

疾病傳播與應對政策之模擬分析

The Simulation of COVID-19

第四組 組員：陳昱銓(39%)、謝富伍(34%)、卓彥霖(27%)

<https://github.com/The-Statistical-Thermodynamics-Group/Final-Project>

研究動機

在過去一年，COVID-19 在全球範圍大肆傳播，使全球人們受到了巨大損失以及不便。這段期間，各國政府採取了許多不同的措施如：保持社交距離、戴口罩、隔離檢疫、限制旅行等方法，期望能防止疫情擴大而造成更大的傷害。

因此我們希望能夠藉由程式模擬流行病在各種條件下的傳播情況，並以此為基礎預測及分析各式預防措施對於流行病增長情形的可能效果，希望以此作為與疫情對抗的參考。

數值分析

● 基本設定

SIR 模型：

1. 將人群分為未感染的人 (Susceptible, S)、感染者 (Infectious, I)、已從感染中恢復的人 (Recovered, R)。
2. 每單位時間中，未感染的人處於感染者的傳染半徑 (infection radius, r) 時，便有一定機率 (probability, p) 遭受感染。以此方式來簡單量化現實中人與人之間的各種互動可能造成的傳染，例如如果人們更常洗手、戴口罩代表傳染半徑、感染機率會因此變小。
3. 感染者在一段時間後便會從 Covid-19 中康復，並且不再傳播疾病。

初始參數設定：

- (a) 以顏色區分不同狀態的人，未感染的人(S)為藍色、感染者(I)為紅色、已從感染中恢復的人(R)為灰色、
- (b) 感染半徑 $\text{infection_radius} = 0.5$
- (c) 感染機率 $\text{probability_of_infection} = 0.5$

● 行為模式

1. 隨機行走：
所有人往各方向的機率皆相同 (除非會超出邊界)。
2. 社區間移動：
存在許多的社區 (只會在社區中移動、和社區內的人有接觸)，存在一定機率(旅行率)會有部分人移動至其他社區。
在病例數高於一定值後，將旅行率減少，代表當疫情升溫的時候人們會減少外出、在不同社區間的移動。

初始參數設定：

- (a) 旅行率 $\text{travel_rate} = 0.3$
- (b) 觸發旅行率減少之感染者比例 $\text{trigger_case_rate} = 0.05$

- 識別、隔離和治療

1. 假設我們有良好的篩檢和隔離，一旦病例達到的某個值（表現出症狀），我們便會在他們感染 Covid-19 後的 N 天開始，將感染者送到一個單獨的區域（對應現實中的隔離措施）。
2. 感染者也有可能因為沒有表現出任何症狀並且沒有接受檢測而不會被隔離。
3. 假設存在病毒解藥，我們可以降低感染持續時間。此方法與隔離案例具有相同的效果。
4. 程式中我們設定 0.2 時間單位為真實世界的一天。

初始參數設定：

(a) 感染者未受隔離比例 $\text{percentage_of_no_symptom} = 0.3$

(b) 感染者具感染力時間 $\text{infection_duration} = 4.2(21 \text{ 天})$

- 社交距離

1. 在病例數高於一定值後，我們將社交距離因子作為人與人之間的“排斥力”，當人們與鄰近的人之間的距離太近時，會有一互斥的傾向並以將個體顏色改變表示出來，以此模擬（政策使然或是自主的）社交距離。
2. 當然有些人可能會不遵守社交距離，因此在不同地方履行社交距離的人口比例有所不同。
3. 我們設置一個社交距離因子，以此判斷是否有社交距離以及做為控制社交距離斥力大小的係數，此為一無因次之係數。

初始參數設定：

(a) 社交距離因子 $\text{social_distance_factor} = \sqrt{0.5}$

(b) 人群中遵守社交距離的比例：

$\text{percentage_of_social_distancing} = 0.7$

- 傳播率

考慮一個個體在受到感染後、具有感染力期間將疾病傳染給多少人，計算此數值在群體中的平均數，以此判斷此傳染病現階段的傳播狀況。

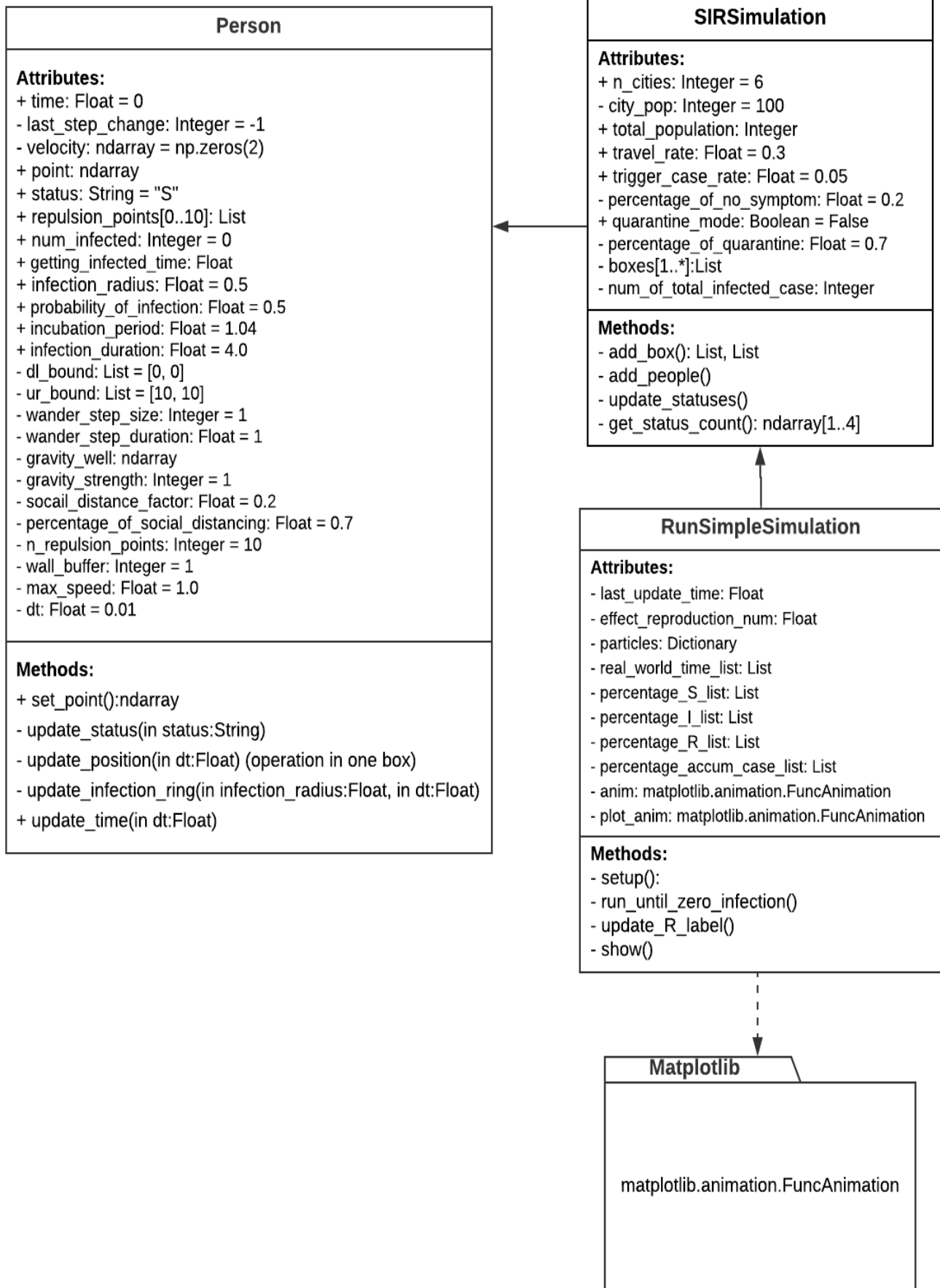
$$R = \frac{\text{感染者人數}}{\text{感染他人的人人數}}$$

$R > 1$ 時，感染人數成指數型增長，表示處於大流行階段。

當 R 穩定在 1 左右時，表示疫情受控制。

如果 $R < 1$ ，則表示疫情趨緩（也有可能代表社會中幾乎所有人皆已染疫）。

程式統一塑模語言 (UML)



程式架構

● Class Person

1. 初始位置設置

- 程式一開始使所有點在各個社區中為隨機分布。
- 分別沿著 x, y 方向設置上下限，形成一個矩形的邊界。將個體的 x, y 座標值以 random 函數分別產生一個沿 x, y 方向、介於上下限之間的隨機數寫入，將此 x, y 座標值以陣列形式寫入自身位置，回傳至自身位置。

2. 更新位置機制

- 藉由個體所受合力的形式，來控制各個體的行動。
- 每經過時間微分量 dt，個體之位移 x 以及速度 v 之微分量分別為：

$$a = \frac{F}{m}$$

$$dv = a \times dt$$

$$dx = dv \times dt$$

其中設 $m = 1$ 、F 為合力、a 為加速度，並且若計算過程中個體速度 speed 大於設定之速度上限 max_speed，則使其乘以 $\frac{\text{max_speed}}{\text{speed}}$ 來令任一個體速度不會無上限的增加。

3. 各分力之作用機制

I. Gravity well 重力井

每經過一段時間(wander_step_duration)更新，隨機指向一個方向之特定位置並受距離平方反比的力。

實際做法

當前時刻距離上一次改變重力井作用力計算時時刻若大於 wander_step_duration，則開始此次重力井作用力計算。產出一角度隨機之單位向量，並令重力井位於由自身方向沿指向此單位向量、距離 wander_step_size 處。重力井位置減去自身位置後計算此長度(即距重力井之距離)。最後計算 $\frac{\text{位置差}}{\text{距離}^3}$ 即為我們希望得到之與距離平方成反比的力，然後加入合力。

II. Wall avoid 邊界作用

為了讓所有個體都能在特定範圍中活動，我們設定邊界以及讓個體受到一個與邊界距離成反比的力來緩衝

實際做法

(a) 防止超出邊界

由於各點以一個含二數的數列 [x y] 為其座標表示，因此分別取此數列之第一項與第二項(python 中為第零項與第一項)，即在 x 與 y 方向的位置。

若此位置減去邊界最小值為負數，表示個體位置已超出下邊界，則將其速度設為當前速度之絕對值(正值)，使其在此方向上向範圍內反彈。若邊界最大值減去此位置為負數，表示個體位置已超出上邊界，則將其速度設為當前速度之負絕對值(負值)，使其在此方向上向範圍內反彈。

(b) 邊界緩衝力

給予個體一個與邊界距離倒數成比例的力後加入合力。

III. 社交距離排斥力

將社交距離排斥力設置為一個零向量，對於其他處在保持距離範圍內的個體，當社交距離係數不為零時，該個體位置減去自身位置後計算此長度，若此距離較最短距離小，則更新此為最短距離(初始為無限大)，然後總社交距離排斥力增加一個由該點指向自身、大小為 $\frac{\text{社交距離係數}}{\text{距離}^2}$ 的斥力(作用於自身時遠離該點)，最後將總社交距離排斥力加入合力。

4. 感染半徑

若為感染者(或是前一瞬間 dt 受感染而成為感染者)，則感染半徑的有無、大小會因自身感染狀況的改變或因應疫情情況變動而在此更新。

● Class SIR_Simulation

1. 建立社區列表

建立一個空列表作為社區列表，將第 n 個社區依次加入社區列表直到 n 為設定的總社區數量，將此列表寫入社區列表，回傳至社區列表。

2. 在社區中加入個體

在第 n 個社區中，將第 i 個個體依次加入社區直到 i 為設定的社區人口數，加入的個體屬於 Person 類別。將個體加入城市中個體列表。

3. 感染源

在社區中隨機選取一個個體，將其作為第一位感染者，其感染狀態設為 I。

4. 個體感染狀態更新

將未感染的人與感染者各自作一個空列表，一一檢視第 n 個社區中的第 i 個個體，狀態為 S 的加入未感染的人列表，狀態為 I 的加入感染者列表，以 `np.linalg` 得出 S 點與其他 I 點距離，若此距離小於感染半徑且由 `random` 函數生成的 0~1 間的隨機數小於感染機率，則將該狀態為 I 的個體感染他人人數+1，並且將該此狀態為 S 的個體狀態更新為 I 且記錄此時時間為此個體感染開始時間，代表未感染的人在與感染者接觸後受感染。狀態為 I 的個體若時間減去感染開始時間大於感染期，則將其狀態改為 R，代表感染者已復原。

5. 旅行率

會有部分人移動到不同的社區。

對於社區中的個體，用 `random` 函數生成的 0~1 間的隨機數若是小於旅行率，則隨機選擇一個社區定為目的地，將旅行者加入所選擇社區的隨機位置，並消去原社區列表中的旅行者。

6. 社交距離排斥力

考慮現實中人與人之間的距離，一個人實際能注意並保持刻意保持距離的人數有限——假設為十人，因此我們在計算因社交距離而造成的互斥力時，便只會計算與自身距離最近的十人。

將單一社區中的各個體位置(x,y)列表，把這些位置訂為斥力中心，若是此時社交距離係數大於零，則以其他點位置減自身斥力中心位置，用 `np.linalg` 得出與其他各點距離，將此結果以 `np.argsort` 由值最小的開始排列，取十個來計算其他人對自身造成的社交距離斥力。

7. 隔離機制

若是現在時刻減去個體受到感染時刻大於潛伏期，以用 `random` 函數生成的 0~1 間的隨機數若是小於隔離機率，則將此個體加入隔離區。

對於在隔離區中的個體，如果現在時刻減去個體受到感染時刻大於感染期，則將其狀態更新為 R。

8. 感染狀態人數紀錄

建立一個三個元素的零陣列，第一個元素代表 S 狀態人數、第二個元素代表 I 狀態人數、第三個元素代表 R 狀態人數。依次檢視城市中各個體的狀態，若一個個體狀態為 S，則將第一個元素(S 狀態人數)數值加一，以此類推。最後此陣列為各感染狀態總人數的陣列，將此陣列回傳至個體感染狀態人數紀錄陣列。

● `class RunSimpleSimulation`

傳播率 R

更新週期 `update_period = 1`

開始更新傳播率時，若是「現在時刻」減去「前次更新時刻」大於「更新周期」(第一次更新時「前次更新時刻」為零)，代表已進入新的計算週期，則開始進行新一輪計算，並將「前次更新時刻」更新為此刻時間。

對於社區中狀態為感染者 I 的個體，先計算此刻感染時間佔感染者具感染力時間的比例，將此感染者已感染過的人數除此比例，可視為此感染者在具有感染力期間能夠傳染給多少人的 R_0 值。由於若我們等一個感染者痊癒後才計算此值，會嚴重缺乏疫情傳播情形的即時性；若是僅考慮感染者人數，則會與所選取時段的長短呈指數相關。因此用此算法計算 R_0 值以符合實際情形。將所有有感染他人的個體的 R_0 值做平均，得到目前的傳播率 R。

模擬結果

以下為模擬之固定參數：

感染半徑	0.5	0.5m
潛伏期	1.04	5.2 天
感染期	4.2	21 天
無症狀感染者比例	0.3	

1. 未管控狀態

感染機率	0.5	
旅行率	0.3	
社交距離因子	$\sqrt{0.5}$	0.5m
遵守社交距離比例	0.7	
Trigger_case_rate(註一)	0.05	
隔離模式	無隔離	
隔離比例	0	

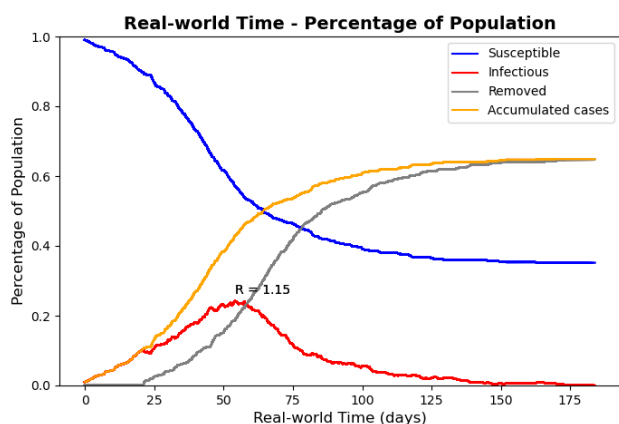


圖 1 無管控措施時，感染人數比例對時間關係圖之一

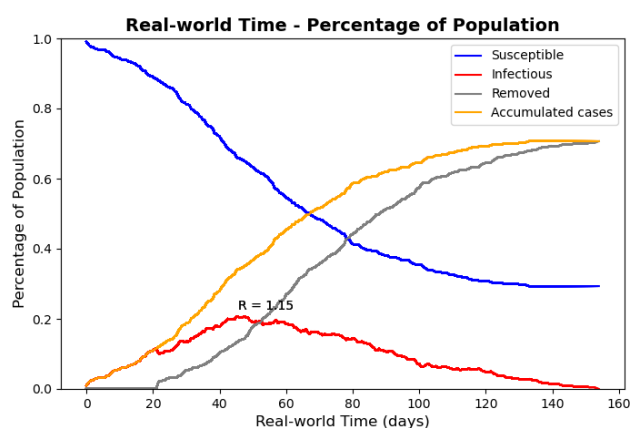


圖 2 無管控措施時，感染人數比例對時間關係圖之二

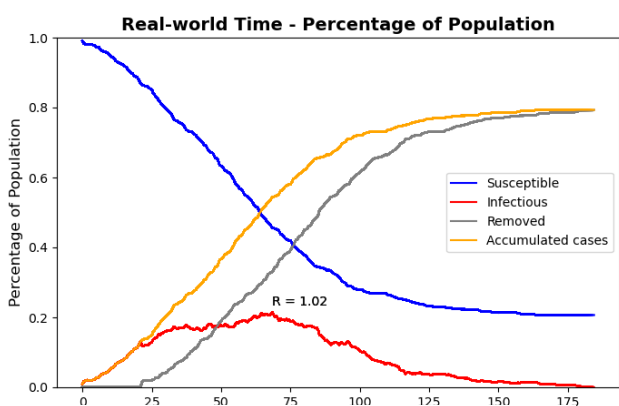


圖 3 無管控措施時，感染人數比例對時間關係圖之三

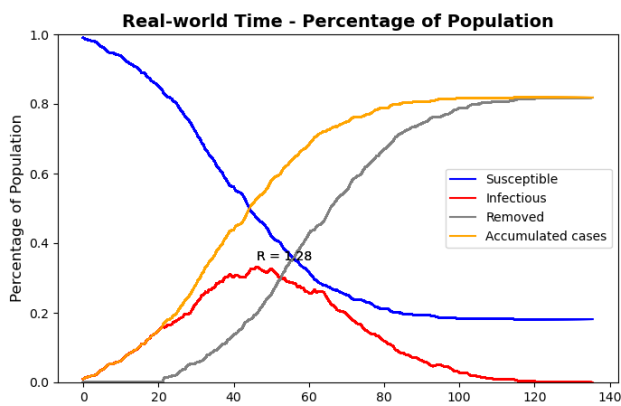


圖 4 無管控措施時，感染人數比例對時間關係圖之四

註一 Trigger_case_rate 為觸發社交距離所需感染人數比例

2. 民眾有戴口罩情況

感染機率	0.1
旅行率	0.3
社交距離因子	$\sqrt{0.5}$
遵守社交距離比例	0.7
Trigger_case_rate	0.05
隔離模式	無隔離
隔離比例	0

0.5m

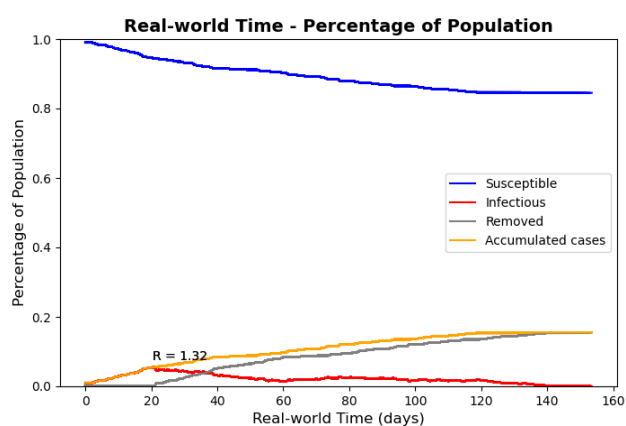


圖 5 民眾有戴口罩情況下，感染人數比例對時間關係圖之一

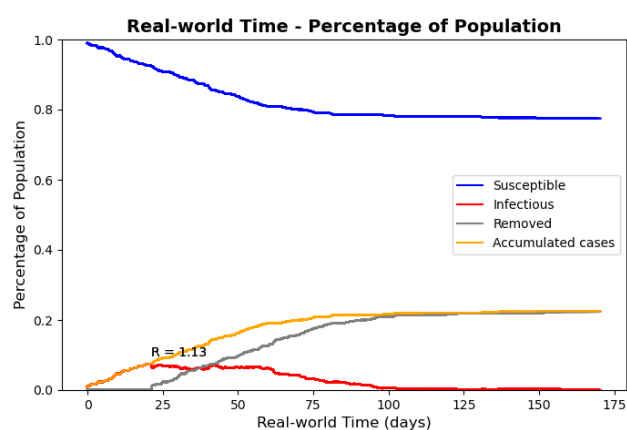


圖 6 民眾有戴口罩情況下，感染人數比例對時間關係圖之二

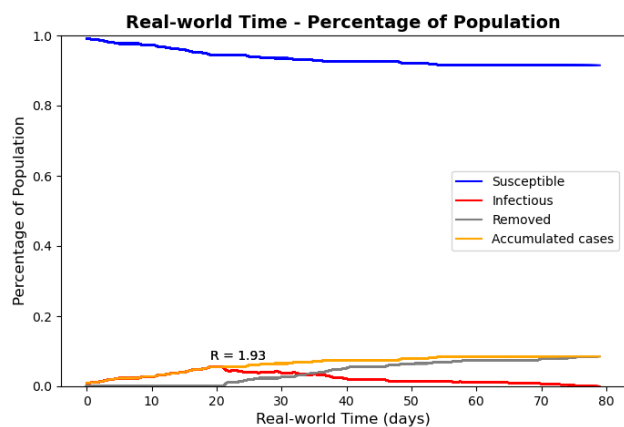


圖 7 民眾有戴口罩情況下，感染人數比例對時間關係圖之三

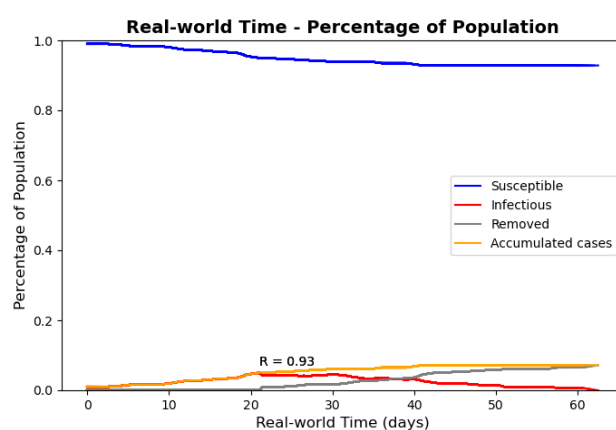


圖 8 民眾有戴口罩情況下，感染人數比例對時間關係圖之四

3. 彼此保持 1 公尺社交距離

感染機率	0.5	
旅行率	0.3	
社交距離因子	1	1m
遵守社交距離比例	0.7	
Trigger_case_rate	0.05	
隔離模式	無隔離	
隔離比例	0	

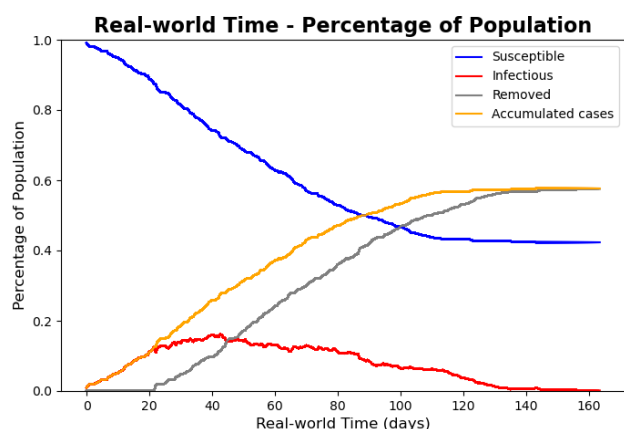


圖 9 彼此保持 1 公尺社交距離時，
感染人數比例對時間關係圖之一

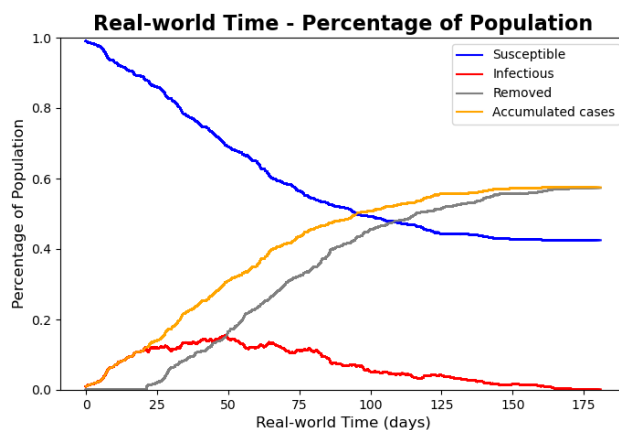


圖 10 彼此保持 1 公尺社交距離時，
感染人數比例對時間關係圖之二

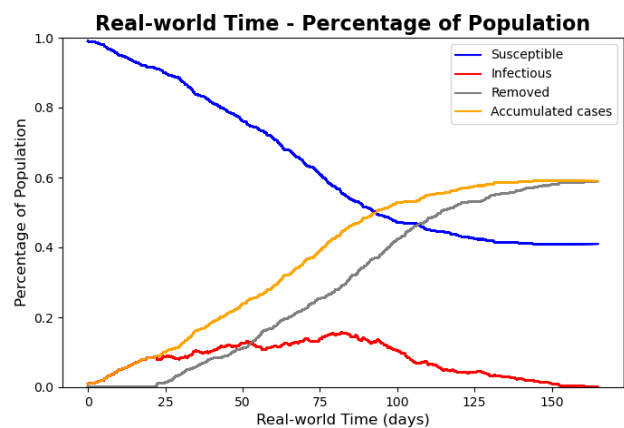


圖 11 彼此保持 1 公尺社交距離時，
感染人數比例對時間關係圖之三

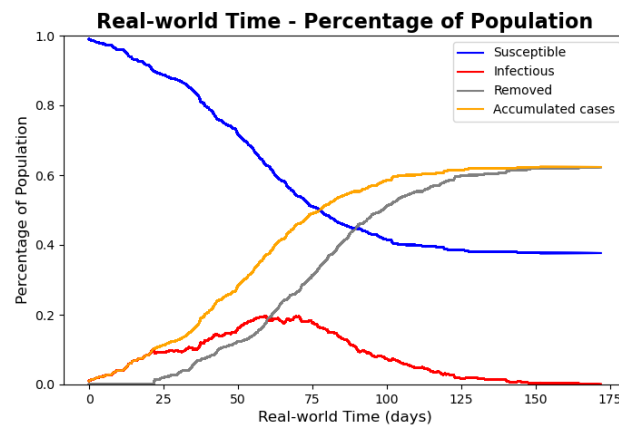


圖 12 彼此保持 1 公尺社交距離時，
感染人數比例對時間關係圖之四

4. 彼此保持 1.5 公尺社交距離		
感染機率	0.5	
旅行率	0.3	
社交距離因子	$\sqrt{15}$	1.5m
遵守社交距離比例	0.7	
Trigger_case_rate	0.05	
隔離模式	無隔離	
隔離比例	0	

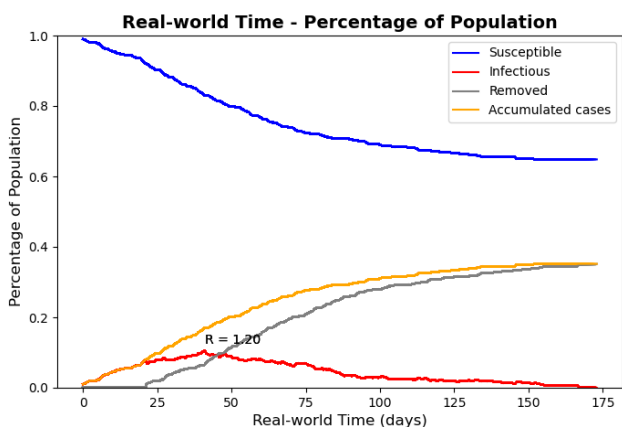


圖 13 彼此保持 1.5 公尺社交距離時，感染人數比例對時間關係圖之一

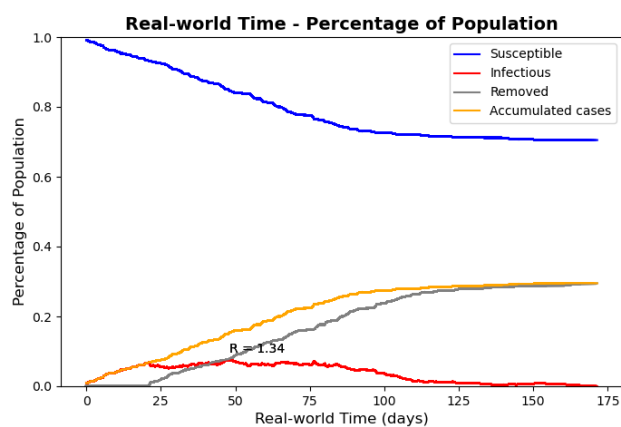


圖 14 彼此保持 1.5 公尺社交距離時，感染人數比例對時間關係圖之二

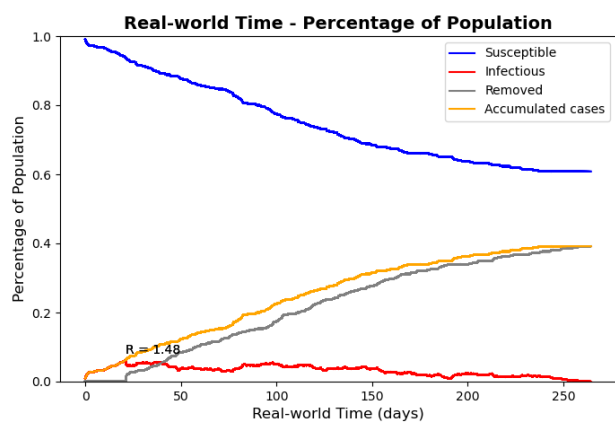


圖 15 彼此保持 1.5 公尺社交距離時，感染人數比例對時間關係圖之三

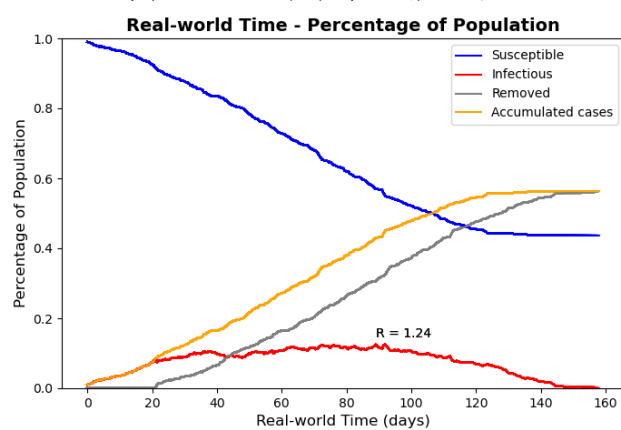


圖 16 彼此保持 1.5 公尺社交距離時，感染人數比例對時間關係圖之四

5. 民眾遵守 1 公尺社交距離的比例

感染機率	0.5
旅行率	0.3
社交距離因子	1
遵守社交距離比例	0.9
Trigger_case_rate	0.05
隔離模式	無隔離
隔離比例	0

1m

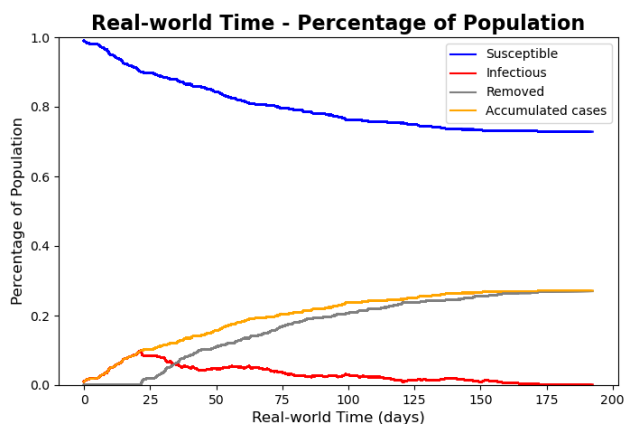


圖 17 民眾遵守 1 公尺社交距離的比例為 90%時，感染人數比例對時間關係圖之一

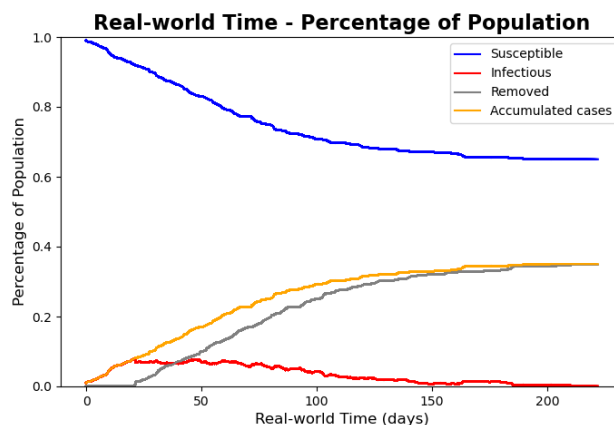


圖 18 民眾遵守 1 公尺社交距離的比例為 90%時，感染人數比例對時間關係圖之二

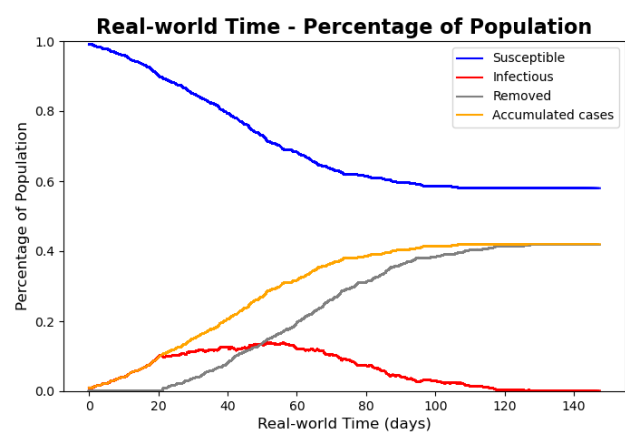


圖 19 民眾遵守 1 公尺社交距離的比例為 90%時，感染人數比例對時間關係圖之三

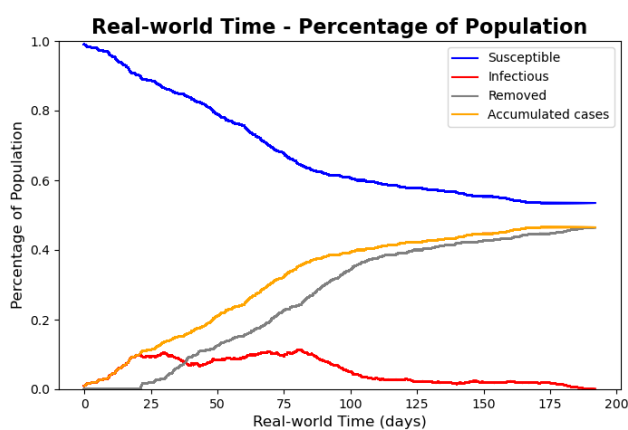
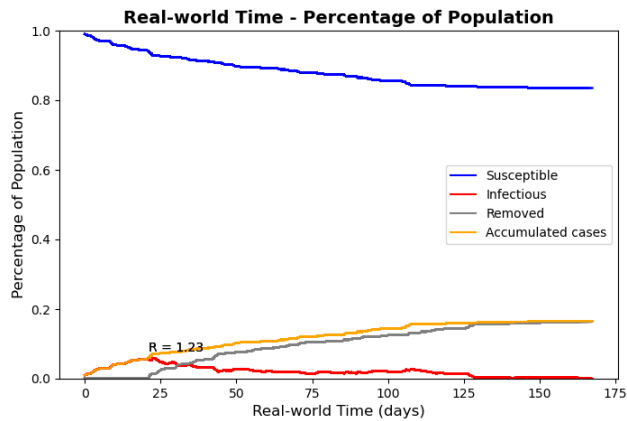


圖 20 民眾遵守 1 公尺社交距離的比例為 90%時，感染人數比例對時間關係圖之四

6. 民眾遵守 1.5 公尺社交距離的比例

感染機率	0.5
旅行率	0.3
社交距離因子	$\sqrt{15}$
遵守社交距離比例	0.9
Trigger_case_rate	0.05
隔離模式	無隔離
隔離比例	0

1.5m



1. 圖 2 民眾遵守 1.5 公尺社交距離的比例為 90%時，感染人數比例對時間關係圖之一

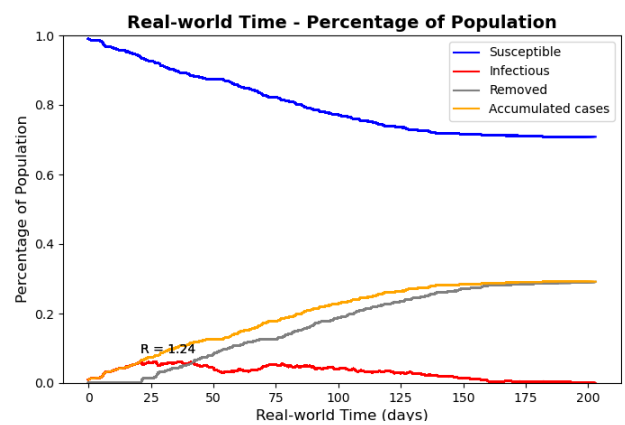


圖 22 民眾遵守 1.5 公尺社交距離的比例為 90%時，感染人數比例對時間關係圖之二

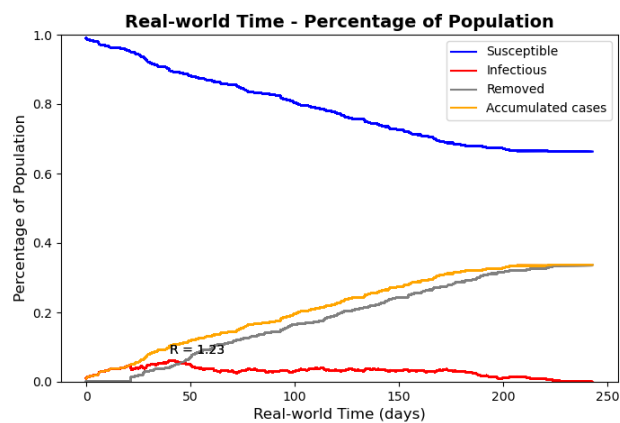


圖 23 民眾遵守 1.5 公尺社交距離的比例為 90%時，感染人數比例對時間關係圖之三

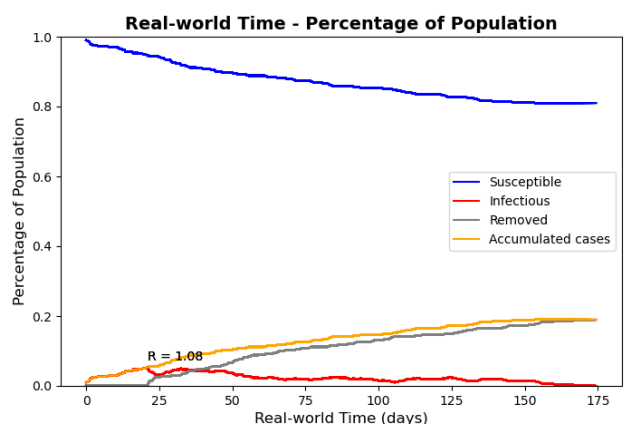


圖 24 民眾遵守 1.5 公尺社交距離的比例為 90%時，感染人數比例對時間關係圖之四

7. 旅行率較高的城市

感染機率	0.5
旅行率	0.3
社交距離因子	$\sqrt{0.5}$
遵守社交距離比例	0.7
Trigger_case_rate(註一)	0.05
隔離模式	無隔離
隔離比例	0

0.5m

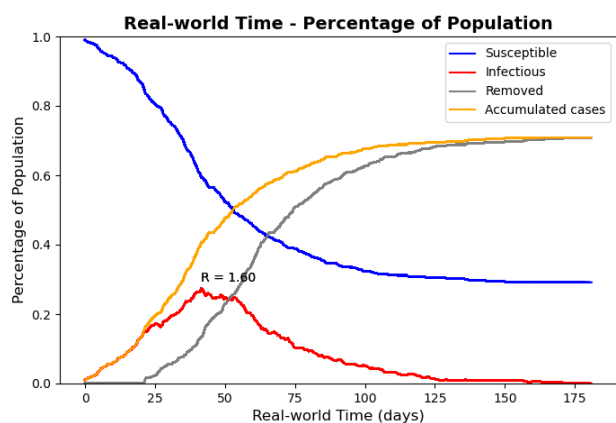


圖 25 旅行率較高的城市中，感染人數比例對時間關係圖之一

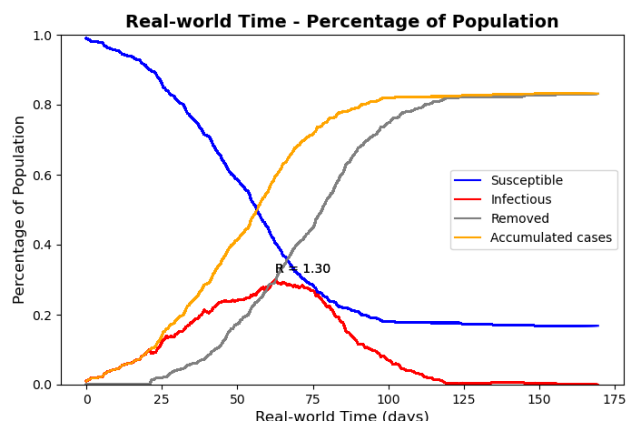


圖 26 旅行率較高的城市中，感染人數比例對時間關係圖之二

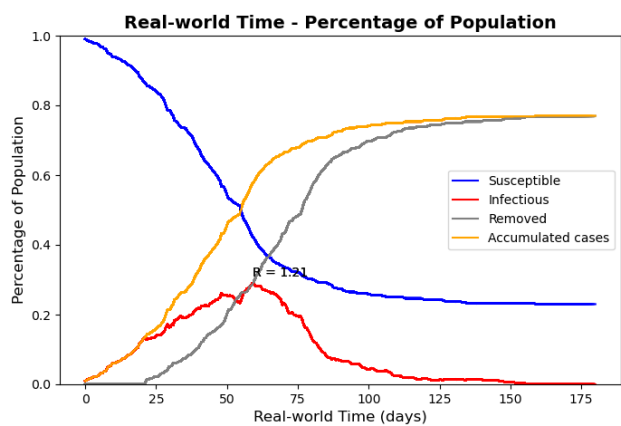


圖 27 旅行率較高的城市中，感染人數比例對時間關係圖之三

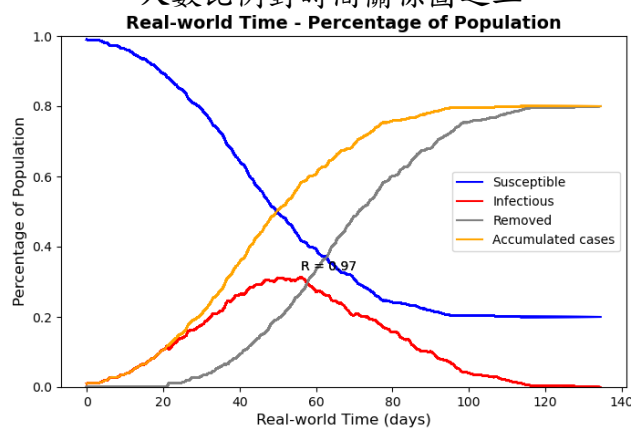


圖 28 旅行率較高的城市中，感染人數比例對時間關係圖之四

8. 封城

感染機率	0.5
旅行率	0.3
社交距離因子	$\sqrt{0.5}$
遵守社交距離比例	0.7
Trigger_case_rate(註一)	0.05
隔離模式	無隔離
隔離比例	0

0.5m

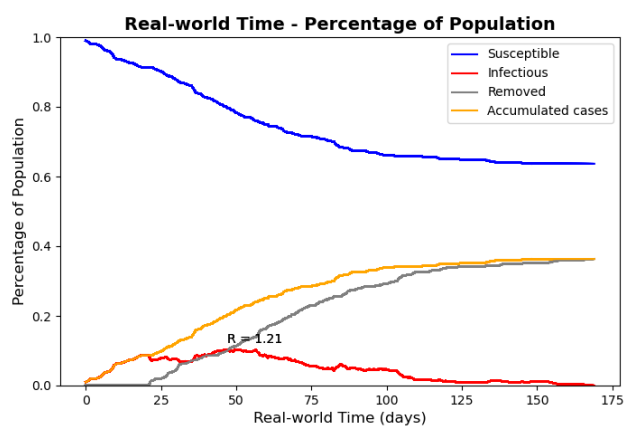


圖 29 封城時，感染人數比例隨對時間關係圖之一

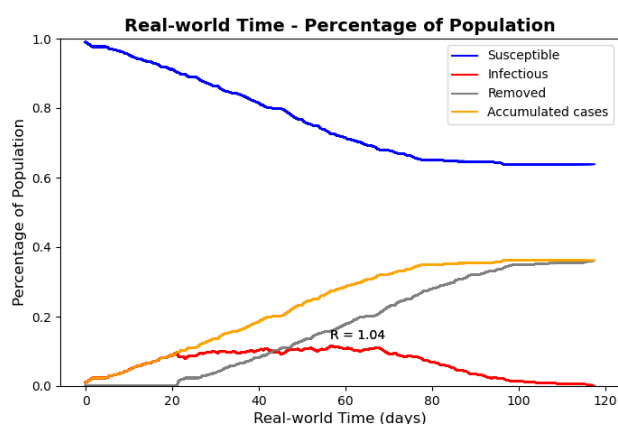


圖 30 封城時，感染人數比例對時間關係圖之二

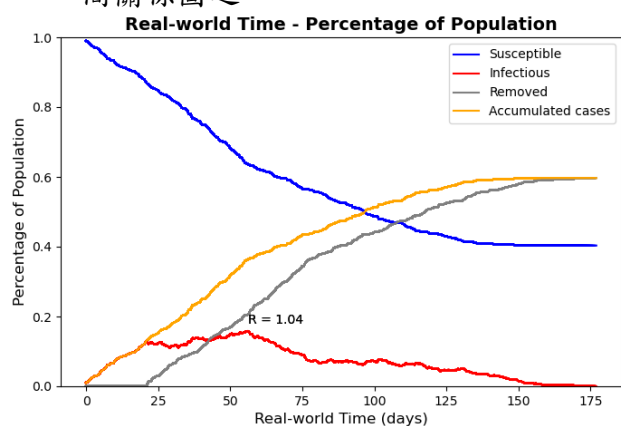


圖 31 封城時，感染人數比例對時間關係圖之三

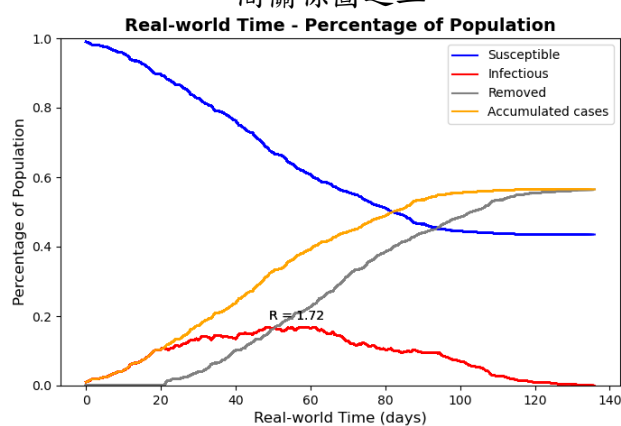


圖 32 封城時，感染人數比例對時間關係圖之四

9. 實施隔離

感染機率	0.5
旅行率	0.3
社交距離因子	$\sqrt{0.5}$
遵守社交距離比例	0.7
Trigger_case_rate(註一)	0.05
隔離模式	無隔離
隔離比例	0

0.5m

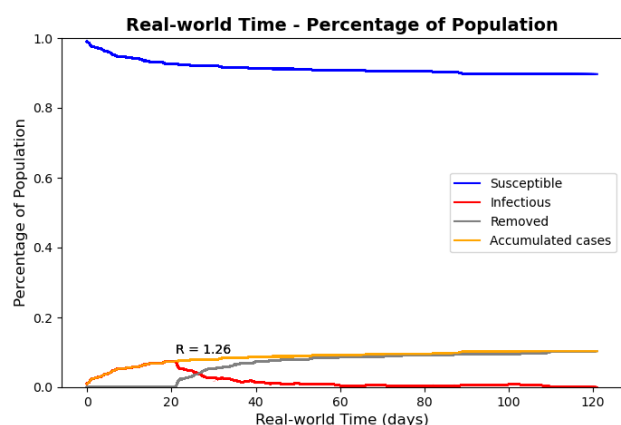


圖 33 實行隔離時，感染人數比例對時間關係圖之一

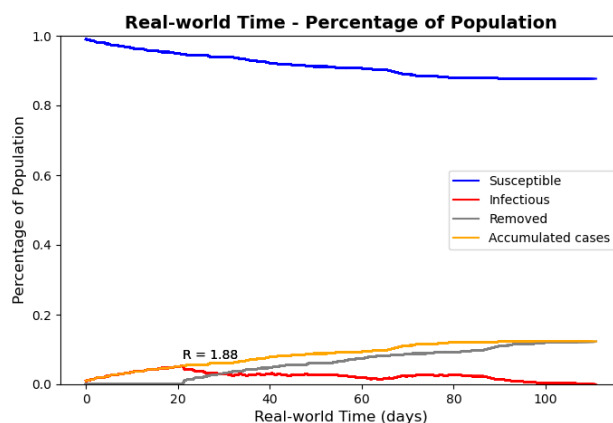


圖 34 實行隔離時，感染人數比例對時間關係圖之二

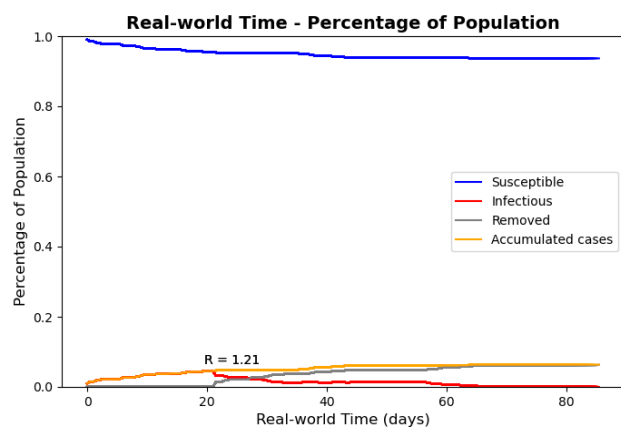


圖 35 實行隔離時，感染人數比例對時間關係圖之三

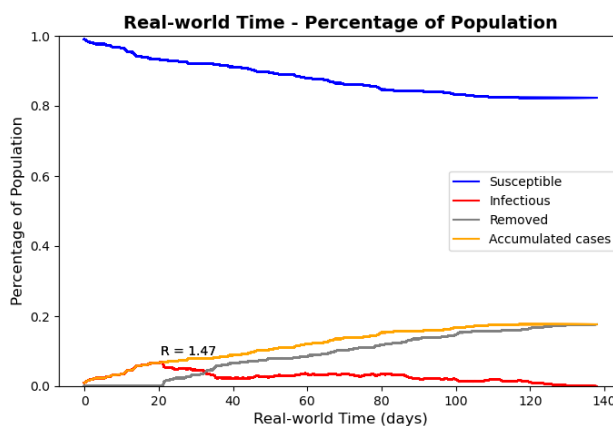


圖 36 實行隔離時，感染人數比例對時間關係圖之四

10. 最佳措施

感染機率	0.1	
旅行率	0.15	
社交距離因子	$\sqrt{1.5}$	1.5m
遵守社交距離比例	0.85	
Trigger_case_rate(註一)	0.02	
隔離模式	實施隔離	
隔離比例	0.7	

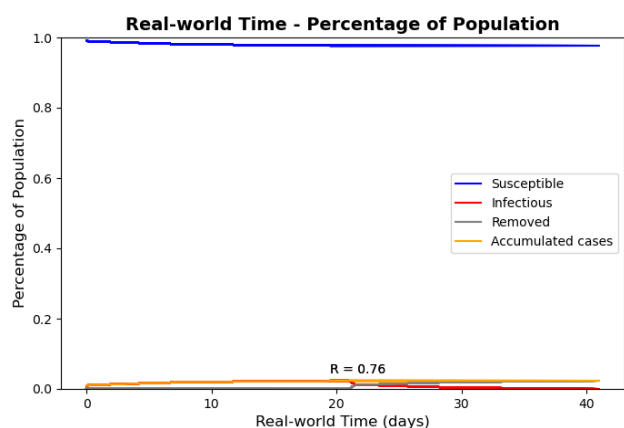


圖 37 理想措施感染人數比例對時間關係圖之一

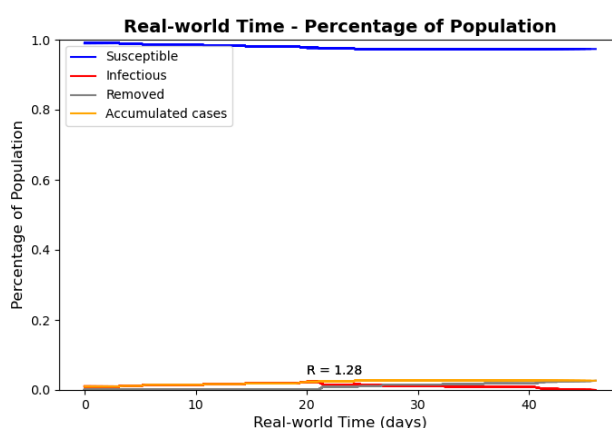


圖 38 理想措施感染人數比例對時間關係圖之二

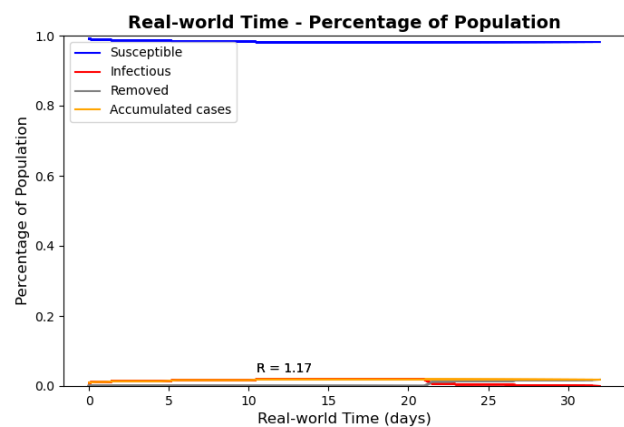


圖 39 理想措施感染人數比例對時間關係圖之三

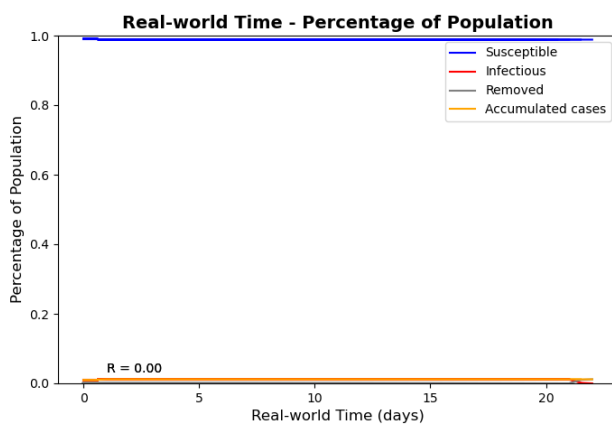


圖 40 理想措施感染人數比例對時間關係圖之四

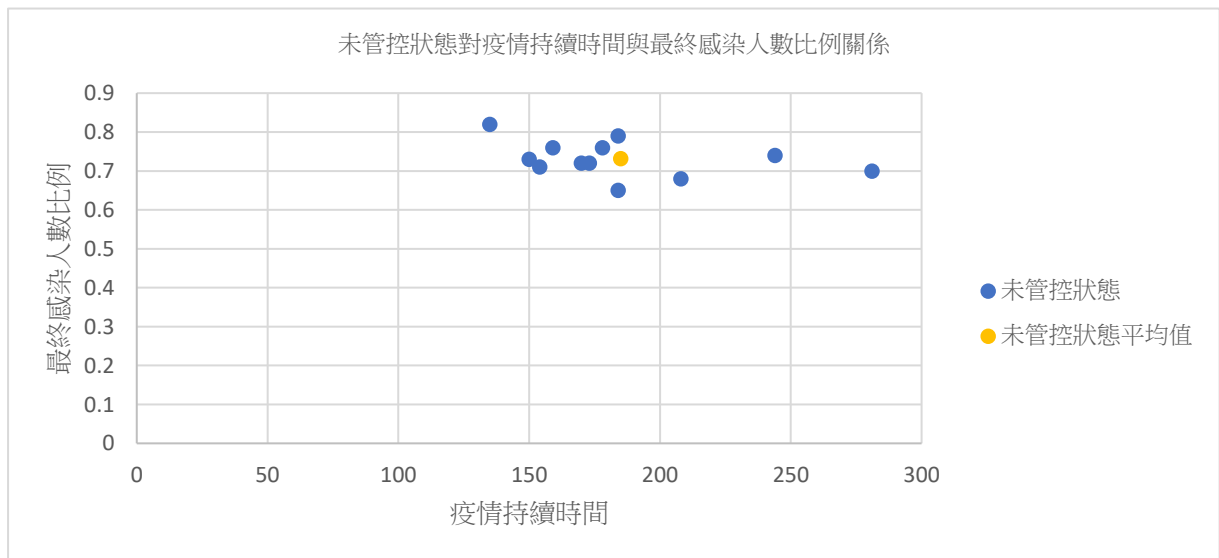
結果與討論

我們先藉由調整各個參數，觀察感染人數的比例以及傳播率 R 的數值，與現實世界的情況做參照，建構出一個在未對疫情採取任何應對措施時的基本模型，以下稱為「未管控狀態」，接著調整各種參數，觀察不同的防護措施(對應的參數變化)對於疫情傳播情況的影響。

設定為當病例數達到 5% 時會啟動社交距離排斥力，雖然現實中 5% 為相當高的比例，但由於模擬人數較少，若以現實比例考慮的話——以台灣為例，五月中疫情較明顯爆發時，累計病例數約為 2000 多人，佔總人口約 0.01%，若帶入程式中想令累積病例 10 人時啟動社交距離，若設定人數過低而使程式一開始感染源數量已經大於此數值的話，此因素會失去做為啟動社交距離開關的意義，則總人口至少需要大約 10 萬人，對於程式模擬負擔太大了，因此仍以病例數為 5% 總人口數做為模擬中啟動社交距離的開關。

1. 未管控狀態

未管控狀態下，多次模擬後，「最終感染人數比例」的平均為 73.2%，標準差為 0.0466，「疫情持續時間」的平均為 185 天、標準差 41.57。由「累積感染人數比例」與「感染者人數比例」對時間的關係圖(如圖 1 至圖 4)可以看出通常情況下，「感染人數比例」在前期達到約 15~20% 左右以前，增加速度會隨時間而變快，此時「累積感染者比例」的增加幅度也會隨之快速增加；在進入中期後，「感染人數比例」增加速度會逐漸趨緩、慢慢達到高峰，這段期間「累積感染者比例」會穩定、成比例的增長，此時新增感染人數會大致與復原人數相同，直到感染人數比例在到達約 40~60% 時會逐漸地趨緩；最後進入後期時，「感染者人數比例」會漸漸減少至無人感染，而「累積感染人數比例」的增長速度則會逐漸趨緩而最終成為「最終感染人數比例」，在沒有防護措施的情況下，「感染者人數比例」一般會在 30~40 天左右進入中期，並在 40~80 天左右達到疫情高峰。期間最高「感染人數比例」約為 15%~30% 左右。



2. 戴口罩

戴口罩可以阻絕大部分飛沫傳染的可能，因此在程式上以減少感染機率來表示現實中戴口罩的影響。

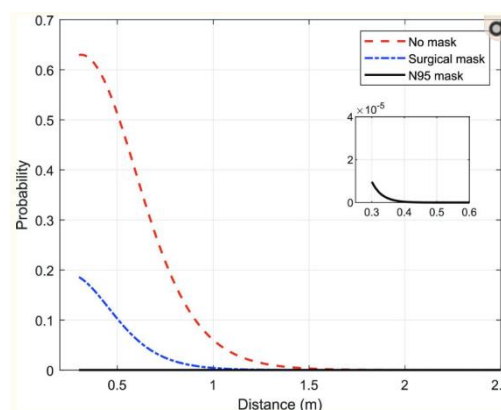
據研究，戴口罩與否和受感染的機率關係約如右圖，我們取正常社交時距離 0.5 公尺的情況來看，此時戴口罩的感染機率與未戴口罩的感染機率分別為 0.1 與 0.5。

模擬結果可以發現當「感染機率」由原先的 0.5 改為 0.1 時，「平均最終感染人數比例」由「未管控狀態」時平均 73.2%、標準差 0.047，降至「有戴口罩」情況時的 12.3%、標準差 0.052，約能夠降低 50%~70% 的總感染人數。

狀況改為「有戴口罩」後，疫情持續時間由未管控情況時平均 185 天、標準差 41.57，增加至「有戴口罩」情況的 123 天、標準差 56.17。

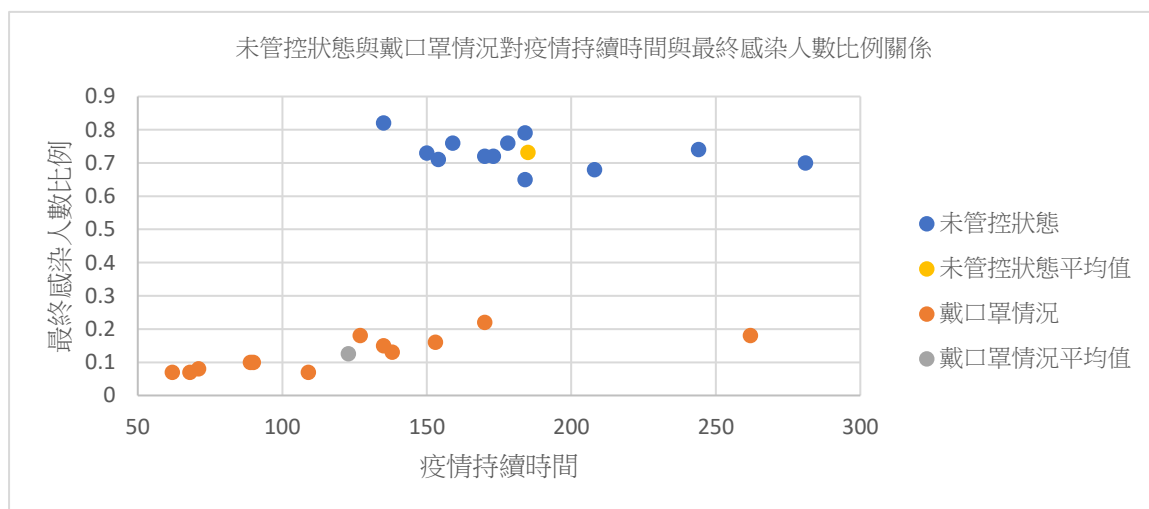
在「有戴口罩」的情況下，疫情幾乎沒有在「未管控狀態」時的「感染人數比例」增加速度快速成長的前期，而幾乎都是以「未管控狀態」時中後期的表現，緩慢增長至高峰再逐漸地減少至零，因此「累積感染人數比例」的成長在經過中期到達高峰後便幾乎沒有增加，而是維持穩定直到疫情結束。

期間最高「感染人數比例」不超過 8%，能夠對於控制疫情的有明顯的抑制作用，並且能縮短疫情持續時間。



配戴口罩與否的感染機率對距離關係圖

來源: National Institute of Health



3. 社交距離

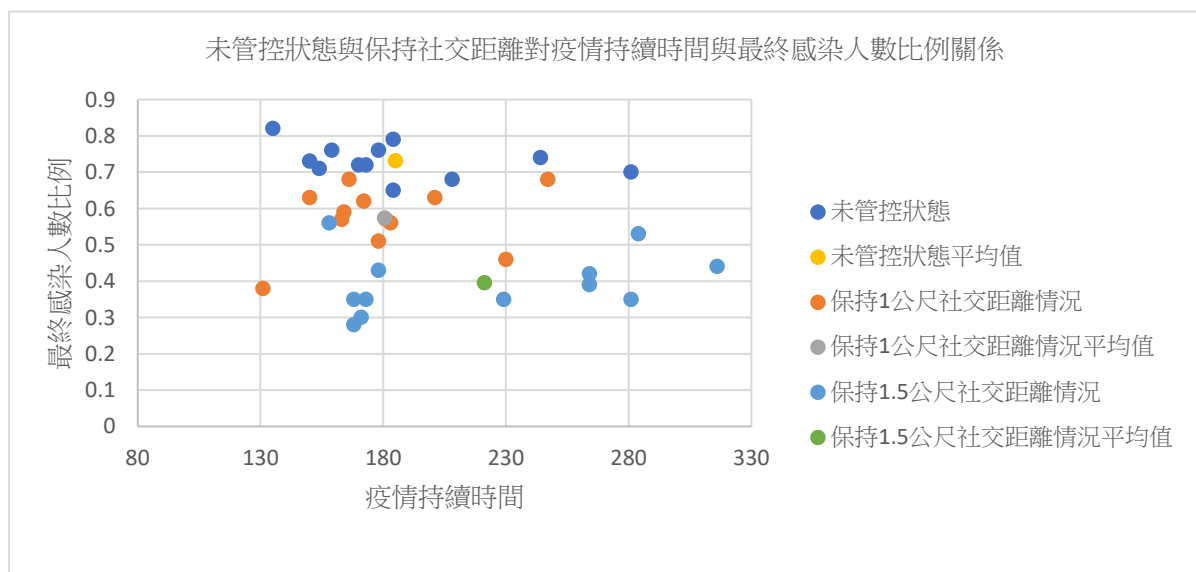
程式中主要影響個體行動的因素除去邊界影響外，為社交距離排斥力與重力井作用力，因此一個個體與另一個體若靠近，則連心線上的重力井作用力要大過對於彼此的排斥力，換言之，當重力井作用力指向對方時若與社交距離排斥力相等，則此時距離為彼此自然接近的極限，除非過於個體密集或是邊界影響，此距離為與其他個體的距離上限，因此我們將此距離視為社交距離，表示當個體在與其他個體在相距此距離時基本上便不會再往對方靠近了。由於重力井作用力在連心線上的最大值為定值，社交距離排斥力會在社交距離時與其相等為 $\frac{\text{社交距離因子}}{\text{社交距離}^2} = \text{定值}$ ，因此社交距離正比於 $\sqrt{\text{社交距離因子}}$ ，用社交距離因子對應現實中的社交距離。

模擬結果可以發現當社交距離由原先的 0.5 公尺改為 1 公尺時，平均最終感染人數比例由 73.2%、標準差 0.047，降至 57.3%、標準差 0.088，約能夠降低 10%~30% 的總感染人數。

平均疫情持續時間則由 185 天、標準差 41.57%，變為 181 天、標準差 32.40，兩者於誤差範圍內。期間最高「感染人數比例」約為 10%~20% 左右。

當社交距離由原先的 0.5 公尺改為 1.5 公尺時，平均最終感染人數比例由 73.2%、標準差 0.047，降至 39.6%、標準差 0.085，約能夠降低 20%~50% 的總感染人數。平均疫情持續時間則由 185 天、標準差 41.57%，變為 221 天、標準差 57.68。期間最高「感染人數比例」約為 7%~12% 左右。

由平均最終感染人數比例來看，當社交距離由一般狀況 0.5 公尺增加為 1 公尺時，能夠減少 15.9% 的總感染人數；增加為 1.5 公尺時，則能夠減少 33.6% 的總感染人數，社交距離對於疫情的控制能夠有明顯的成效。但相對於戴口罩抑制疫情成效而言較差，與考量到現實中許多場合 1 公尺的社交距離便已執行不易了，因此宣導 1.5 公尺的社交距離實際應可行，但不是作為主要政策，而是與作為輔助的應對政策。

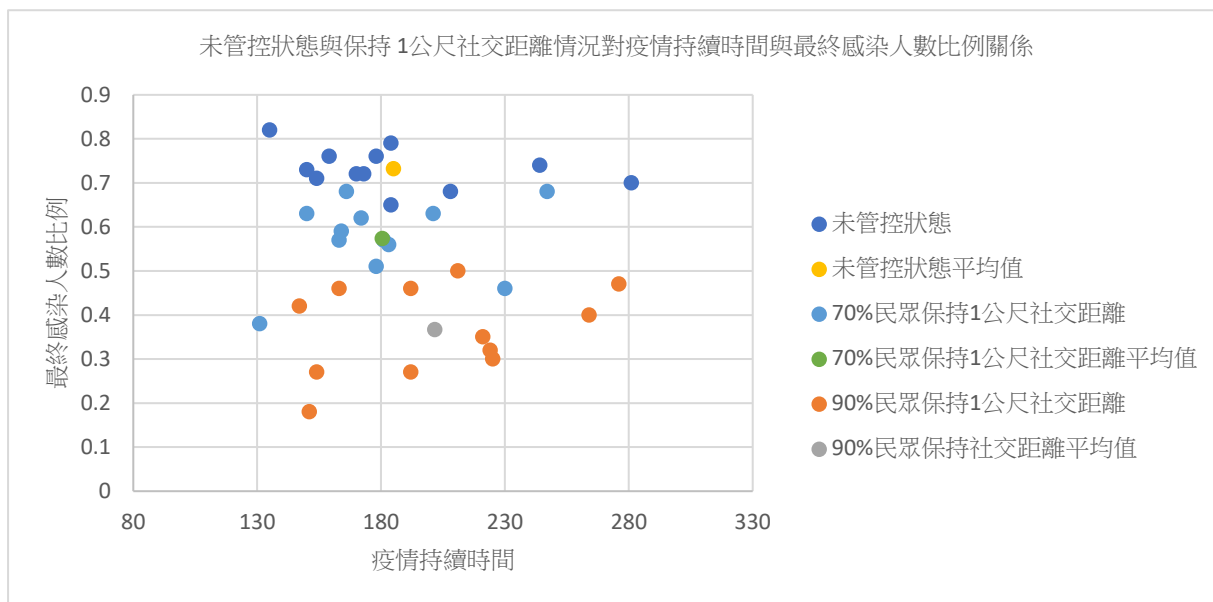


4. 遵守社交距離比例

我們設現實中會遵守社交距離比例為 0.7，若有較為嚴格的實施措施如加重罰款或加強管制，則可能提高至 0.9。

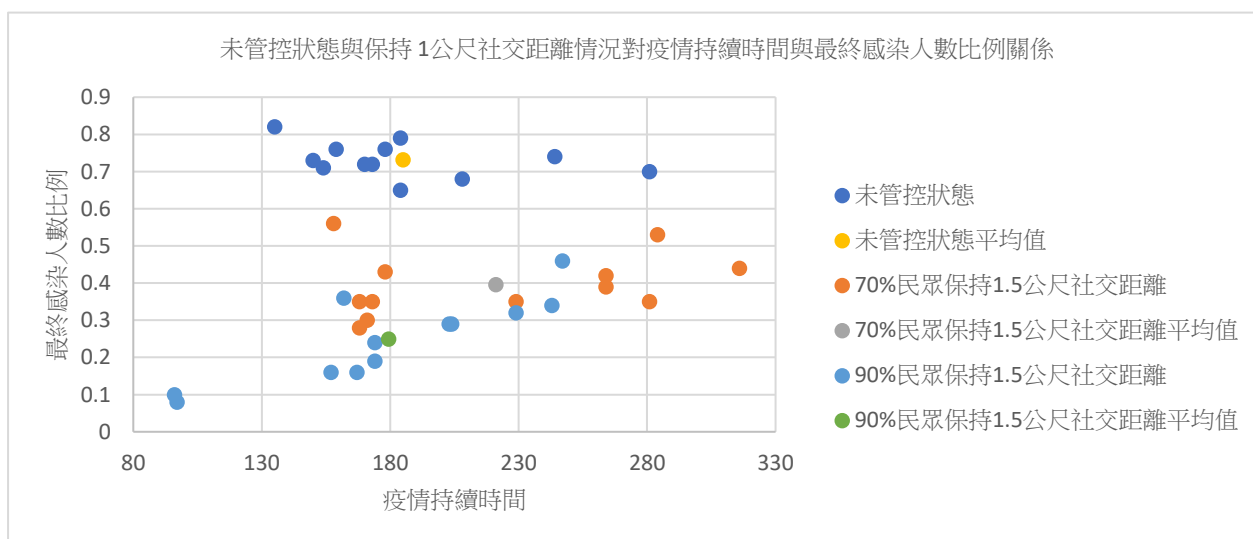
模擬結果顯示當遵守 1 公尺社交距離比例由原先的 0.7 改 0.9 時，平均最終感染人數比例由原本比例為 0.7 時平均 57.3%、標準差 0.088，降至比例為 0.9 時的 36%、標準差 0.10，約能夠再降低 21% 的總感染人數。

遵守 1 公尺社交距離比例改為 0.9 後，疫情持續時間由比例為 0.7 時平均 180 天、標準差 32.40，增加至比例為 0.9 時的 201 天、標準差 43.09。



當遵守 1.5 公尺社交距離比例由原先的 0.7 改 0.9 時，平均最終感染人數比例由原本比例為 0.7 時平均 39.6%、標準差 0.088，降至比例為 0.9 時的 24.9%、標準差 0.11，約能夠再降低 21% 的總感染人數。

遵守 1.5 公尺社交距離比例改為 0.9 後，疫情持續時間由比例為 0.7 時平均 21 天、標準差 57.68，增加至比例為 0.9 時的 179 天、標準差 49.54。



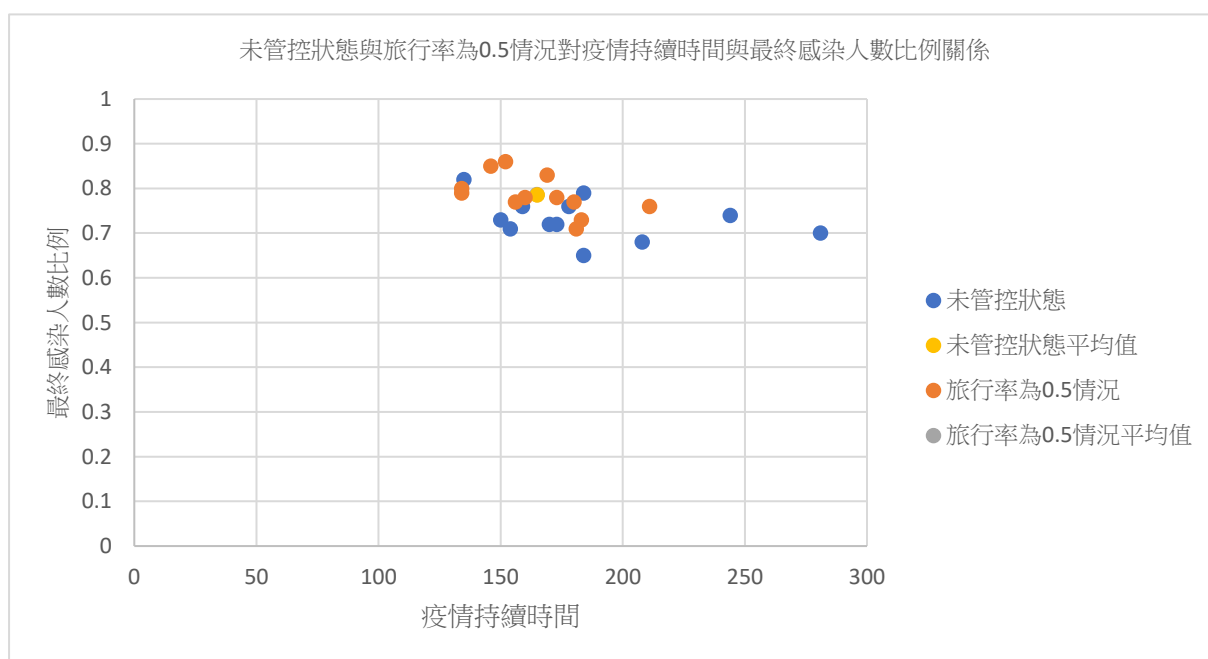
由平均最終感染人數比例來看，當遵守社交 1 公尺社交距離的比例由 70%增加至 90%後，能夠減少 21%的總感染人數；而遵守社交 1.5 公尺社交距離的比例由 70%增加至 90%後，能夠減少 14.7%的總感染人數。

由此可發現遵守社交距離比例的比例對於控制疫情也十分重要，如：90%民眾遵守 1 公尺社交距離的效果就大約與 70%民眾遵守 1 公尺社交距離的相同甚至能減少更多感染人數。因此實際上，民眾對於社交距離的意識、政府對於社交距離的宣導與執行也都與社交距離的實際長度同樣重要

5. 旅行率

以流動人口數 30%作為分界，在人口流動率較高的都市旅行率會較為高，模擬中以台北 2010 跨區通勤人口率 51%做參考，設定旅行率為 0.5，而其他地區則設為 0.3。我們以通勤人口率作為「旅行率」，考慮一般通勤是以上班上學為目的，過程中不易顧及保持社交距離，因此社交距離不變。

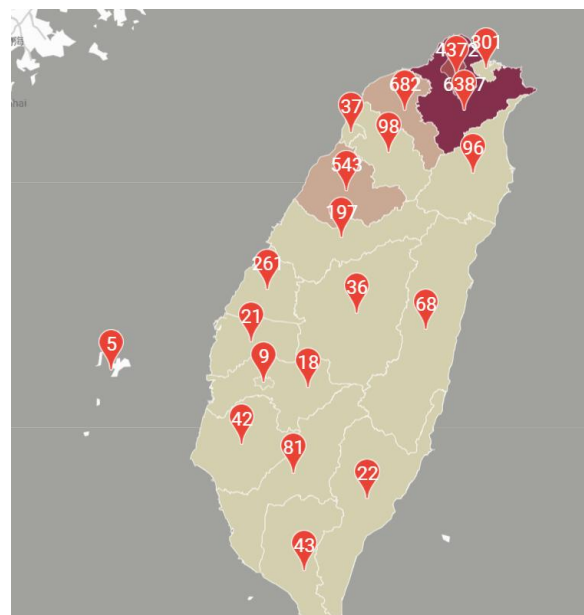
模擬結果顯示當「旅行率」由原先的 0.3 改為 0.5 時，平均「最終感染人數比例」由「未管控狀態」時平均 73.12%、標準差 0.047，變為比例為 0.5 時的 78.6%、標準差 0.045，兩者在誤差範圍之內，因此認為在「未管控」狀態下改變旅行率對於「最終總感染人數比例」並不會有顯著影響。



旅行率比例改為 0.5 後，疫情持續時間由比例為 0.3 時平均 136 天、標準差 22.877，增加至比例為 0.5 時的 122 天、標準差 13.822。兩者在誤差範圍之內，因此認為無管控狀態下改變旅行率對於疫情相差不會有顯著影響。也就是對應現實中城市的人口流通率與疫情嚴重程度關聯較小。

若由「感染人數比例與時間關係」來觀察，「旅行率」由原先的 0.3 改為 0.5 時，和原本為 0.3 時的表現並無肉眼可見的明顯區別。

對比台灣的現況，人口流動率較大的六都以及新竹(因為有竹科所以通勤率較高)，除疫情最為嚴重的雙北及桃園外，最嚴重的反而是苗栗縣，而非其周圍的台中或新竹。



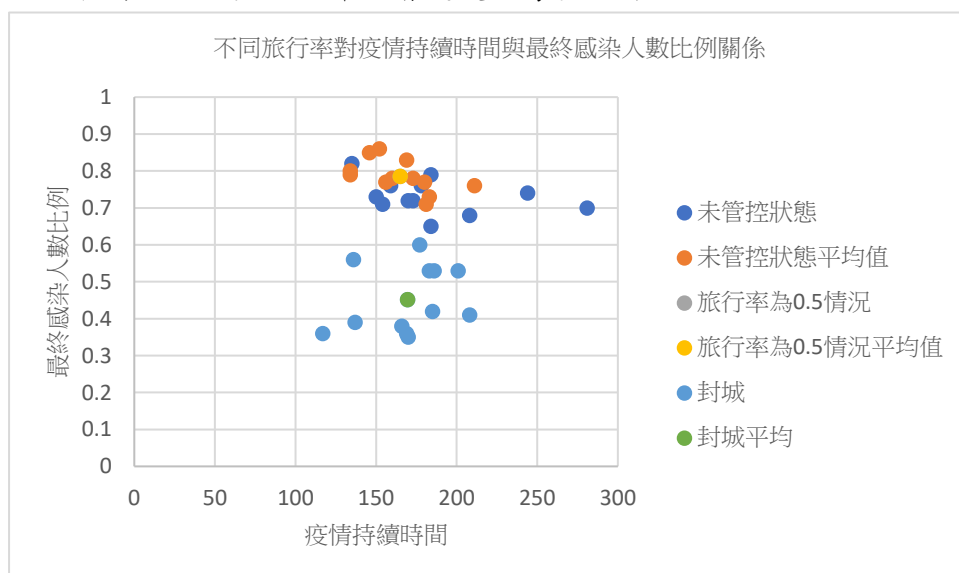
圖一 台灣至 2021/6/21 為止各縣市累積病例

6. 封城

由於封城代表不會有人員的流通，以此以旅行率為 0 表示。

平均「最終感染人數比例」由「未管控狀態」時平均 73.12%、標準差 0.047，降至「旅行率為 0」的 42%、標準差 0.045。

由對比未管控狀態下的平均「最終感染人數比例」，可發現封城約能夠減少 30%左右的總感染人數，大部分情況下也都能減少 10~20%左右的總感染人數，但由於實際實施的執行太過困難，通常不會是優先考量的作法。

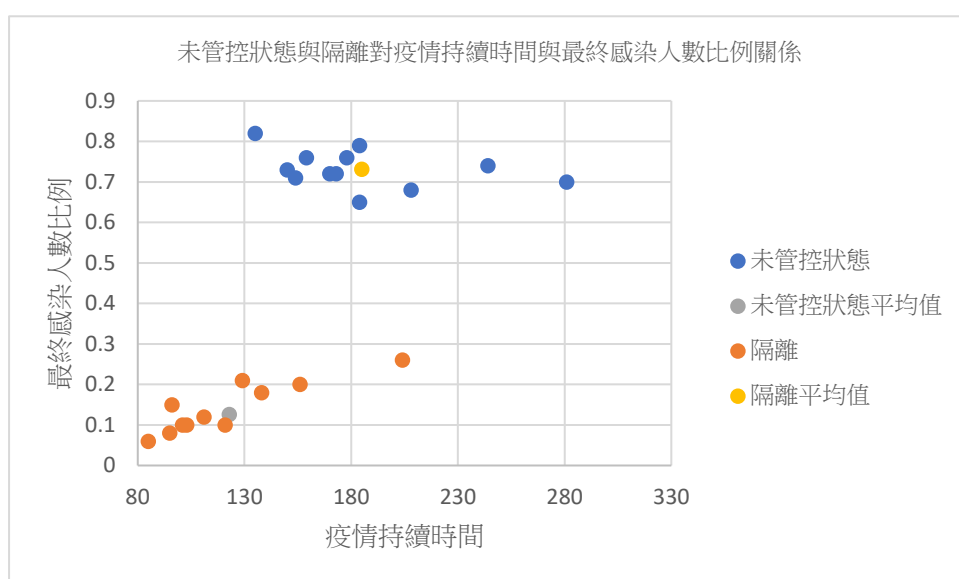


7. 隔離

將感染者隔離是最為直接能夠阻斷疾病傳播的方法。模擬中模擬 COVID-19 約有 30% 的無症狀感染者，因此這些人不會被隔離，一般感染者也有 30% 的可能不被檢測出而未隔離。感染者會有 5.2 天的潛伏期是，現實中的一天為程式中的 0.2 時間單位，因此在程式中感染者會經 1.04 時間單位後才會被隔離。

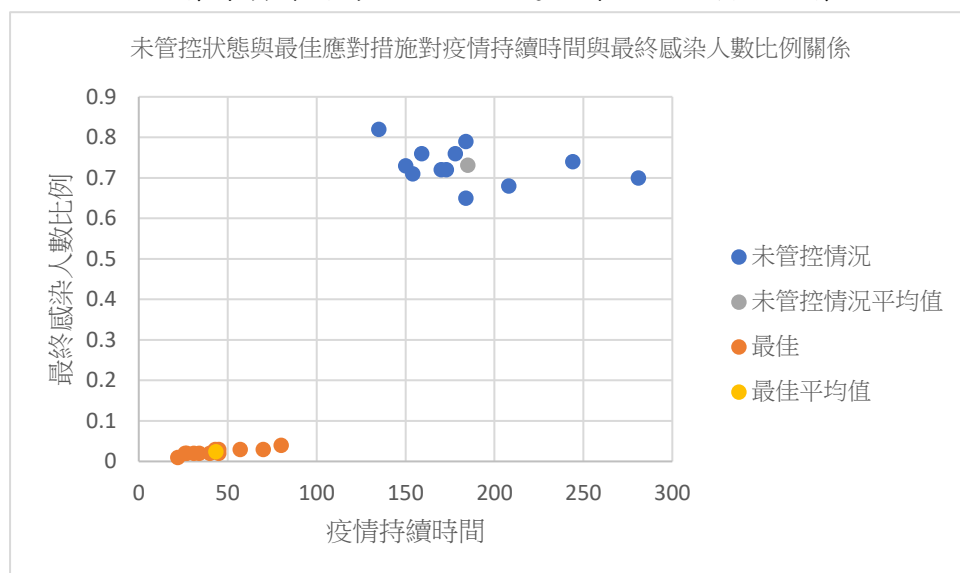
平均「最終感染人數比例」由「未管控狀態」時平均 73.12%、標準差 0.047，在實行隔離後變為 12.6%、標準差 0.062。

實行隔離後「最終感染人數比例」，相較於未管控狀態，減少了約 60%。期間最高「感染人數比例」約為 3%~10% 左右，沒有突然大量出現的病例。隔離對於阻止疫情擴散有明顯的效果。且能夠使疫情較未管控狀態提早約六十天結束。



8. 最佳措施

藉由前面的模擬做為參考，我們希望在考慮現實合理性的情況下，找出最為可行得應對措施組合及成效。跟據模擬結果，隔離與戴口罩為最有效的措施，理所當然應採納，社交距離設定為台灣目前宣導的 1.5 公尺，若政府制定足夠的措施而使民眾遵守社交距離的比例能夠高達 85%。且政府能命令使企業不需至公司上班之人員不必到工作場所上班，預估能使旅行率降至 15%，則依據模擬結果顯示，最終感染人數比例為 2.4%，且疫情持續時間為 43 天，快速且有效的壓制住疫情



結論

透過我們建立的模型，模擬出類似於傳染病會如何傳播，並以此為依據進一步討論，各個應對疫情的措施對疾病傳播的影響。藉由模擬結果知道，口罩配戴與隔離的措施對於控制疫情的效果是最為明顯的，可以明顯控制疫情的發展，而遵守社交距離的人數比例達到 90%時，有不亞於社交距離本身抑制疫情的效果。旅行率在一般不同的城市間的差異並不明顯，即便是最極端的狀況：封城，成果可能也不如確實執行社交距離的抑制效果。因此優先次序是

1. 隔離與配戴口罩
2. 社交距離與確實遵守的概念的普及
3. 旅行率的減少

以上應為政府實施疫情應對措施的參考與依據。

參考資料

1. Spread of Disease, Dr Julia Collins and Nadia Abdelal
2. 3Blue1Brown, Simulate the spread of an epidemic:
https://www.youtube.com/watch?v=gxAaO2rsdIs&t=923s&ab_channel=3Blue1Brown
<https://github.com/3b1b/videos/tree/master/2020>
3. National Institutes of Health, Probability of COVID-19 infection by cough of a normal person and a super-spreader:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7976050/>
4. Centers for Disease Control and Prevention, COVID-19 Pandemic Planning Scenarios:
<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/planning-scenarios.html>
5. Centers for Disease Control and Prevention, High Contagiousness and Rapid Spread of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2:
https://www.cdc.gov/eid/article/26/7/20-0282_article
6. Worldometer, Coronavirus Incubation Period:
<https://www.worldometers.info/coronavirus/coronavirus-incubation-period/>
7. 行政院主計總處，99 年度通勤及通學概況:
[http://www.stat.gov.tw/public/data/dgbas04/bc6/census011\(final\).html](http://www.stat.gov.tw/public/data/dgbas04/bc6/census011(final).html)