an influenza simulation model based on daily-contact social networks and a multi-agent system to study transmission dynamics and to investigate the potential efficacies of various public health policies.

Our model has three major parts: social networks, the individual diversity and epidemiological factors. Daily-contact social networks (composed of multiple interconnecting municipalities and individuals) can be used to represent such social phenomena as long-distance movement, daily visits to fixed locations, different population densities, and inter-area transportation.

We analyzed the dynamic of epidemic situation in 22 areas in Taiwan, including the high peak of the burst of the epidemic and infection rate. Our model has three major part: vaccine, traffic control and medication. We found that the vaccine can get best results. The traffic control in epidemic area can get results as good as the global traffic control in whole Taiwan. Considering special remedy, we simulated in the effect of medication, injection location and total doses. We found that protective inoculation has a good effect in the beginning of the burst of the epidemic, but probably an opposite effect if total doses are not enough.

The model was used to simulate a novel influenza outbreak and other scenarios involving different seeding events and interventions – for example, antiviral prophylaxis, social distancing policies or closures for schools and

workplaces, and control of inter-area movement.

Keywords: novel influenza, contact network, small world network, mirror identity, epidemic model

1. 本文

禽流感病毒指的是鳥類的流感病毒。野生鳥類是 A 型流感病毒在自然界的傳染窩(reservoir)[16]。經過了長時間的演化，野生鳥類對於大部分的流感病毒都已經產生抗體，兩者間以和平的方式共存著，這些病毒就是我們所謂的低致病性禽病毒。然而，這些低致病性的病毒卻可以感染我們所飼養的家禽，使它們生病。另一方面，病毒為了適應新的宿主而開始快速的演化，因此便有可能變異成高致病性的禽流感病毒。1983-84 年美國賓州曾發生 H5N2 感染家禽的事件，原本疫情並不是很嚴重，但六個月這個病毒突然變得很凶惡，被感染的雞隻的死亡率高達 90%，美國當局因此而撲殺了 1700 萬隻雞。

然而禽流感病毒的威脅並不是只有農業上的損失。1997 年香港爆發雞隻感染 H5N1 禽流感病毒的事件，同時卻發生了 18 個人被雞隻傳染 H5N1 病毒的事件，這是第一次發現流感病毒可以透過鳥傳到人的身上產生疾病。這個事件造成全世界衛生單位的震驚[24]。

1997 年的事件之後，H5N1 病毒仍快速地演化中。2003 年，香港又再度傳出人類感染 H5N1 病毒死亡的案例。從 2003 年後期開始，韓國、日本、越南、泰國、柬埔寨、寮國、中國及印尼等國家先後傳出 H5N1 疫情，除了禽類的疫情外，亦有許多人類感染及死亡的案例[7](見

)。甚至原本不受禽流感病毒影響的野生鳥類也傳出疫情：2005 年中國的青海湖保護區爆發 6000 隻感染 H5N1 禽流感病毒的候鳥集體死亡的事件[1]。而這個事件更顯示了一個重要的問題：H5N1 病毒正透過候鳥的遷徙，傳播到世界各地；而病毒造成的傳染愈多、影響的範圍愈廣，更代表其變異成新型病毒的機率更大。

面對著快速演化的 H5N1 病毒，專家們最擔心的是：人傳人的新型流感病毒再次出現而引發全面性的大流行。目前認為 H5N1 病毒可能會透過下列三種方式變異成為人類的新型流感病毒[26]：

1、H5N1 病毒在豬體內和人類的流感病毒混種。

由於豬隻體內同時擁有人類流感病毒和鳥類流感病毒的受器，因此可被兩種病毒同時感染。當 H5N1 病毒和人類流感病毒混種後，可能就會出現具有人傳人能力的新型 H5N1 病毒。

2、H5N1 病毒直接在人體內和人類的流感病毒混種。

由於目前 H5N1 病毒可以經由禽鳥傳染給人類，所以病毒亦有可能直接在人體內直接和人類的流感病毒混種，而產生具有人傳人能力的新型病毒。

3、病毒透過突變，慢慢適應人體而具有人傳人的能力。

就如同低致病性的禽病毒在家禽體內演化成高致病性的病毒一樣

H5N1 病毒亦有可能直接在人體內演化，成為人類的新型流感病毒。

由於近代醫學的發達及環境衛生的改善，使得傳染病對人類造成的危害大大地降低。然而 2003 年的 SARS 爆發造成全球性的恐慌，卻又讓我們重新體認到新興傳染病(Emerging infectious disease) [4] 對人類的威脅。緊接在 SARS 之後，H5N1 高致病型禽流感病毒開始在韓國、日本、越南、泰國及中國等亞洲國家肆虐，造成了超過 1 億 2 千萬的家禽死亡或被撲殺，以及 200 多人的人類感染病例(表 1)[3]。對於 H5N1 禽流感病毒的快速演化，世界衛生組織及公衛專家們擔心，這可能是下一波流感大流行即將到來的警訊[2, 3, 17, 28, 43]。

表 1 世界各國 H5N1 禽流感確定病例及死亡人數

Country	2003		2004		2005		2006		2007		Total	
	cases	deaths	cases	deaths	cases	deaths	cases	deaths	cases	deaths	cases	deaths
Azerbaijan	0	0	0	0	0	0	8	5	0	0	8	5
Cambodia	0	0	0	0	4	4	2	2	1	1	7	7
China	1	1	0	0	8	5	13	8	3	2	25	16
Djibouti	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Egypt	0	0	0	0	0	0	18	10	20	5	38	15
Indonesia	0	0	0	0	20	13	55	45	35	31	110	89
Iraq	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	3	2
Lao People's Democratic Republic	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2
Nigeria	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Thailand	0	0	17	12	5	2	3	3	0	0	25	17
Turkey	0	0	0	0	0	0	12	4	0	0	12	4
Viet Nam	3	3	29	20	61	19	0	0	7	4	100	46
Total	4	4	46	32	98	43	115	79	69	46	332	204

來源: WHO 網頁[7]

發布日期: 10/25, 2007

流感大流行與我們熟悉的季節性流感並不相同，它是由新型流感病毒所引發的流行。由於大部分的人類對新型病毒都不具有免疫力[35]，因此它能夠在短時間之內造成大量的感染及死亡，使得整個醫療體系癱瘓、生產停頓，並造成社會大眾極度的恐慌與不安。二十世紀一共發生了3次流感的大流行，其中以1918~1919年的西班牙流感所造成的影響最為嚴重，在短短不到一年的時間內造成約4000萬人死亡，遠遠超過第一次世界大戰四年間的總死亡人數[3]。

流感被認為是最具大流行潛力的傳染病[43]。由於流感病毒本身在複製的過程中很容易產生變異，加上流感病毒中的 A 型病毒擁有許多變種和亞型並具有生存於不同物種體內的能力[19]，使得它不但難以完全消滅，且可以藉著病毒間的混種產生全新的病毒株，而引發全球性的大流行。而我們所謂的新型流感，指的就是這種可能會造成大流行的流感病毒。以大家密切關注的 H5N1 禽流感病毒為例：它原先是只在鳥類傳播間的流感病毒，然而在 1997 年香港首度發生了人類感染 H5N1 禽流感病毒而死亡的案例，2003 年又再度傳出人類感染的案例，且至今疫情仍持續的擴散(根據世界衛生組織的統計，截至 2006 年 8 月 9 日為止，已產生了 236 名人類禽流感病例，其中 138 名病例已經死亡[7])。目前的 H5N1 病毒的傳染方式仍僅限於禽類與人類間接觸所造成的傳染。然而公衛專家們擔心，一旦 H5N1 病毒再度變異而能夠有效地在人際間傳播，流感大流行的慘況可能將再度發生[2, 3]。

在 WHO 及公衛專家不斷的呼籲之下，各國開始積極地擬定各項準備計畫[23, 43]來減輕疫情的爆發所帶來的衝擊。同時這也是人類一次難得的機會，可以在傳染病造成大流行之前先做好防範的工作。但由於疾病傳播本身牽涉到人類的生活型態、人際互動、交通、病毒特性等複雜的因素，導致公衛決策者面臨許多難題，例如：

- 各種公衛政策的執行效果不明確，缺乏一個客觀的比較機制：例如當流感大流行發生時，是居家隔離較能減緩疫情的擴散？還是使用克流感預防性投藥較能發揮效果？
- 即使只針對某一個公衛政策，在執行上也會面臨許多不同的選擇：以停止上班上課的政策為例，應該以全國為單位統一實施？還是只針對疫情較嚴重的縣市發布停止上班上課的命令？

- 對於一個尚未發生或鮮少發生的疾病，現存有用的資訊和經驗不足，造成決策上的困難。

公衛政策的執行常需要投入大量資金和人力[43]，在資源有限的情況下要作出最佳的決策更是困難。

2. 材料與方法

我們認為在不同的區域間由於生活型態、人口、交通等因素的不同，會造成疾病在區域間傳播的差異；另一方面，由於公衛政策在執行上也可能以區域為單位來實施，不同的啟動機制與不同的施行範圍亦可能導致不同的施行成效，所以我們將建立一個由多區域所構成的一個模型來探討這些區域差異。

本模型所要模擬的是一個以國家為範圍的地區。我們將以台灣本島 22 個縣市為例，建立一個流感的傳播模型。在模型中我們將整個台灣依照不同的縣市行政區分為 22 個區域，考慮 (1) 人群在區域內的群聚情形，及 (2) 人群在區域內和區域之間的移動情形，來建構整個台灣的流感接觸網路。以下各節將介紹接觸網路的概念及建立的方式，以及如何透過改變個體的狀態及接觸網路的結構來表現疾病的傳播及各種公衛政策的執行。

我們將建立一個以個體為基礎的模型。在接觸網路的設計方面，由於流感本身是一種透過飛沫及空氣傳染的疾病，所以在建立流感的疾病接觸網路時，我們將考慮空氣傳染的高傳染性，尤其是在人群大量聚集的場所裡容易造成大量感染的特性。此外，由於人群的移動現象是造成日常生活中複雜人際接觸的一個很重要的因素，所以我們的模型也將這個社會現象納入考慮。

我們將以此模型來模擬，在不同的 R_0 值下所產生的流感爆發情形；並評估現行各種公衛政策在疫情爆發時的施行效果。由於我們的模型具有多區域的性質，因此我們也將探討：

- 某些公衛政策使用全面性實施或在各區域分別實施時所造成的差異。
- 疫情在不同的地區爆發所造成的差異。

- 區域間的交通對疾病傳播動態的影響。

透過上面的模擬實驗，我們可以更加了解流感大流行時在不同傳染率、不同境外移入情況以及不同公衛政策介入下的傳播動態，以及各種公衛參數的敏感度。

2.1 接觸網路模型

我們的接觸網路模型是由多個互連的區域所構成的。在區域內，我們利用分身點的概念來表達人們的日常移動；而不同的接觸場所中，因為其容納的分身點個數的不同，因此可以用來表達各種場所中，不同程度的人群群聚現象。在區域與區域之間，我們利用跨區的分身點來表達長距離移動的概念，因此我們可以表達人群利用飛機、火車、汽車等交通方式在各區域間來往的情形。最後我們利用每個人的分身點在二維晶格上的分布位置來定義他們之間的接觸關係。

2.1.1 區域內的接觸網路

在我們的生活經驗裡，我們所接觸的人經常與所處的場所有很大的關係，例如在住宅這個場所，經常會接觸到的人就是我們的家人；在教室這個場所，經常接觸到的人就是我們的同學。由於流感具有空氣傳染的特性，一名流感患者可以很容易地把病毒傳染給在同一個房間內的其他人，因此我們可以透過接觸場所定義人與人之間的接觸關係。而決定那些人出現在那些接觸場所，即是建構接觸網路的第一步(圖 1)。

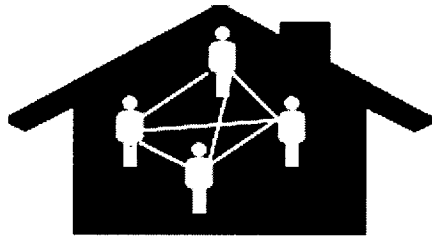


圖 1 利用場所來定義接觸關係

我們使用一個二維晶格來代表一個區域，例如：台北市、桃園縣或新竹市。晶格上的方格代表這個區域內的接觸場所，例如：住家、班級或辦公室。另外，由於台灣地區汽車、機車等交通工具的普及性及公車、捷運等大眾運輸系統的便利性，因此對於人們在區域內的移動，我們作了以下的假設：“對於居住在區域裡的每一個人來說，從區域內的一個場所移動到區域內的其他場所所花的交通成本很低，因此每一個人一天當中會出現在區域內各個場所的機率，和這些場所所在的位置是無關的”。舉例來說，小君住在板橋捷運站附近，白天她在 101 大樓裡的一家外商公司上班，下班後她常到公館附近找朋友吃晚餐，吃完飯再和朋友一起到士林逛夜市。儘管這些地點彼此之間的距離不是很近，但因為有快速而方便的捷運系統，所以可以打破距離的障礙，在台北市內任意的移動。

基於上述的假設及Huang 等人的分身點概念，我們將區域裡的每個人隨機地對應到若干個不同的接觸場所(亦即將此人的分身點置於若干個接觸場所內)，來表示此人在一天當中會固定出現在這些場所。再以上面小君的例

子來看，她一天當中可能會出現板橋家中、101 大樓、公館的餐廳及士林夜市，所以在我們的模型中，她的分身點個數就是 4。透過分身點的概念，我們便可以表示一個人在一天當中，在區域內不同地點間往來的概念，而這就是所謂的日常移動(圖 2)。

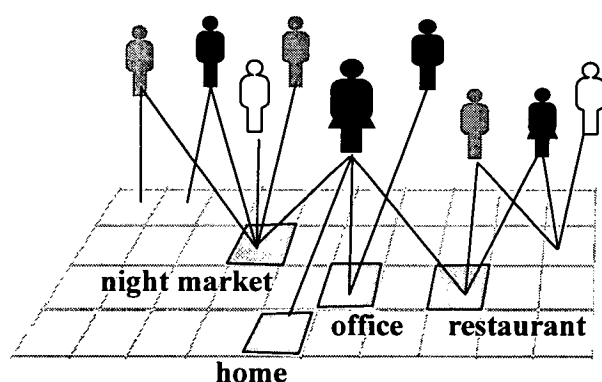


圖 2 分身點與接觸場所

在我們的模型中，每個接觸場所有一個屬性值 $CellSize$ 來決定該場所容納的人數。透過設定接觸場所的人數，我們可以表達出人群在不同的場所呈現不同群聚程度的概念。例如我們將一個接觸場所的人數設定為 30，則它代表的可能就是一間坐滿 30 個學生的教室或一個有 30 名員工的辦公室。模型中對於接觸場所的類型並沒有特別地區分，因為對於流感的傳播來說，最重要的是接觸場所裡容納的人數(因為它代表了染病者所能影響的最大人數)，至於它是辦公室或者是教室，其實並沒有太大的影響。然而，住家卻是個例外，因為在一個區域內，所有住家裡的人必須滿足兩個性質：

1. 每一個人的分身點最多只能出現於一個住家內

2. 所有住家裡的人所成的集合等於該區域內的所有居民

此外，當我們要模擬居家隔離等公衛政策時，亦需要參考到每個人的住家的分身點。因此，我們在模型中會特別區分那些場所是屬於住家。

2.1.2 區域之間的接觸網路

在我們的模型中，除了考慮人群在區域內的移動外，我們還必須考慮人群在區域之間的長距離移動。為了表達跨區移動，我們擴充分身點的概念，使得某些分身點具有跨區的特性，因此，一個人的分身點不僅可以被放置在他本身所在的區域裡的接觸場所，也可以被放置在其他區域的接觸場所——這代表他作了一個跨區的移動(圖 3)。

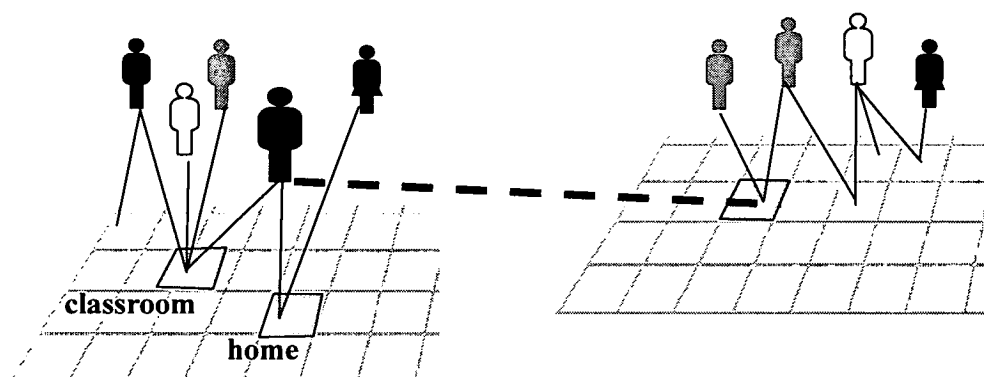


圖 3 跨區移動與跨區分身點

例如：住在高雄市的小華常常需要坐飛機到台北市的總公司開會。對應到我們的模型中，高雄的小華便擁有一個跨區分身點落於代表台北總公司的方格。從巨觀來看，從區域 A 到區域 B 的跨區移動的數量總和即代表一天當中從區域 A 到區域 B 的交通總旅次。

從 2.1.1 及 2.1.2 的說明，我們可以知道，在此模型中，不論是區內的日常移動或是跨區的長距離移動，使用的都是分身點的概念。因此在實作上，我們只需要設定好每人的區內分身點個數，使它在區域中分布的情形符合住家的性質，並且將具有跨區特性的分身點分配到各個區域，使得它能夠符合現實中縣市間的交通流量，然後將剩下的分身點隨機地分配到區域內的場所中，便可以完成接觸網路中人群與接觸場所的部分。相關的參數及實作方式請見 2.1.4。

2.1.3 接觸關係的定義

定義了人與接觸場所的關係後，我們透過以下的方式定義人與人之間的接觸關係(圖 4)：

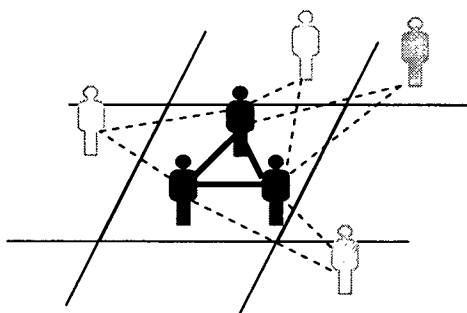


圖 4 接觸關係的定義

在我們的模型中，流感的傳播是透過下述的 2 種接觸方式來進行的：

- ◆ 在同一個接觸場所的人視為完全接觸。

由於流感飛沫及空氣傳染的特性，所以在同一個場所的人們間有密切的接觸，我們定義：“在一天當中，一個人和在同一個接觸場所的

其他人，

平均的接觸次數為 1 次”。從接觸網路的角度來看，這些人彼此間形成了一個完全圖(complete graph)。不過由於實際上，當一個場所的人數非常多時，並不可能每個人都會和所有的其他人都接觸到，所以我們使每個人每天最多只和 k 個人接觸，讓接觸的情形更符合真實。這個 k 值便是接觸網路的參數中的 MaxIntraCellContacts (見 2.1.4)。

- ◆ 在鄰近的接觸場所的人們亦有隨機的接觸。

我們從日常生活的經驗可以發現：居住同一棟公寓的人們，常常會因為一起搭電梯而認識；在同一個地方上班的人們，也會因為常常搭同一班公車而相識。因此在模型中，我們使鄰近的場所的人們之間有隨機的接觸機會，來表達這種因為活動空間重疊而造成的隨機接觸。我們定義如下：“每個人每天在隨機的狀況下會和週遭 8 個方格裡中的 k 個人產生接觸”。用此定義來表達上述隨機接觸情形。其中這個 k 值即是接觸網路的參數 InterCellContacts。

2.1.4 接觸網路的參數設定與實作

表 2 接觸網路的參數

參數名稱	型別	說明	設定值
NumOfCities	整數	代表共模擬多少個地區	22
PopulationSize []	整數陣列	分別代表各地區的人口數	見 人口與交通
DistOfMI	機率分布	每人所擁有的分身點個數之機率分布	1~4,呈常態分布 見 分身點及接觸數
DistOfCellSize []	機率分布 陣列	分別代表各地區的接觸場所容納人數之機率分布	見 接觸場所人數
LatticeWidth []	整數陣列	分別代表每一個二維晶格的寬度	見 二維晶格的大小
ODmatrix [][]	矩陣	各區域間每日交通流量	見 人口與交通
MaxIntraCellContact	整數	一個人在一天當中在一個接觸場所內最多和他接觸多少次	20 (憑經驗設定)
DistOfContactNum	機率分布	每人每日隨機接觸的次數之機率分布	2~6, 呈常態分布 (憑經驗設定)

(表 2) 是整個接觸網路模型所使用到的參數，以下各小節將介紹各參數的設定方式，並以流程圖來說明系統的初始化及建構接觸網路的過程。

人口與交通

在人口及交通流量的參數設定上，由於台灣總人口高達 2300 萬，若要以每個人為一個模擬單位，對於一般的個人電腦，其計算量是難以負荷的。因此，我們將使用真實人口數及交通流量的百分之一來作模擬：

- ◆ 交通流量的資料我們採用的是交通部運輸研究所，在“第三期台灣地區整體運輸系統規劃：整體運輸系統供需預測與分析”中，對 89 年各縣市間每日交通所做的預測結果[45]。(交通流量矩陣請見附錄 A.1)
- ◆ 人口數則採用內政部統計處之 90 年度各縣市人口數[41]。(請見附錄 A.2)

分身點及接觸數

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 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。而每人每天的隨機接觸次數也是假設其值是介於 2~6 之間的常態分布。

接觸場所人數

各縣市內接觸場所的人數設定為 1~50 人之間，其機率分布參考

各縣市戶內人數分布情形[40]

各縣市工作場所人數分布情形[39]

各縣市班級內學生數分布情形[42]

雖然現實中的接觸場所並不只有這三種，但因為這三種接觸場所因為在數量上較多，所以我們假設由這三種資料所推得的分布情形是具有代表性的。

首先我們將上述 3 項資料，介於 1~50 人的部分取出，並將三者作疊加，再將疊加後的結果除以場所的總數作正規化，即可得到接觸場所人數的機率分布。

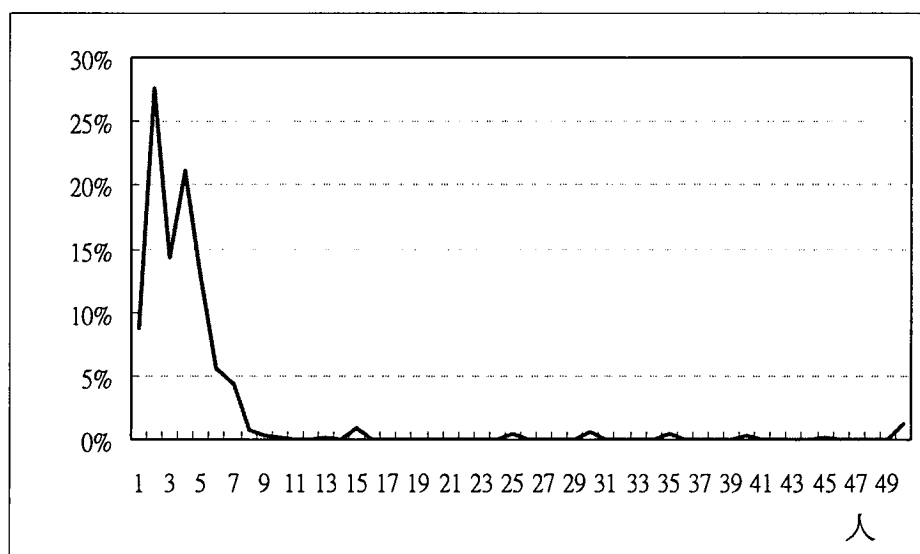


圖 5 台北市接觸場所人數分布

(圖 5)是透過上面的計算方式得到的台北市的接觸場所人數分布，由圖中我

們可以發現，大部分的接觸場所人數都在 10 人以下，而人數較多的接觸場所(例如教室、大型公司)所佔的比例其實很低。

二維晶格的大小

根據下面的等式：

$$\begin{aligned} & \text{區域內分身點總數} \\ &= \text{場所總數} * \text{每個接觸場所的平均人數} \\ &= \text{每個人的平均分身點數} * \text{總人數} \end{aligned}$$

因此，區域內接觸場所的總數可以透過以下方式來推算：

$$\text{接觸場所總數} = \frac{\text{每個人的平均分身點數} * \text{區域內的總人數}}{\text{每個接觸場所內的平均人數}}$$

其中，每個接觸場所內的平均人數即是“接觸場所人數分布”的期望值。由於我們對於每一個區域都是使用正方形的二維晶格來代表，因此我們可以用下面的式子推得晶格的寬度：

$$\text{晶格寬度} = \left[\sqrt{\text{接觸場所總數}} \right]$$

接觸網路的建構

在我們的模擬系統中，整個接觸網路的建構是初始化的時候完成的，以下將以(圖 6)來介紹整個系統初始化的過程：

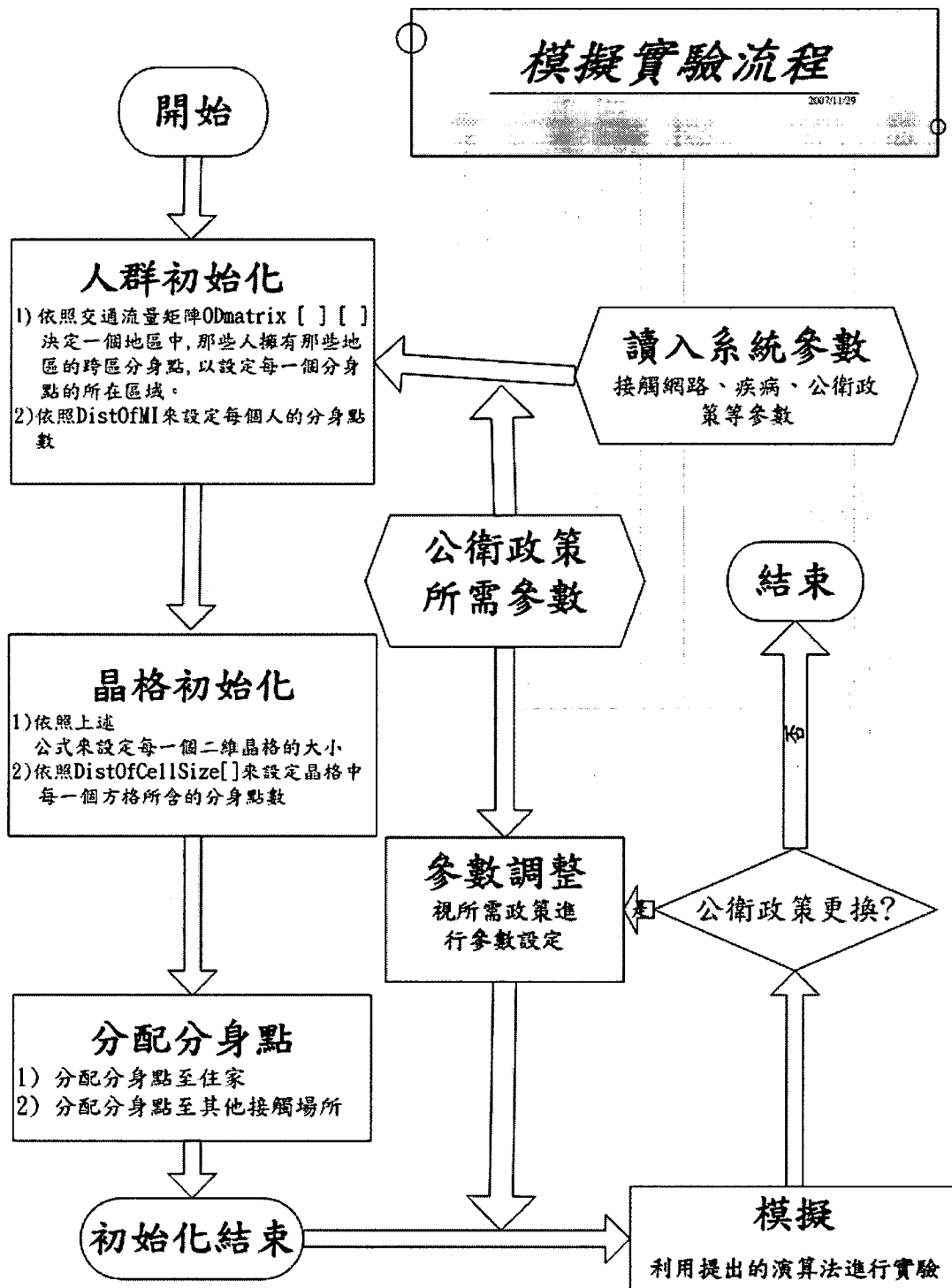


圖 6 系統初始化流程

依交通矩陣設定分身點的所在區域

在下述的實作中，我們引入了一個關於跨區分身點的假設：“每個人最多只有一個跨區分身點”。由於每個人所擁有的時間和金錢是有限的，所以現實中很少有人是經常每天在各個地區間來回的。我們相信這種跨區移動的現象應該是較平均地分布在整個人群當中，而非只出現於少數人身上，因此我們作了若干假設。

```
For Row = 1 to NumCities
Do
    StartNum = 0
    People = PeopleOfCity(Row)
    // set the LatticeNum of those people with InterArea MirrorIdentity
    For Col = 1 to NumCities
    Do
        For i = StartNum to OMatrix[Row][Col]
        Do
            // everybody has at most 1 InterArea MirrorIdentity
            People[i].lastMirrorIdentity.LatticeNum = Col
            People[i].otherMirrorIdentities.LatticeNum = Row
        Done
    Done
    StartNum = StartNum + OMatrix[Row][Col]
Done
// set the LatticeNum of the rest people
```

```

Loop

    People[StartNum].allMirrorIdentities.LatticeNum = Row

    StartNum = StartNum + 1

Until StartNum == PopulationSize[Row]

Done

```

分配分身點

在下述的虛擬碼中，我們挑選“住家”是以該方格的 **CellSize** 是否小於 10 作為標準。這主要的原因是，我們從戶口普查[40]的資料發現，戶內人數其值幾乎都小於 10。

```

// a.CellSize is the number of MirrorIdentities in cell a

// 1) distribute people to Home

For each Lattice L in Taiwan

Do

    Loop

        Cell = random-select-one-cell-from(L)

    Until Cell.CellSize < 10

    For i = 1 to Cell.CellSize

    Do

        Loop

            Person = random-select-one-person-from(L)

        Until Person.Home == false

```

```

        Person.Home = true

        Person.MirrorIdentity[0].distribute-to(Cell)

    Done

    Until everybody in Lattice L has a home

Done

// 2) distribute people to other places

For each person P in Taiwan

Do

    For each undistributed MirrorIdentity M of person P

    Do

        Loop

            Cell = random-select-one-cell-from(M.LatticeNum)

            Until Cell is not full

            M.distribute-to(Cell)

    Done

Done

```

每日的接觸過程

我們以下列的 pseudo code 來表示每日的接觸過程

```

For each people P in Taiwan

Do

```

```

For each MirrorIdentity M of person P

Do

    // a.CellSize is the number of MirrorIdentities in cell a

    // CellSizeOf(x) return the CellSize of the cell in x

    // MaxIntraCellContact's default value is 20

    // 1) IntraCell Contact

    Times = Min(MaxIntraCellContact, CellSizeOf(M.location))

    For i = 1 To Times

    Do

        Candidate = random-select-one-person-from(M.location)

        contact-with(Candidate)

    Done

    // 2) InterCell Contact

    For i = 1 To P.NumOfContacts

    Do

        CandidateCell = random-select-one-cell-from(NeighborOf(M.location))

        Candidate = random-select-one-person-from(M.location)

        contact-with(Candidate)

    Done

    Done

Done

```

2.2 個體的屬性及染病過程

2.2.1 個體的屬性

模型中的個體擁有各種屬性，用來表示個體的疾病狀態、活躍度、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(表 3)。

表 3 個體的屬性

屬性名稱	資料型態	說明
EpiState	疾病狀態	個體的疾病狀態
NumOfMI	整數	個體分身點的個數
NumOfContacts	整數	一天當中，個體與周遭場所內的個體的接觸次數，代表其活躍程度
Symptomatic	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

LPeriod	整數	潛藏期一個體被感染後多久便具有傳染力
IPeriod	整數	潛伏期一個體被感染後多久會發病
CPeriod	整數	傳染期一個體具有傳染力狀態所持續的天數

2.2.2 染病過程及疾病參數

依照接觸網路所定義的接觸關係，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，則由疾病參數 **SymptTransRate** 及 **AsymptTransRate** 這兩個機率值來決定。

在本模型中使用了SEIR中的 4 種疾病狀態來表現個體染病的過程(圖 7)：

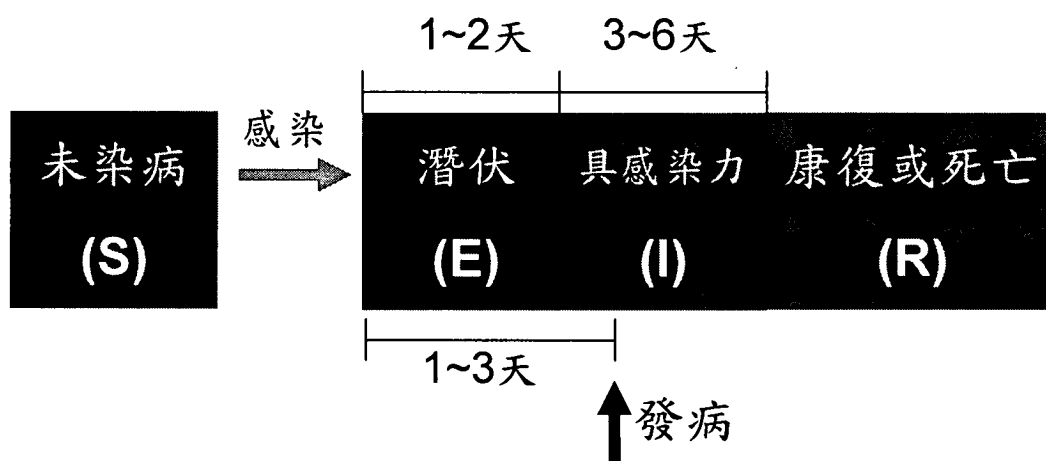


圖 7 染病過程的疾病狀態變化

其中 S 代表尚未感染，E 代表已感染但還不具傳染力，I 代表具傳染力，R 代表已經康復或死亡。從 S 進入 E 代表感染事件的發生，從 E 進入 I 代表潛藏期(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。

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 的狀態。此外，我們假設流感的流行時間在一年以下，因此我們不考慮人們康復後一段時間，因免疫力消失而再度被感染的情形；亦即人們不會從疾病狀態 R 再度回到 S。

由於流感患者在發病前便可能具有傳染力，因此在模擬個體的發病時我們使用個體的 **Symptomatic** 屬性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，因為不同的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，我們設定他們只有發病者一半的傳染力。

由於人們在出現流感症狀後，很有可能會因為身體不適或因為怕把病毒傳染給他人，而減少其外出的機率。因此，我們使用了一個機率值 **WithdrawProb** 來代表人們在感染流感發病後減少其外出的機率。在實作上虛擬碼如下：

```
For each MirrorIdentity M of Patient
Do
  If M.home != true
  then
    set-A-to-B-with-probability(M.cancel, true, WithdrawProb)
```

endif

Done

2.2.3 疾病參數的設定

表 4 疾病特性參數

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 3.2.3
AsymptTransRate	浮點數	已感染而尚未發病者每一次接觸的傳染機率	見 3.2.3
SymptomaticRate	浮點數	已感染的患者發病的機率	0.63[27]
LatentPeriod	機率分布	潛藏期的機率分布	1~2[8]
IncubationPeriod	機率分布	潛伏期的機率分布	1~3[8]

ContagiousPeriod	機率分布	傳染期的機率分布	3~6[8]
WithdrawProb	浮點數	一個人發病後，他會減少外出的機率	0.63[46]

在疾病參數的設定上(表 4)，我們主要參考Longini[8]的設定，但由於模型本身設計上的不同，無法參考其傳染率設定，因此我們採用流感的R0 值來推導傳染率。

R0 的定義為：“平均一個染病者可以將疾病傳染給多少人”。

因此其值可以以下面的公式來表示：

$$R0 = \text{傳染率} * \text{每日的接觸次數} * \text{感染期天數}$$

由於有 63%的人感染流感後不會發病[27]，而其傳染率只有發病者的一半[8]。

$$\text{AsymptTransRate} = 0.5 * \text{SymptTransRate}$$

因此，我們可以將 R0 的公式改寫如下：

$$R0 = 0.37 * (0.5 * \text{SymptTransRate}) * \text{平均每日接觸次數} * \text{感染期平均天數} \\ + 0.63 * (\text{SymptTransRate}) * \text{平均每日接觸次數} * \text{感染期平均}$$

天數

其中，

平均每日接觸次數

$$= \text{每人平均分身點數} * (\text{每個場所的平均人數} - 1 + \text{與鄰近場所的接觸次數}) = 2.5 * (4.35 - 1 + 4) = 18.375$$

平均感染期長度 = 4.1

因此， $R_0 = 0.815 * \text{SymptTransRate} * 18.375 * 4.1$

$$= 61.400 * \text{SymptTransRate}$$

在設定流感病患因病而減少外出的行為時，我們則根據疾病管制局對學童生病時出席狀況的調查統計結果[46]來設定。據該報告指出，有 63% 的生病學童會請假在家休息。因此，我們將參數 `WithdrawProb` 設為 0.63。

3. 結果與討論

3.1 關於H5N1 流感

3.1.1 無公衛政策介入

(圖 8)是採用預設的設定值模擬十次加以平均所產生的結果，我們發現新型流感爆發的速度相當地快，短短不到 2 個月的時間內，便造成全台灣 46%的人受到感染。

此外，我們發現在每一次模擬過程中即使使用完全相同的參數，其流行曲線仍然可能會有些微的差異，這些變異是由於模型本身的隨機性所造成的。然而如果從侵襲率來看的話，如(圖 9)所示，我們可以發現每一次模擬的得到的侵襲率大致上較穩定(大約在 46.5%左右)，較不容易受到隨機性的波動。此處的侵襲率指的是“發病侵襲率”(Illness Attack Rate)，其定義如下：

$$(\text{發病})\text{侵襲率} = \frac{\text{總發病人數}}{\text{總人口數}}$$

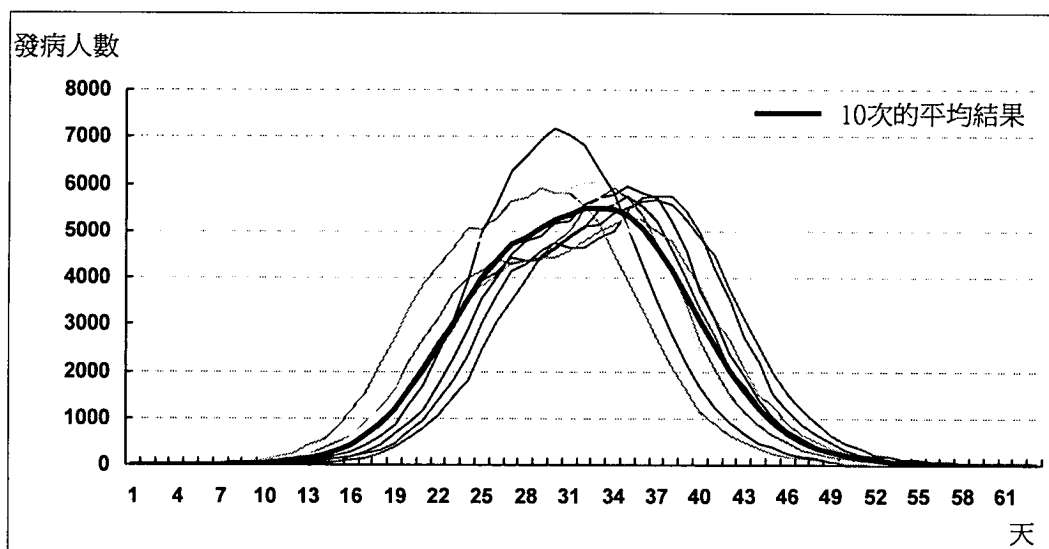


圖 8 預設參數下模擬 10 次的結果

在這個實驗中，我們模擬當台灣爆感人傳人禽流感大流行，而政府完全沒有採取任何公衛政策時的情形。我們的實驗將探討不同 R_0 值、從不同的地區爆發及不同的初始感染人數對整個傳播動態的影響。

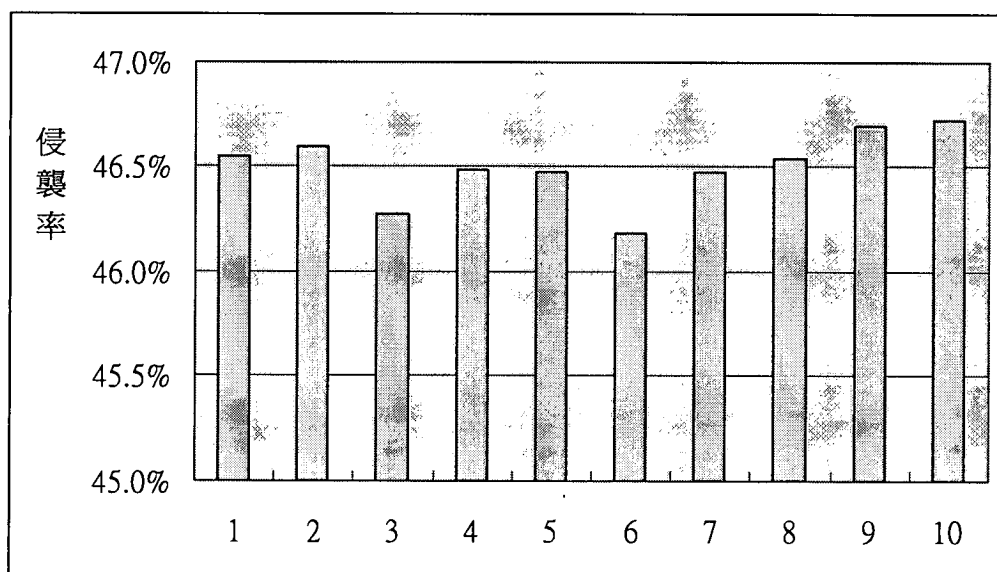


圖 9 預設參數下模擬 10 次的侵襲率

由於人傳人的禽流感尚未發生，所以我們無法確切知道病毒的特性，以

及其 R_0 值。於是我們參考過去的流感大流行來作為我們設定 R_0 的依據。

Ferguson 等人由過去 1918 年流感大流行的資料來推估，得到當時的流感的 R_0 值大約是 1.8 左右[33]，於是我們考慮 $R_0 = 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 2.0$ 的情況來模擬其爆發的情形。

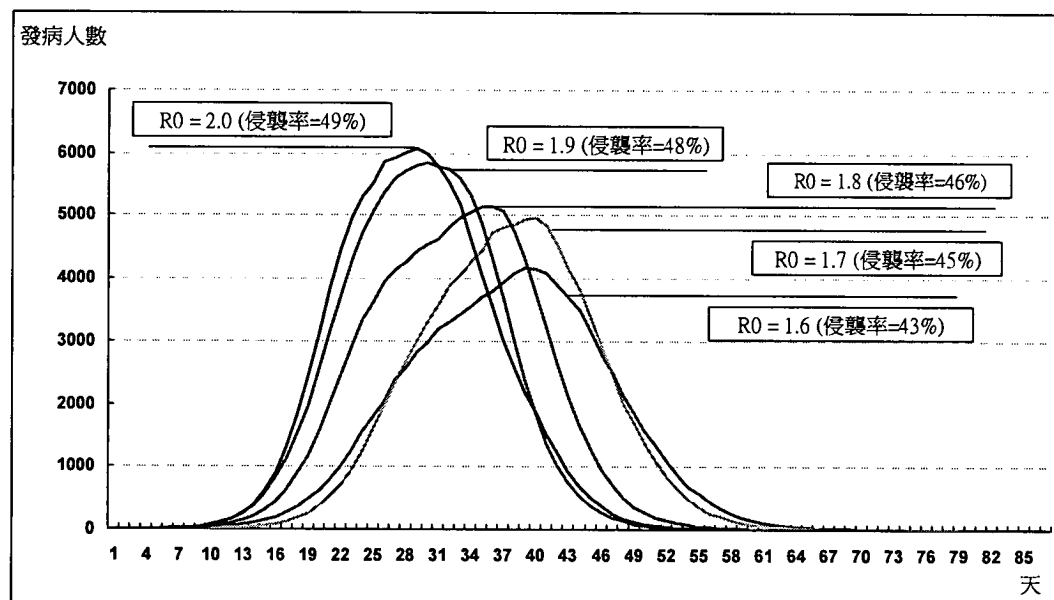


圖 10 不同 R_0 值下的模擬結果

實驗結果

由(圖 10)我們可以發現，隨著 R_0 值的增加，(1) 侵襲率 (2) 曲線的峰值 (3) 疫情發展的速度，皆隨之增加。 R_0 參數對整個疾病傳播動態有很大的影響，不過當 R_0 的值接近 2.0 時， R_0 值的變動對模擬的結果並不會造成太大的影響。我們推測，可能是疾病傳播受限於底層的接觸網路限制，無法使傳播的速度再變得更快。

— 從不同地區爆發的結果

在這一節，我們想探討疫情從不同的地區爆發時，會造成傳播動態上怎樣的差異。我們分別以台北市、高雄市、雲林縣、宜蘭縣、作為初始病例的發生點，來模擬流感爆發的情形。選擇上面四個地區的原因是，北高是台灣的二大都會區，是人群的大量來往的地區，因此很有可能出現境外移入的病例。而雲林及宜蘭是農業縣，有許多的養雞場、養鴨場，新型流感有可能透過這些家禽而感染人類。

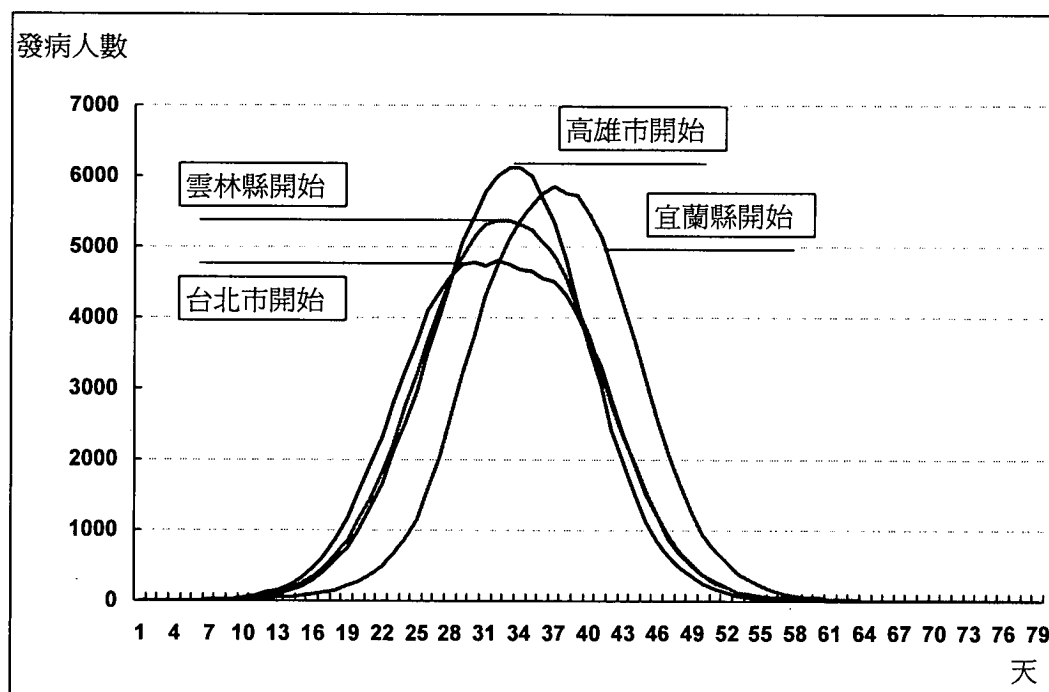


圖 11 模擬不同地區爆發所產生的結果

實驗結果

從(圖 11)我們可以發現一些有趣的現象：

1. 由台灣西半部地區爆發產生的疫情，其峰值出現的時間大概都差不多，

然而，由東半部地區爆發產生的疫情，其峰值的出現大約會延後 4~5 天。

2. 台北市爆發的流行曲線會呈現較平緩的趨勢 (峰的形狀較沒有那麼尖銳)。

造成(1)的原因可能是東半部的交通較不發達，所以疾病要蔓延到全島要花比較多的時間；造成(2)的原因可能是，大台北地區是全台人口最多的地區，因此疾病若先從台北市爆發，會先在此處造成第一波的快速的流行，然後再散播到其他地方，造成第二波其他地區的同步流行，由於第一波和第二波的流行有時間上的延遲，二波疊合起來便得到一個較平緩的流行曲線。

而我們針對這四個不同的爆發點對於台灣的北中南東四區爆發順序的影響做一觀察(圖 12,圖 13,圖 14,圖 15)。

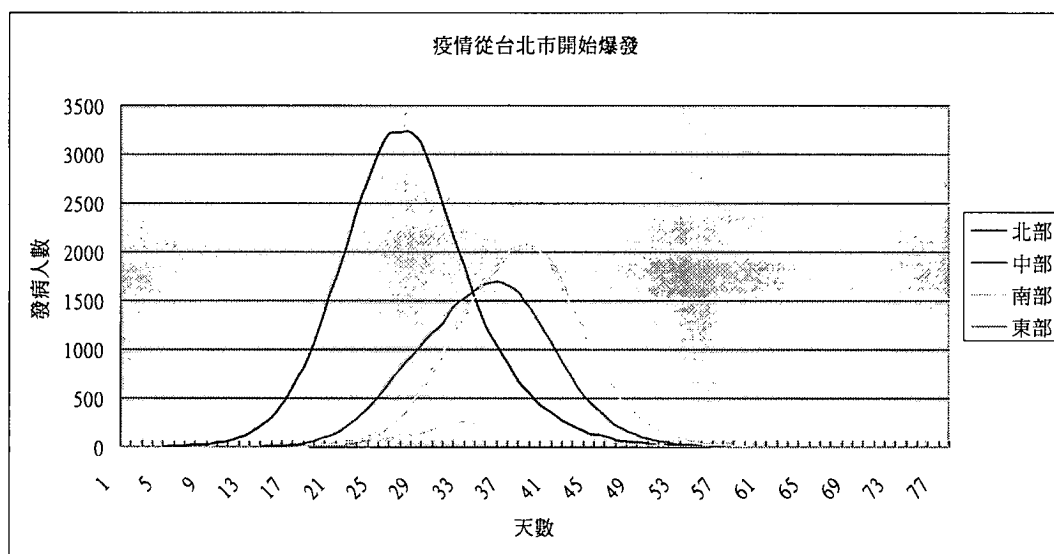


圖 12 疫情從台北開始爆發的影響

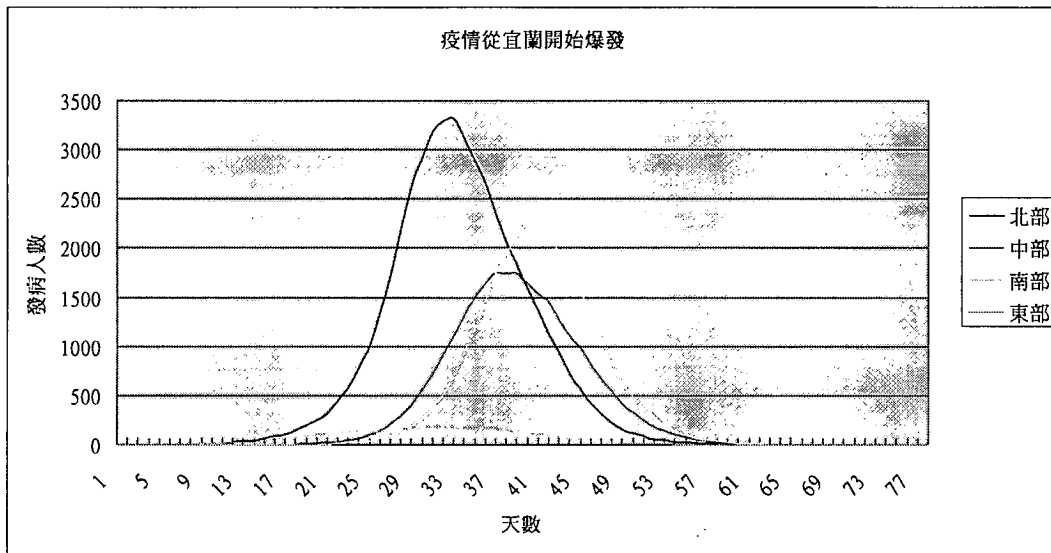


圖 13 疫情從宜蘭開始爆發的影響

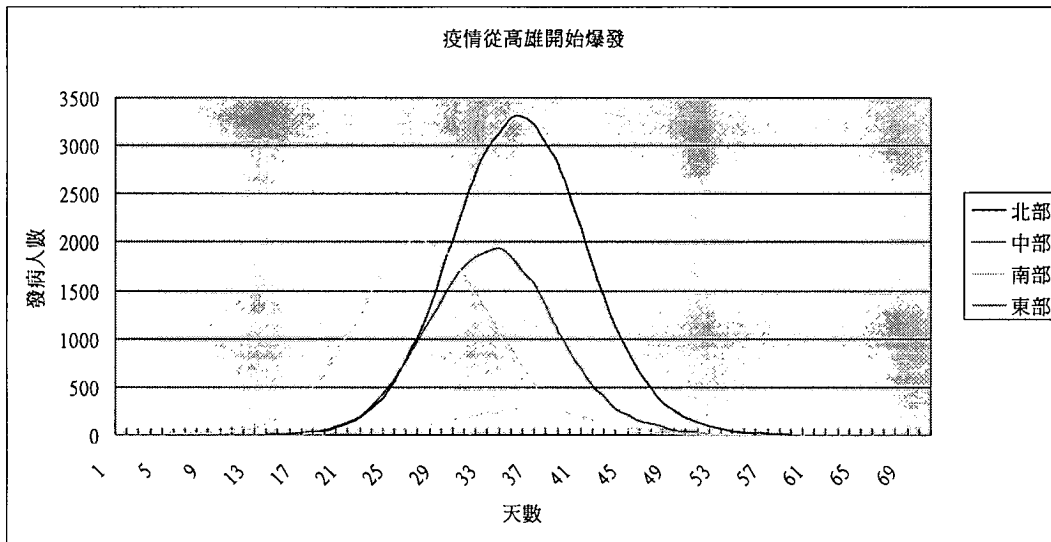


圖 14 疫情從高雄開始爆發的影響

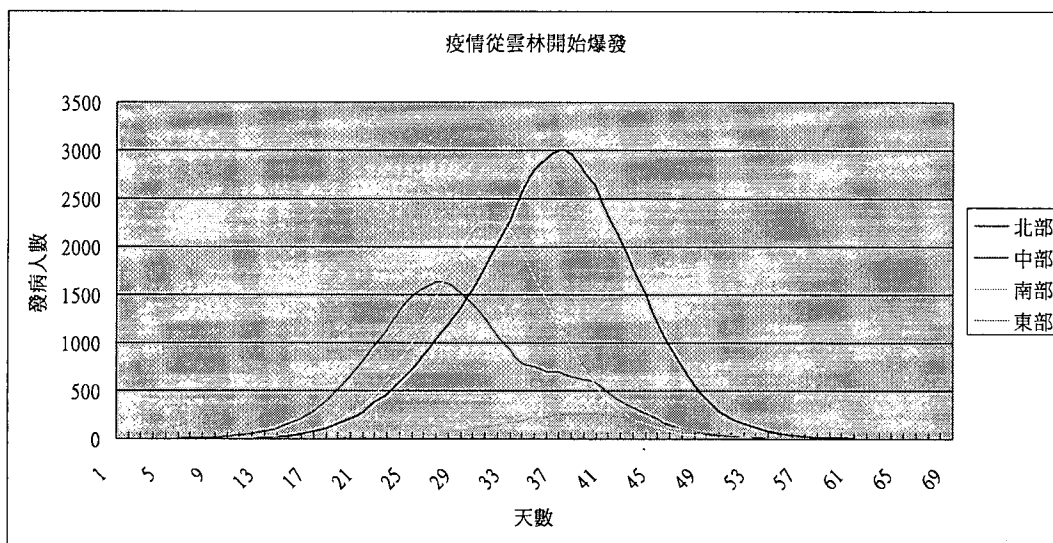


圖 15 疫情從雲林開始爆發的影響

針對疫情從花蓮爆發的情形，我們也發現其最主要的影響還是北部地區，他會最早爆發且會產生的影響最大，因為其和花蓮的交通是最頻繁，相對的，因為中部地區和花蓮的交通是最不頻繁的，所以其疫情爆發的時間點較晚，影響也會較小(圖 16)。

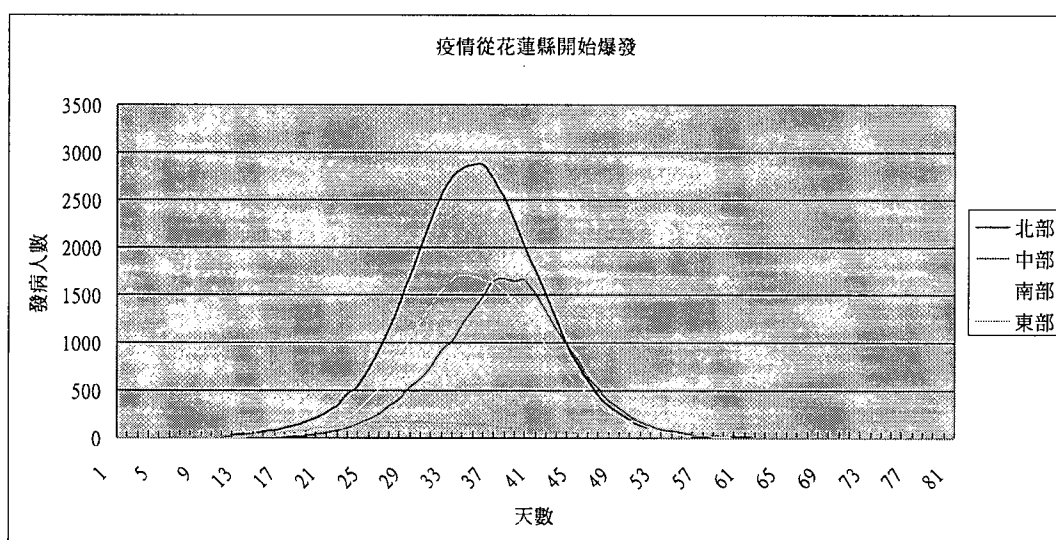


圖 16 疫情從花蓮開始爆發的影響

—不同的初始感染人數的結果

在這個實驗中，我們想知道初始感染人數會對整個傳播動態造成怎樣的影響，我們分別以 2 人、5 人、10 人及 20 人來進行實驗。

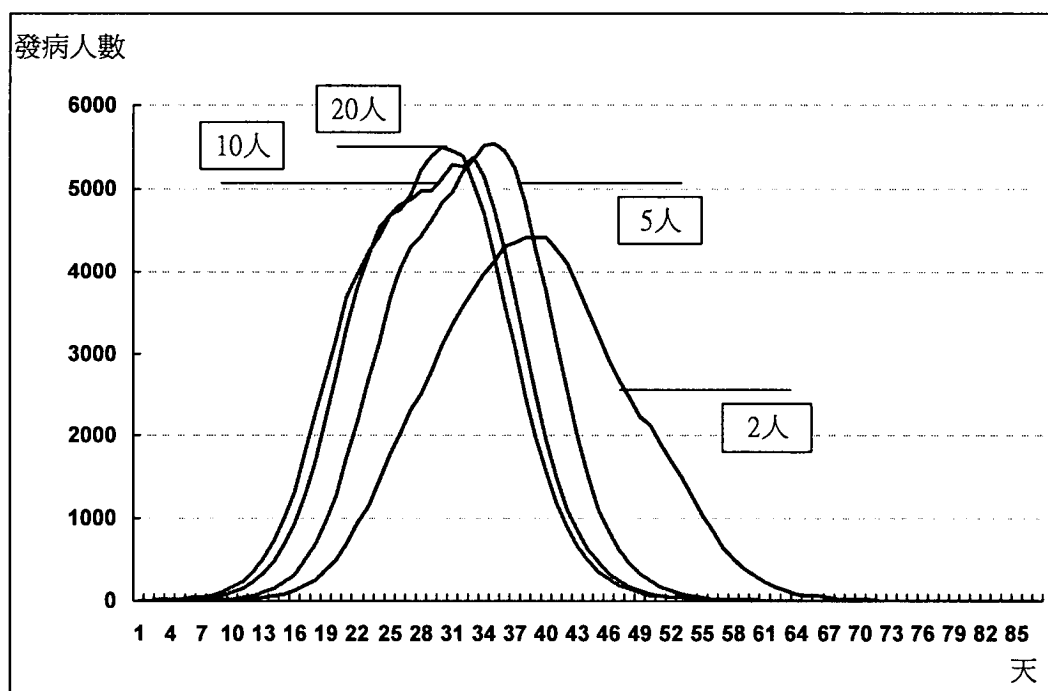


圖 17 初始感染人數的影響

實驗結果

從圖 17 我們可以發現，當人數在 5 人及 5 人以上時，其流行曲線大致都很相似，其差別只在曲線的平移；初始感染人數愈多，整個曲線便會往左移動的愈多。這是因為初始人數愈多，整個疫情爆發的速度也就愈快；不過這個左移的現象會隨著初始人數的增加而變得愈不明顯，例如在 10 人到 20 人之間，其結果並沒有太大的差異。因此只要初始人數在 5 人以上，我們便不太需要考慮初始人數對整個模擬結果的影響。

3.1.2 預防性投藥

因為目前尚無有效對付禽流感病毒的人類疫苗。由羅氏藥廠開發，能抑制流感病毒的抗病毒藥劑-克流感，便成為大家矚目的焦點。在這個實驗中，我們討論使用克流感作預防性投藥的效果。此實驗的參數設定如下(表 5)：

表 5 預防性投藥實驗參數設定

參數	設定值
AVES	0.3 (Longini 2005[8])
AVEI	0.62 (Longini 2005[8])
AVED	0.6 (Longini 2005[8])
DrugStockPile	222477 (人口數的 10%)

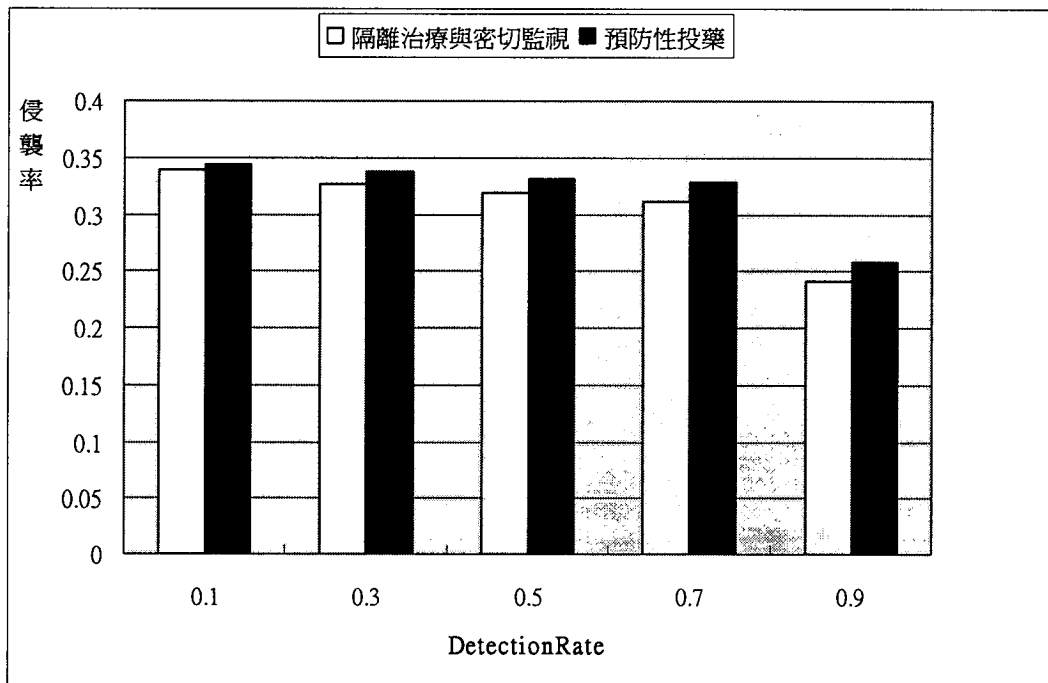


圖 18 加入預防性投藥後的侵襲率

實驗結果

(圖 18)是我們模擬預防性投藥的執行，在不同**DetectionRate**下所得到的侵襲率。令人訝異的是，原本的“隔離治療及密切監視”政策，加入預防性投藥後，反而使侵襲率微幅上升！然而，在觀察其流行曲線(圖 19)後，我們便可發現，這並非是克流感沒有發生效用。這顯示在爆發的初期，疫情的確因為克流感的預防性投藥而受到了控制。如果克流感真的發揮了效果，那究竟是什麼原因造成侵襲率的升高呢？

經過不斷地實驗後，我們發現這個現象是因為克流感用盡所造成的。(圖 20)是在**DetectionRate = 0.9**的狀況下，無預防性投藥(即“隔離治療與密切

監視”) 和加入預防性投藥政策的兩者的累積病例圖。從圖中我們可以發現，當克流感消耗殆盡後，“預防性投藥”的曲線會快速的上升，最後在發病人數上，更一舉超越沒有使用預防性投藥的曲線。

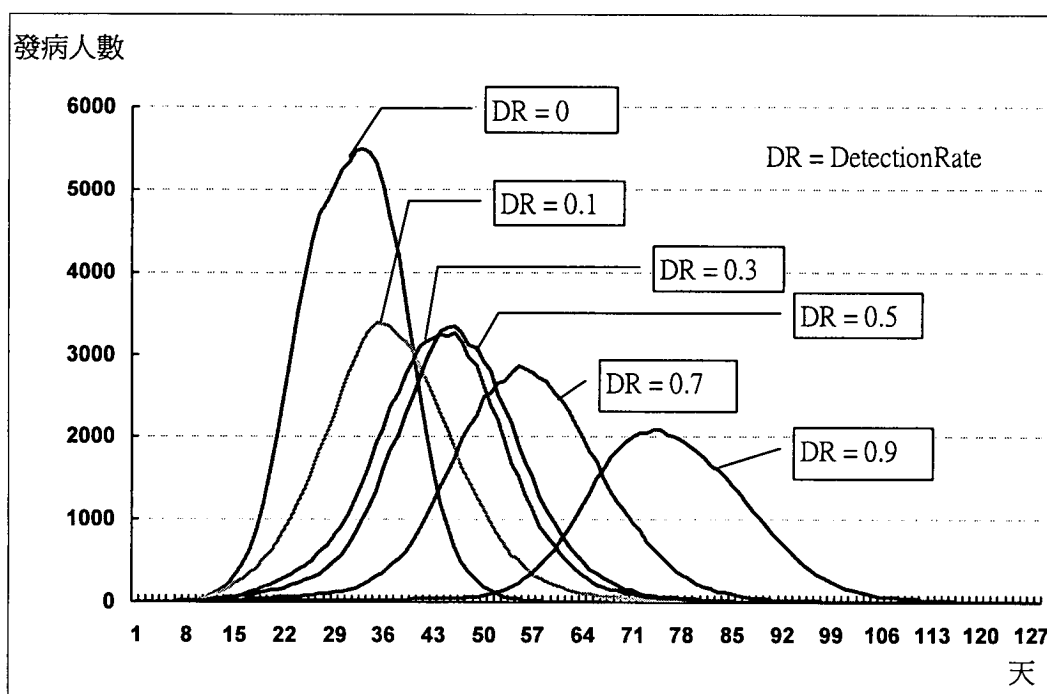


圖 19 預防性投藥政策的模擬結果

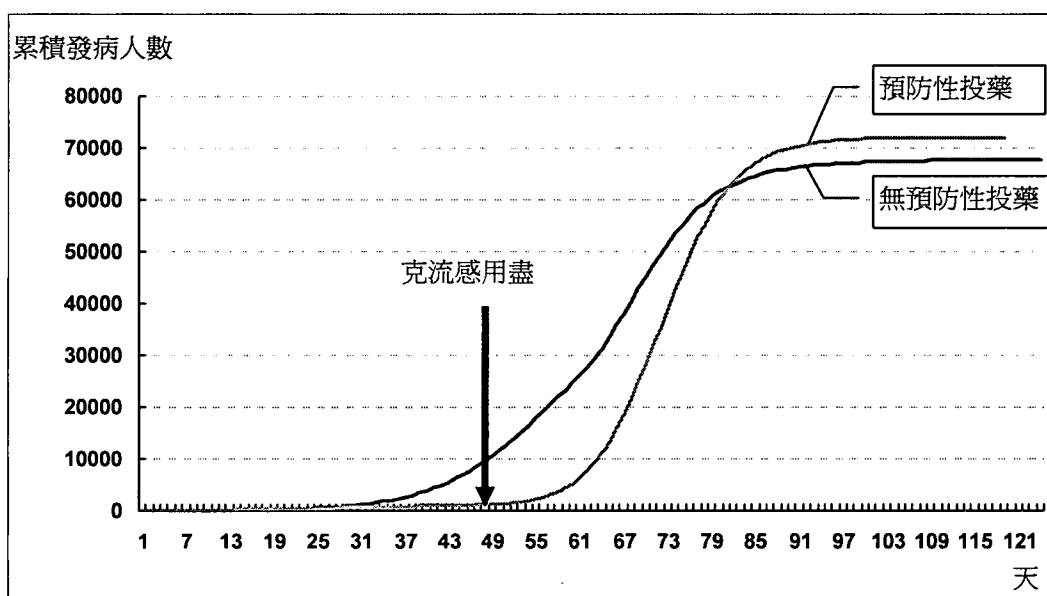


圖 20 克流感用盡的結果

克流感的缺乏為什麼會造成感染人數快速攀升呢？因為克流感亦是治療流感病患的重要藥物，不但可以使病人減輕症狀，亦可保護醫護人員與照顧病患的家屬免於受到病人的傳染。將克流感用於預防性用藥，雖然具有抑止疫情的擴散的效果，然而如果無法在短期內將疫情完全控制，則將造成克流感大量的消耗，而造成流感病患在治療上藥物的匱乏。所以在進行克流感預防性投藥時，應該特別注意上述的情形。

3.1.3 交通管制

在交通管制政策的參數設定上，我們設定 $TR_Rate = 0.5$, $TR_Threshold = 0.005$ ，在此設定下，比較上述的三個啟動機制對傳播動態上所造成的差

異。

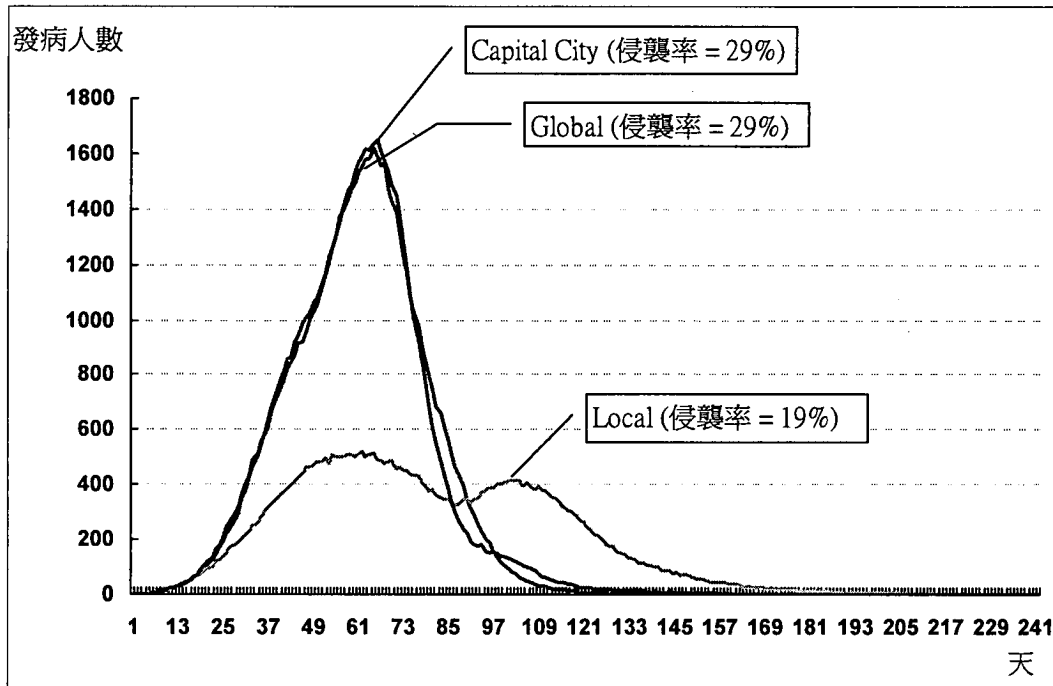


圖 21 不同的啟動機制下的“交通管制”政策造成的影響

實驗結果

從(圖 21)我們可以發現，以Local方式來執行交通管制政策，明顯比Global或Capital City等方式來得有效，區域交通管制效果會比全域的管制好的原因是，以區域為單位的監測較能快速掌握流感在區域間傳播的動態，因此可以在初期阻斷病毒在在區域間的流竄。如果到了後期再以全域的方式來阻斷病毒的流動，此時病毒已經在各區域穩定成長，便為時太晚了。

3.1.4 居家隔離

過去在因應疾病大流行時，隔離是常常被使用的防疫政策。我國在 2003 年 SARS 流行期間啟動了大規模的“居家隔離”政策，達到控制疫情的效果。因此我們想探討居家隔離對於疫情的控制上，能產生多大的功效。在實驗參數設定上，我們將 DetectionRate 固定為 0.7，分別模擬居家隔離遵守率 (QuarantineRate) = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 的情形。

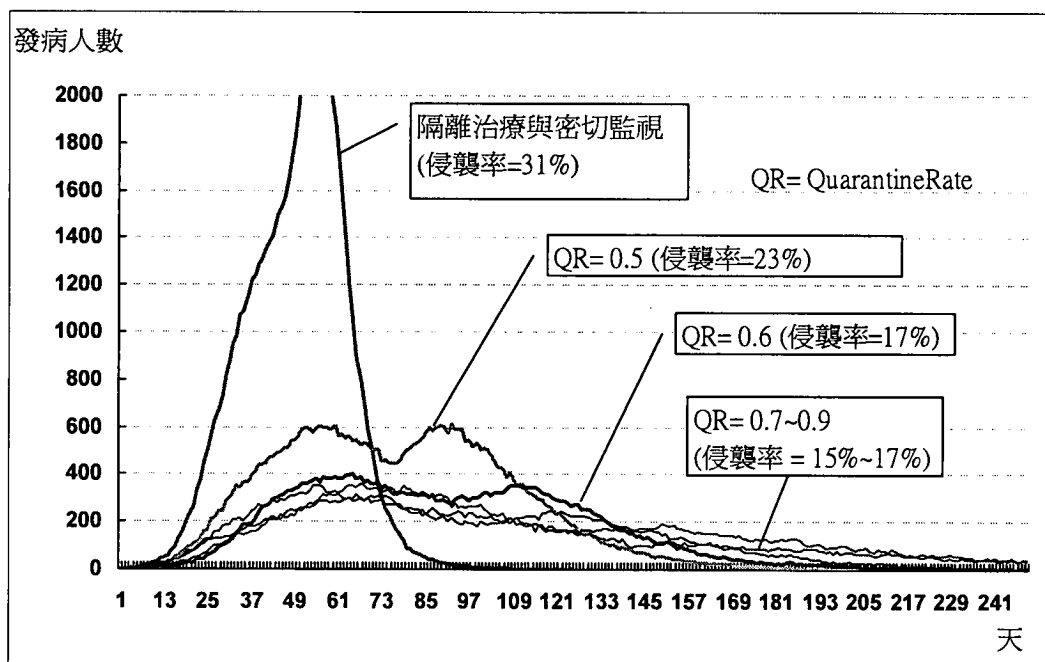


圖 22 居家隔離的效果(DetectionRate = 0.7)

實驗結果

從(圖 22)中我們可以發現，居家隔離仍然對疫情的減緩發揮了很大的效果。和“隔離治療與密切監視”的政策相較之下，其流行曲線呈現出緩慢上升及較多波動。此外，我們可以發現當QuarantineRate在 0.6 以上時，

其傳播動態對於QuarantineRate的值並不是很敏感。這對防疫政策上來說是一個很重要的結果，因為這代表，即使我們在政策執行上無法達到那麼高的執行率，居家隔離仍然可以為我們帶來很好的效果。

3.1.5 多種政策同時實施

儘管這些上述的“隔離治療與密切監視”、“預防性投藥”及“居家隔離”等政策的執行可以使流感侵襲率降低至22%~15%之間，但如果考慮全台灣2200萬的人口，15%的侵襲率代表仍然有330萬人會受到感染，這仍是一個相當大的數目。有沒有可能在把將侵襲率降得更低呢？我們用以下的實驗來探討其可能性。

我們將上述的三種防疫政策同時實施，並使用以下非常理想化的參數值。

表 6 三種政策同時執行的模擬參數

參數	設定值
DetectionRate	0.9
QuarantineRate	0.9
DrugStockPile	2224770 (人口數的 100%)

實驗結果

從(圖 23)中，我們可以發現整個疫情的進展變得非常的緩慢。儘管如此，疫情並沒有完全消失；在第210天克流感用盡之後，疫情又開始快速地上

升。

因此我們認為使用上述的這些治療及接觸者追蹤的政策幾乎是不可能讓流感的傳播完全停止的。主要原因是這些政策都是以被動的方式來執行。我們必須等到病人發病之後，才能進行治療以及追蹤他的親切接觸者。然而病例的發現和接觸者追蹤在實際上並不可能做到 100%，只要有一小部分帶原者還在人群中流動，流感便會不斷地傳播，一直到大部分的人都被感染為止。

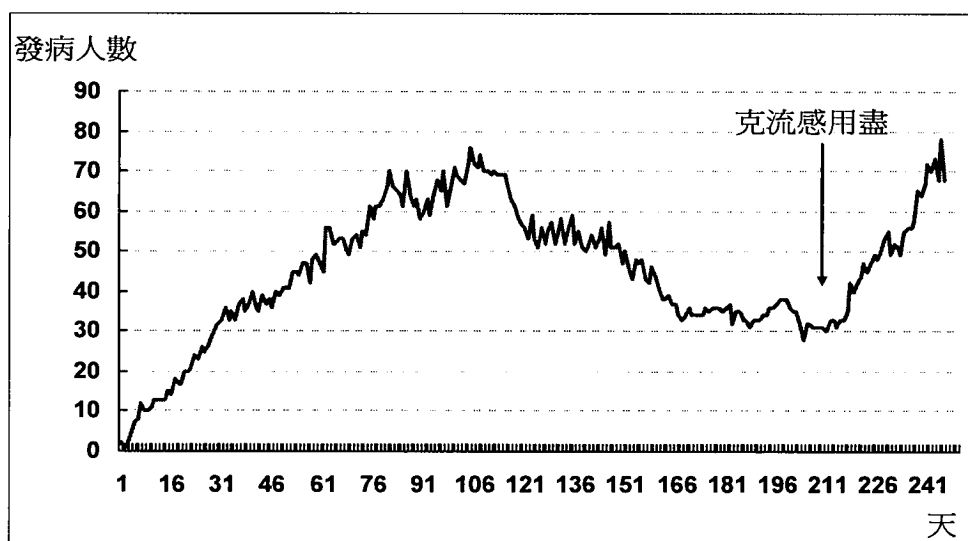


圖 23 三種政策同時執行的結果

儘管如此，這些政策在防疫上仍然具有他們的價值：它們使當局有更充裕的時間來應對流感所帶的衝擊，使疫苗廠商們有更多的時間來研發及製造流感疫苗，更重要的，它們給予整個醫療體系及醫療人員一個喘息的機會，

不致於被龐大的感染人數所癱瘓。

3.1.6 使用疫苗

在各種防疫政策中，被認為最有效的就是疫苗。然而疫苗在流感大流行的可行性，卻受到下面幾個因素的影響：

疫苗的效果。

由於目前流感大流行尚未發生，所以專家們只能用猜測的方式，先針對一些可能引發大流行的流感病毒來研發疫苗(例如高致病性的 H5N1 病毒)。然而這與實際引發大流行的病毒必定還有些差距，因此在大流行發生時，它們所能提供的保護效果是無法確定的。

疫苗的產能。

目前全球疫苗的生產能力遠遠低於大流行期間預期的需求量。因此，許多疫苗廠商正積極地研究如何改進生產的方式來提高疫苗的產量。而我國為了因應流感大流行的危機，亦決定自行建立疫苗工廠來生產疫苗。然而，大流行時疫苗的供給量仍然受到疫苗研發及生產技術等不確定的因素的限制。

因此，在這系列實驗中，我們主要想探討不同的效力的疫苗，搭配不同的疫苗接種率可以產生怎樣的結果。例如，對於高效力及低效力的疫苗，接

種比例應該要達到多少才能使疫情減緩。

對於低效力的疫苗，我們參考 Longini 2005[8] 設定以下的參數：

$$VEI = 0.5, VES = 0.3,$$

對於高效力的疫苗，我們參考 Longini 2004[9] 設定以下的參數：

$$VEI = 0.8, VES = 0.7,$$

其餘的參數設定如下：VaccineRate=0.5, 0.3, 0.1, VaccineTime=第 20 天。

實驗結果

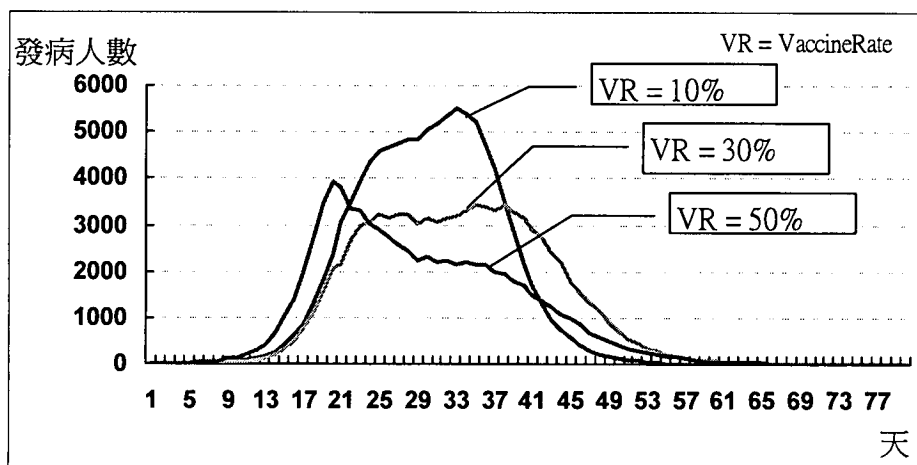


圖 24 低效力疫苗的模擬結果

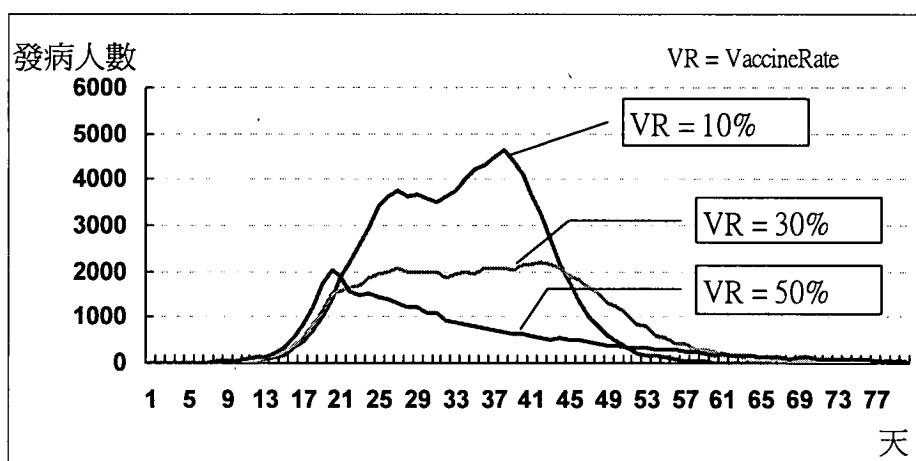


圖 25 高效力疫苗的模擬結果

從(圖 27)和(圖 28)我們可以發現，不論是高效力的疫苗或是低效力的疫苗，疫苗的接種率(即參數 VaccineRate)對傳播動態都有很大的影響。在 VaccineRate = 50%時，不論是高效力或低效力的疫苗，在疫苗生效的那一天之後，整個曲線都呈現下降的走勢。相較之下疫苗的效力只是影響其下降速度的快慢，並不像接種率有這麼大的影響。

3.2 關於季節性流感

3.2.1 無公衛政策介入

我們利用 R_0 約 1.8~2.5 左右，分別模擬從不同地區與不同人數季節性流感爆發的情形。本模擬是根據季節性流感在每年 9 月旺季開始時，到隔年 9 月時的結果。

—從不同地區爆發的結果

我們分別以台北市、高雄市、雲林縣、宜蘭縣、作為初始病例的發生點，

來模擬流感爆發的情形。由於北高是台灣的二大都會區，無論是 H5N1 流感甚至是季節性流感，在人群的大量來往的地區，將迅速散播流感病毒。

此外，我們亦選取台灣東、西兩區各一縣市進行模擬。

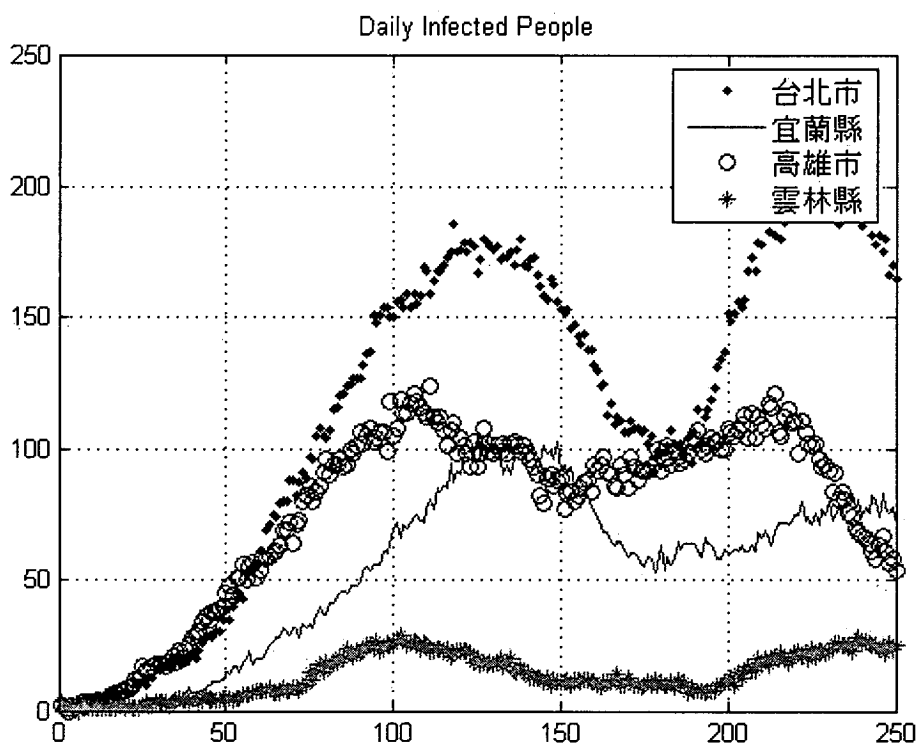


圖 26 模擬不同地區爆發所產生的結果

下方 (圖 27) 是我們根據季節性流感在台灣四大地區爆發時，分別影響的趨勢。

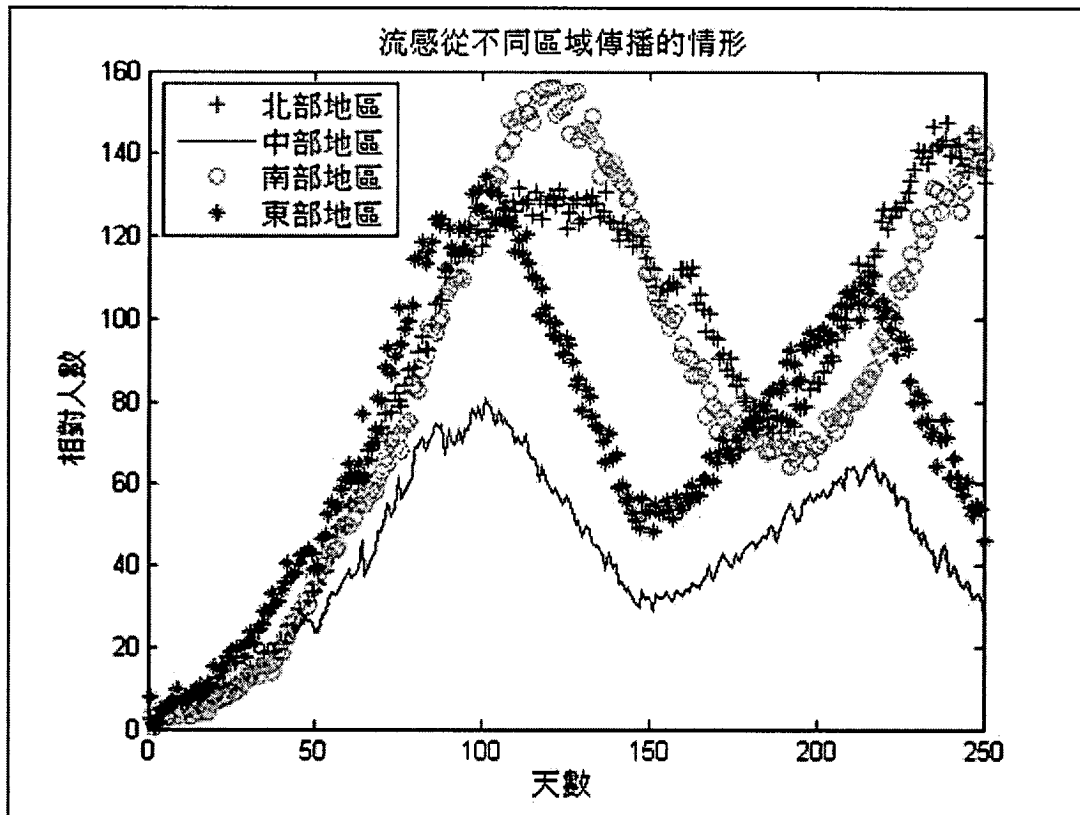


圖 27 模擬台灣四大地區爆發所產生的結果

實驗結果

北部與南部這兩個全台人口最多的地區，在季節性流感開始漫延時，皆會產生較其它兩區較高的感染人口。而中部地區的影響結果較小，遠低於其餘三區。

—不同的初始感染人數的結果

在這個模擬中，我們分別以 2 人、5 人、10 人及 20 人來進行實驗。由於台北市是人口較稠密的縣市，故以台北市進行本模擬。模擬結果如(圖 28)

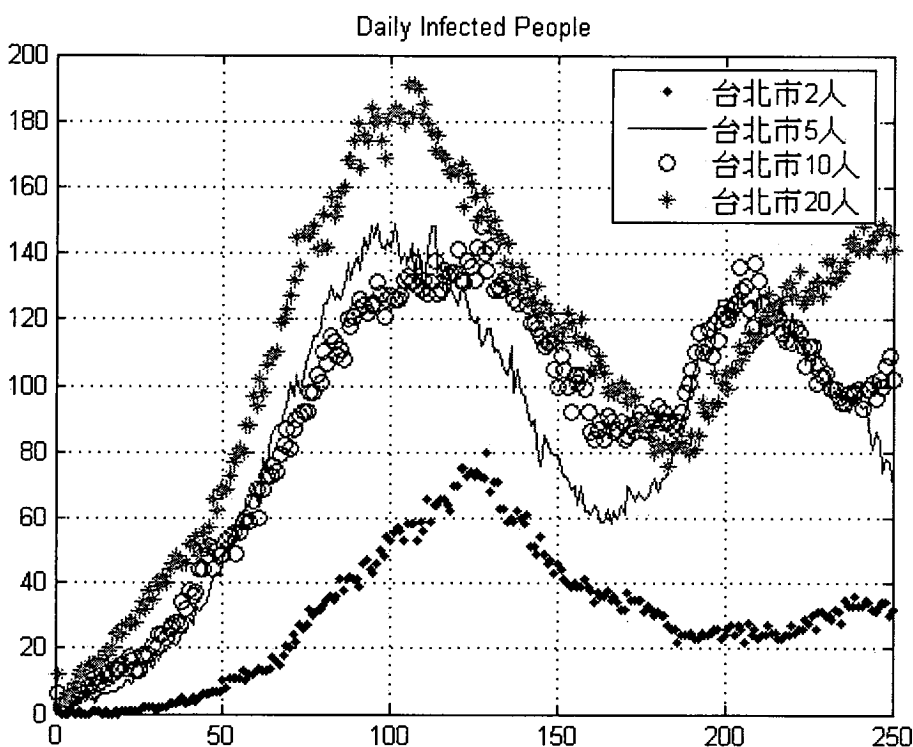


圖 28 初始感染人數的影響

實驗結果

從(圖 28)我們可以發現，當人數在 5 人以上時，其流行曲線較 2 人的結果相比，明顯高出許多；初始感染人數在 5 人以上時，曲線相當類似。這是因為初始人數超過 5 人後，將導致傳染力增高，提高整個疫情爆發的速度。因此在初始人數在 5 人以上，初始人數對整個模擬結果將沒有顯著的差異。

3.2.2 交通管制

在交通管制政策的參數設定上，我們亦設定 $TR_Rate = 0.5$ ，

$TR_Threshold = 0.005$ ，在此設定下，如H5N1 流感相似，我們對三種不同啟動機制比較上述對傳播動態上所造成的差異，如(圖 29)。

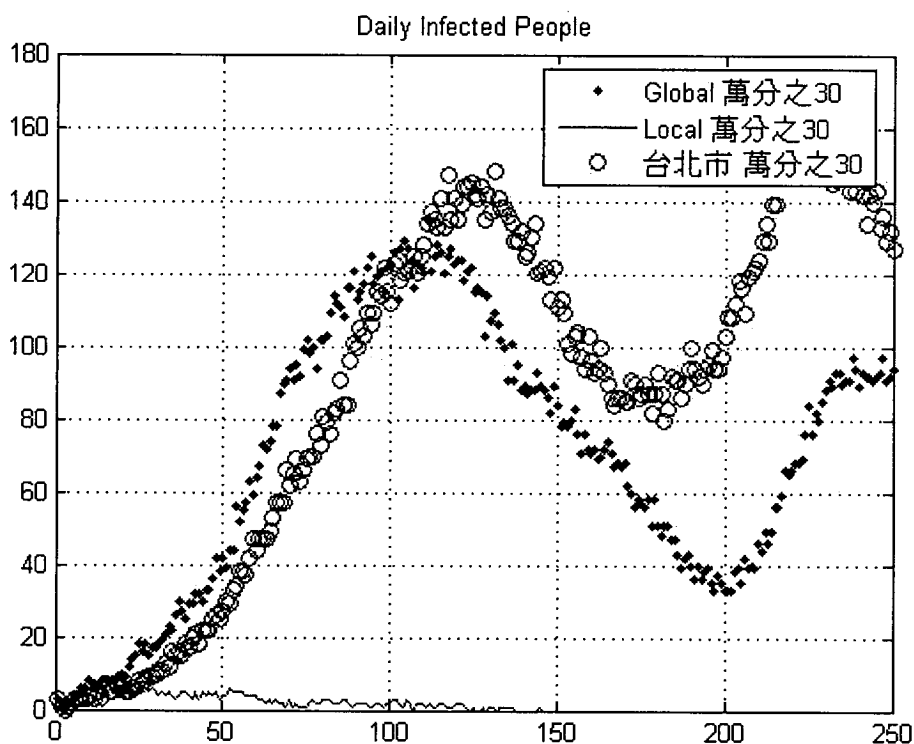


圖 29 不同的啟動機制下的“交通管制”政策造成的影響

實驗結果

從(圖 29)我們可以發現，以Local方式來執行交通管制政策，明顯比Global或Capital City等方式來得有效，區域交通管制效果會比全域的管制好的原因是，以區域為單位的監測較能快速掌握流感在區域間傳播的動態，因此可以在初期阻斷病毒在在區域間的流竄。

3.2.3 使用疫苗

在各種防疫政策中，被認為最有效的就是疫苗。在以下實驗中，我們想探討不同的效力的疫苗，搭配不同的疫苗接種率可以產生怎樣的結果。例如，對於高效力及低效力的疫苗，接種比例應該要達到多少才能使疫情減緩。

對於低效力的疫苗，我們參考 Longini 2005[8]設定以下的參數：

$$VEI = 0.5, VES = 0.3,$$

對於高效力的疫苗，我們參考 Longini 2004[9]設定以下的參數：

$$VEI = 0.8, VES = 0.7,$$

其餘的參數設定如下： $VaccineRate=0.5, 0.3, 0.1$ ， $VaccineTime=$ 第 20 天。

實驗結果

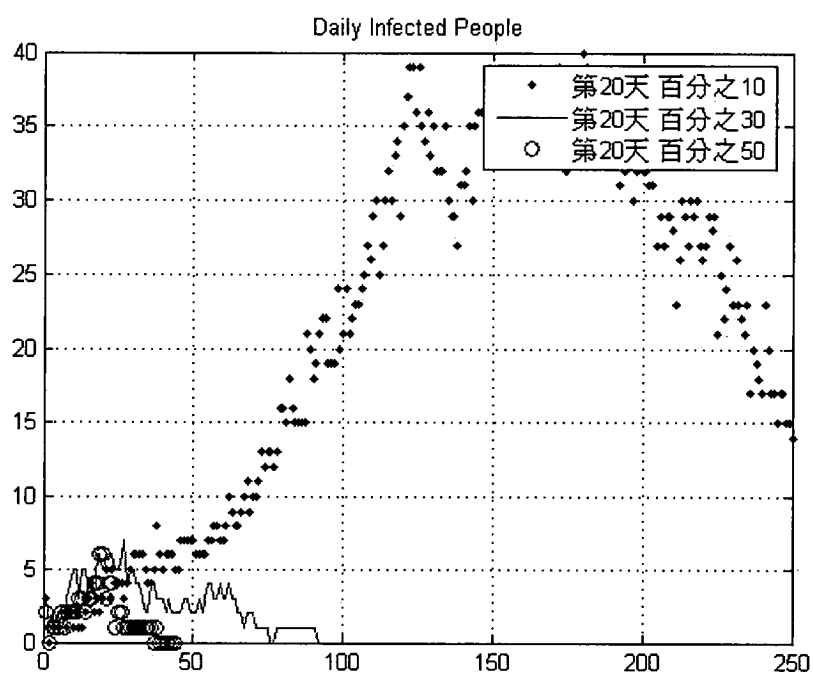


圖 30 高效力疫苗的模擬結果

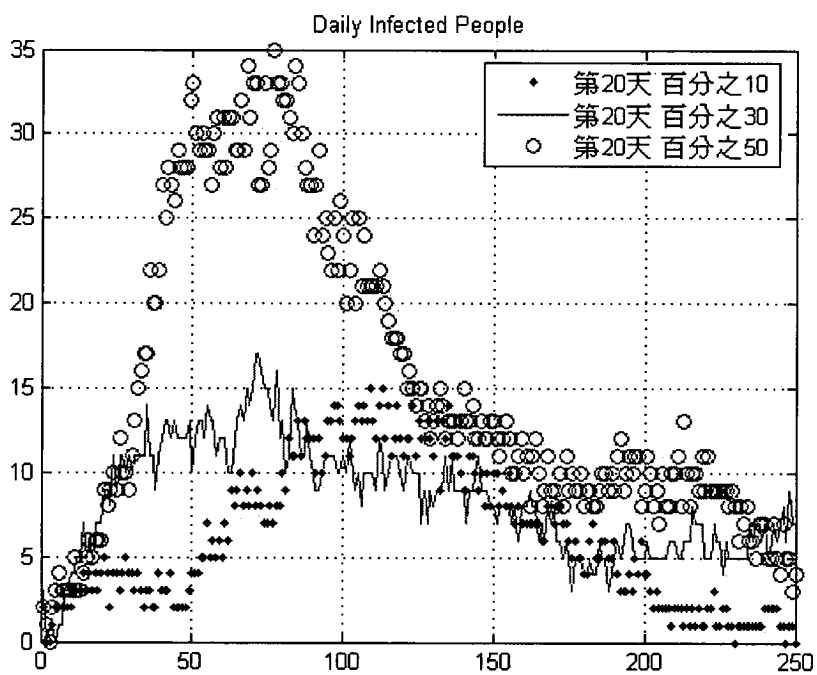


圖 31 低效力疫苗的模擬結果

從(圖 30)和(圖 31)我們可以發現，不論是高效力的疫苗或是低效力的疫苗，疫苗的接種率(即參數VaccineRate)對傳播動態都有很大的影響。在VaccineRate = 50%時，不論是高效力或低效力的疫苗，在疫苗生效的那一天之後，整個曲線都呈現下降的走勢。

4. 結論與建議、計畫重要研究成果及具體建議

本研究建立了一個具有預測流感爆發趨勢的空氣傳染病模型，並用此模型來模擬新型流感在台灣的爆發。此模型是一個以個體為基礎、由多個互連的區域構成的模型，我們利用“分身點”來表達個體在區域內的日常移動及區域間的長距離移動，並利用“接觸場所”的概念，來表達區域內人群的群聚，我們相信這個的模型可以掌握住人群互動的基本性質，進而準確地描述流感在人群中的傳播。

在進行模擬實驗時，我們發現一旦流感在台灣爆發時，疫情將迅速地發展，在短短不到二個月的時間便可造成全國將近一半的人受到感染。在實驗中我們亦發現，克流感預防性用藥的效果並沒有想像中來得好。雖然使用克流感作預防性投藥可以將初期的感染人數控制得非常低，但卻很難使流感完全消滅。一旦克流感使用殆盡，將會使流感的感染人數快速地上升。

從實驗的結果來看，我們發現一旦流感病毒出現，我們很難利用現行的各種公衛政策將它完全根除。因此，公衛政策的目的並不在於一定要把流感的病源根除，更重要的，它必須使疫情減輕到一定的程度，使醫療體系有能力照顧它所造成的病患，使政府當局有能力去應付它所帶來的各種衝擊。

另外，從我們的實驗中發現，區域間交通管制的政策，以地區為單位來

執行可以有很好的實施效果。因此我們建議交通管制的施行應該考慮以區域為單位來施行，而這樣的方式也可以減少其他非疫區民眾的不便。

我們認為在這個研究中，在參數設定方面還有很大改進空間：例如透過 GIS 等相關的技術或更詳細來調查資料，來設定接觸場所的數量及其容納的人數，或者利用各種無線裝置來進行人類日常移動的模式分析，來設定模型中的分身點。這將大大地提高模型的準確性和可信度。另外，在整個地理空間上的切割如果能以更小的單位來作為一個區域，例如鄉鎮市，相信也能提升模型的準確性。

現代的社會中，流感仍然是人類的一大威脅，就像 2003 的 SARS 帶給我們的震撼教訓。我們必須事先模擬各種情境提早做好應變的措拖，才能在大流行時成功地控制疫情。而有效地模擬不同情境及並評估各種公衛政策，則需要一個準確而可靠的模型。我們將繼續努力，希望能為這方面的研究作出一些貢獻。

5. 參考文獻：請依台灣醫誌編排方式

- [1] Chen, H., et al., Avian flu: H5N1 virus outbreak in migratory waterfowl.
- [2] Trampuz, A., et al., Avian influenza: a new pandemic threat. *Mayo Clin Proc*, 2004. 79(4): 523-30.
- [3] World Health Organisation. Avian influenza: assessing the pandemic threat. 2005; Available from: http://www.who.int/csr/disease/influenza/WHO_CDS_2005_29/en/index.html.
- [4] Morens, D.M., G.K. Folkers, and A.S. Fauci, The challenge of emerging and re-emerging infectious diseases. *Nature*, 2004. 430:242-49.
- [5] Taubenberger, J.K., et al., Characterization of the 1918 influenza virus polymerase genes. *Nature*, 2005. 437(7060): 889-93.
- [6] Watts, D.J. and S.H. Strogatz, Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, 1998. 393(6684): 409-10.
- [7] World Health Organization. Confirmed Human Cases of Avian Influenza A(H5N1). Available from: http://www.who.int/csr/disease/avian_influenza/country/en/.
- [8] Longini Jr, I.M., et al., Containing Pandemic Influenza at the Source. *Science*, 2005. 309(5737): 1083-87.
- [9] Longini Jr, I.M., et al., Containing Pandemic Influenza with Antiviral Agents. *American Journal of Epidemiology*, 2004. 159: 623-33.
- [10] 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): 700-21.
- [11] **Diekmann, O., M. Jong, and J.A.J. Metz, A Deterministic Epidemic Model Taking Account of Repeated Contacts between the Same Individuals.** *Journal of Applied Probability*, 1998. 35(2): 448-62.
- [12] **White, J. and I. Wells, Extracting origin destination information from mobile phone data.** *Road Transport Information and Control*, 2002. *Eleventh International Conference on (Conf. Publ. No. 486)*, 2002: 30-34.
- [13] **Bak, P., K. Chen, and C. Tang, A forest-fire model and some thoughts on turbulence.** *Physics Letters A*, 1990. 147(5-6): 297-300.
- [14] **Barrett, C.L., S.G. Eubank, and J.P. Smith, If smallpox strikes Portland.** *Sci Am*, 2005. 292(3): 42-9.
- [15] **Health Protection Scotland. The infection control care of those known or suspected to have Influenza in healthcare settings - Droplet Precautions. Available from:**
<http://www.hps.scot.nhs.uk/haic/ic/dropletprecautions.aspx#principles>.
- [16] **Center for Disease Control and Prevention, the United States. The Influenza (Flu) Viruses. Available from:**
<http://www.cdc.gov/flu/about/fluviruses.htm>.
- [17] **Bartlett, J.G. and F.G. Hayden, Influenza A (H5N1): Will It Be the Next Pandemic Influenza? Are We Ready? 2005.**
- [18] **Melanie Mattson Influenza Primer I. Available from:**
<http://www.fluwikie.com/pmwiki.php?n=Science.InfluenzaPrimerI>.
- [19] **Georg Behrens, H., et al., Influenza Report 2006, B.S. Kamps, C.**

- Hoffmann, and W. Preiser, Editors. 2006, *Flying Publisher*.
- [20] Flahault, A.D., S.D. Deguen, and A.J.D. Valleron, A mathematical model for the European spread of influenza. *European Journal of Epidemiology*, 1994. 10(4): 471-74.
- [21] Rapoport, A., Mathematical models of social interaction. *Handbook of Mathematical Psychology*, 1963. 2: 493-579.
- [22] Grais, R.F.J., et al., Modeling the Spread of Annual Influenza Epidemics in the US: The Potential Role of Air Travel. *Health Care Management Science*, 2004. 7(2): 127-34.
- [23] World Health Organization. National Influenza Pandemic Plans. Available from:
<http://www.who.int/csr/disease/influenza/nationalpandemic/en/index.html>.
- [24] Snacken, R., et al., The next influenza pandemic: lessons from Hong Kong, 1997. *Emerg Infect Dis*, 1999. 5(2): 1-11.
- [25] Moser, M.R., et al., An outbreak of influenza aboard a commercial airliner. *Am J Epidemiol*, 1979. 110(1): 1-6.
- [26] Horimoto, T. and Y. Kawaoka, Pandemic Threat Posed by Avian Influenza A Viruses. *Clinical Microbiology Reviews*, 2001. 14(1): 129-49.
- [27] Stewart, J.J., Parameters of Influenza Aerosol Transmission. *CommentsR on Theoretical Biology*, 2002. 7(6): 445-57.
- [28] Osterholm, M.T., Preparing for the Next Pandemic. 2005.
- [29] Judson, O.P., The rise of the individual-based model in ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 1994. 9(1): 9-14.

- [30] 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).
- [31] Milgram, S., **The small world problem.** *Psychology Today*, 1967. 2(1): 60-67.
- [32] Mollison, D., **Spatial Contact Models for Ecological and Epidemic Spread.** *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 1977. 39(3): 283-326.
- [33] Ferguson, N.M., et al., **Strategies for containing an emerging influenza pandemic in Southeast Asia.** *Nature*, 2005. 437: 209-14.
- [34] Granovetter, M., **The Strength of Weak Tie.** *American Journal of Sociology*, 1973. 78: 1360-80.
- [35] World Health Organization. **Ten things you need to know about pandemic influenza.** Available from:
<http://www.who.int/csr/disease/influenza/pandemic10things/en/>.
- [36] Chowell, G., et al., **Transmission dynamics of the great influenza pandemic of 1918 in Geneva, Switzerland: Assessing the effects of hypothetical interventions.** *J Theor Biol*, 2005.
- [37] Bridges, C.B., M.J. Kuehnert, and C.B. Hall, **Transmission of influenza: implications for control in health care settings.** *Clin Infect Dis*, 2003. 37(8): 1094-101.
- [38] Hartmann, S., **The World as a Process. Simulations in the Natural and Social Sciences.** *Modelling and simulation in the social sciences: From the philosophy of science point of view*, vo. 23: 77-100.

- [39] 行政院主計處. 九十年工商及服務業普查. 2001; Available from:
<http://www.stat.gov.tw>.
- [40] 行政院主計處. 八十九年戶口及住宅普查. 2000; Available from:
<http://www.stat.gov.tw>.
- [41] 內政部. 內政統計月報. Available from:
<http://www.moi.gov.tw/stat/month/list.htm>.
- [42] 教育部統計處. 各級學校概況表(87~94). Available from:
http://www.edu.tw/EDU_WEB/EDU_MGT/STATISTICS/EDU7220001/data/serial/b.xls.
- [43] 疾病管制局. 我國因應流感大流行之準備計畫. 2005; Available from:
http://flu.cdc.gov.tw/file/38657_6023726852plan%A1%5D%A9%5E%AE%D6%AB%E1%AD%D7%ADq%AA%A910%AA%A9%A1%5E940808.doc.
- [44] 疾病管制局. 流感防治手冊. Available from:
<http://203.65.72.83/ch/di/ShowPublication.ASP?RecNo=698>.
- [45] 第三期台灣地區整體運輸系統規劃：整體運輸系統供需預測與分析
(客運技術報告). 1999: 交通部運輸研究所.
- [46] 疾病管制局. 學校生病日上課情形趨勢圖. Available from:
http://www.cdc.gov.tw/file/38700_7772916667學校生病日上課情形趨勢圖.pdf.

6. 附錄

A.1 各縣市間每日交通流量-1

	基隆市	臺北市	臺北縣	桃園縣	新竹市	新竹縣	宜蘭縣	苗栗縣	臺中市	臺中縣	南投縣
基隆市	336160	97413	79283	7662	344	446	934	295	523	530	106
臺北市	81061	5272828	1139440	116810	10441	13600	11882	6040	8643	9365	2518
臺北縣	72456	1223013	2765720	210282	11886	15176	9739	5795	7480	8110	2194
桃園縣	7948	108484	288980	1949451	18491	73162	2055	6054	4095	4679	910
新竹市	339	10971	12282	17819	422692	137385	286	61373	2150	2617	187
新竹縣	431	14205	14395	84523	135860	384374	142	30932	1456	1632	142
宜蘭縣	1206	11247	9858	1920	286	116	766909	213	1204	773	61
苗栗縣	191	5581	5978	6243	62647	33531	266	744846	14358	95106	986
臺中市	540	8588	7567	4201	2078	1549	1086	10176	1628704	549546	19358
臺中縣	555	9053	7735	4551	2911	1409	850	78665	605919	1961331	52053
南投縣	88	2617	2139	700	207	84	78	1087	17397	75571	645662
彰化縣	187	5676	4140	1924	659	336	331	4642	65049	119272	86612
雲林縣	58	2032	1530	708	100	135	0	349	6956	6225	11049
嘉義市	50	956	927	428	129	90	0	241	1474	1690	1725
嘉義縣	10	1505	1169	579	133	35	14	221	2302	2153	8496
臺南市	90	2518	1897	792	212	86	40	217	1538	1267	345
臺南縣	76	2981	2028	777	191	115	37	271	2192	1833	606
高雄市	487	9756	7254	3056	535	374	2191	811	4653	4699	1188
高雄縣	114	4286	2948	958	138	78	114	218	2413	2047	502

	基隆市	臺北市	臺北縣	桃園縣	新竹市	新竹縣	宜蘭縣	苗栗縣	臺中市	臺中縣	南投縣
屏東縣	58	2833	2046	684	68	58	77	69	1542	1104	195
臺東縣	111	3015	1982	932	111	2	602	118	877	648	100
花蓮縣	294	6904	4654	2209	284	146	3550	183	1540	1165	397

資料來源：第三期台灣地區整體運輸系統規劃：整體運輸系統供需預測與
分析

A.2 各縣市間每日交通流量-2

	彰化縣	雲林縣	嘉義市	嘉義縣	臺南市	臺南縣	高雄市	高雄縣	屏東縣	臺東縣	花蓮縣
基隆市	256	53	66	27	115	97	631	168	79	81	330
臺北市	5331	2141	926	1396	2336	2883	10275	4463	2668	2950	6479
臺北縣	4506	1665	991	1197	1922	1901	6976	2924	1700	2584	4836
桃園縣	2272	706	473	586	584	771	2730	983	742	873	1758
新竹市	397	137	120	47	208	114	605	168	75	84	190
新竹縣	343	14	71	34	14	78	392	132	18	0	178
宜蘭縣	271	71	94	81	183	41	1292	125	232	513	4311
苗栗縣	3872	423	265	161	247	224	983	192	122	48	300
臺中市	78669	7554	1722	2999	1464	2463	4625	2175	1507	709	1743
臺中縣	105934	5994	1948	2173	1278	1780	4751	1849	1084	616	1824
南投縣	86847	9228	1640	1604	405	439	1032	271	218	71	563
彰化縣	1705593	67104	3611	13549	1454	1914	3675	1485	802	173	556
雲林縣	69564	764504	11441	58434	1570	4142	2117	940	496	148	117
嘉義市	4887	12741	336456	139145	2331	16460	2252	1413	773	24	198
嘉義縣	9327	51183	149187	619867	4798	45048	3450	1911	752	86	24
臺南市	938	1625	2648	5063	1145220	260887	21932	61746	6246	366	556
臺南縣	2014	4033	23611	52122	279709	1961122	28996	75714	5275	468	342
高雄市	3762	2087	2389	3450	23077	27853	3122404	611277	100399	4272	3292
高雄縣	1359	885	1315	1931	63679	66493	679621	1364726	135732	2090	951
屏東縣	725	342	369	569	6101	11147	103924	179468	1427879	2801	750
臺東縣	244	16	169	26	463	360	4367	1528	2544	389876	11835

	彰化縣	雲林縣	嘉義市	嘉義縣	臺南市	臺南縣	高雄市	高雄縣	屏東縣	臺東縣	花蓮縣
花蓮縣	684	143	122	119	672	607	3837	1127	1275	11086	535085

資料來源：第三期台灣地區整體運輸系統規劃：整體運輸系統供需預測與分析

A.3 2007 年各縣市人口數

地區	人口數
臺北縣 Taipei County	3,789,488
宜蘭縣 Yilan County	460,193
桃園縣 Taoyuan County	1,928,968
新竹縣 Hsinchu County	494,225
苗栗縣 Miaoli County	559,802
臺中縣 Taichung County	1,548,435
彰化縣 Changhua County	1,313,709
南投縣 Nantou County	533,494
雲林縣 Yunlin County	725,949
嘉義縣 Chiayi County	551,498
臺南縣 Tainan County	1,105,079
高雄縣 Kaohsiung County	1,243,944
屏東縣 Pingtung County	889,806
臺東縣 Taitung County	233,954
花蓮縣 Hualien County	343,610
基隆市 Keelung City	390,188
新竹市 Hsinchu City	397,577
臺中市 Taichung City	1,052,946
嘉義市 Chiayi City	272,804
臺南市 Tainan City	763,489
臺北市 Taipei City	2,625,359

資料來源：內政統計資訊服務網之內政統計月報(至 2007 年 9 月止)

7. 審查委員意見回覆

感謝各位審查委員的意見，我們的回應及改進如下：

一、對於圖表缺少的部份，由於之前是以 word 的格式列印，故可能因頁數太多導致列印時無法將圖表印出，深感抱歉，之後會改以 pdf 格式列印。

二、關於季節性流感的部份，已將報告更新。(已根據此意見修正報告書 p. 55-p. 62)

三、關於跨縣市或本縣市內交通流量，本模擬的參數是採用 2006 年交通部公布的數據，並非 1999 年的資料。

四、對於 seasonal flu 的模擬，我們會向 CDC 戰情中心申請所需詳細資料，徵詢專家關於季節性流感疫苗與各項免疫的發展，以獲得其免疫成效等資訊。並善用 seasonal flu 的資料（包括發病率、就醫率等）來強化模擬和驗證。

五、本研究亦將著手進行腸病毒的研究並探討其與 H5N1 流感、季節性流感模擬之間的關係。

六、本研究會繼續 seasonal flu 部份的驗證。