

出國報告（出國類別：研究）

赴美國加州史丹福大學培訓研究

服務機關：衛生福利部疾病管制署

姓名職稱：鄭皓元 醫師

派赴國家/地區：美國/加州 史丹福大學

出國期間：112年7月29日至8月27日

報告日期：112年10月27日

摘要

台灣在疫情早期的應變策略得到了國際的廣泛認可，但隨著疫情的發展，我們也發現自己在某些方面還有所不足。為了更好地應對未來的挑戰，我們認為有必要深入研究新興病原，開發新的監測技術、資料蒐集與模擬分析模式，以及疫苗藥物的研發和儲備。因此，本計畫旨在加強台灣的疫情應變能力和國際合作。透過與史丹福大學的深度合作，我們派遣學員進行短期研究實習。本次短期研習於史丹佛大學舉行，由王智弘教授帶領學員進行各項研究活動，著重於全球疫情大流行時的應變策略。透過對文獻的分析，我們觀察到各國如何迅速地反思和應對疫情。H1N1 和 COVID-19 疫情展現了不同的應變策略需求，顯示我們不應僅依賴藥物介入，尤其當面對全新的病毒威脅時。傳統的非藥物性介入措施，如邊境管制和社交距離，仍然極為重要。台灣在 COVID-19 疫情中的高效應對受到國際的廣泛讚譽，但亦存在若干不足之處。未來的防疫策略需要結合創新的介入措施、數位技術的廣泛應用、及全面的倫理評估。

數位科技在防疫中的應用帶來了許多優勢，但同時也伴隨著資料互通性、隱私保護等問題。在擴大數位技術的應用時，我們需要確保所採取的措施在科學、效益、及倫理上都是可接受的。此時傳染病的數理模型為我們提供了一個重要的評估工具，使我們能夠快速地評估不同的防疫措施及其效果。在面對未來的疫情，我們應該更加注重這些模型的建立和應用，以確保能夠迅速且有效地應對各種新的傳染病威脅。

面對未來可能的全球大流行，如何巧妙地運用資訊科技將是一大考驗。當面對如新冠疫情般迅速蔓延的健康危機時，傳染病的數理模型和數位科技工具則將是我們制定防疫政策、確保能迅速調整策略的重要關鍵。為此，加強與國內外數理模型研究團隊的交流與合作顯得尤為重要。我們需要建立緊密的研究-實踐夥伴關係，以確保研究成果能迅速轉化為實際政策和行動。此外，我們必須重視公衛團隊的專業培訓和素養。他們是實踐科研成果、將模型結果轉化為具體政策的重要橋梁。公衛團隊需要理解數理模型的原理和限制，知道如何提出有意義的問題，如何正確解讀模型結果，以及如何基於數據制定合理的決策。

總結而言，我們處於一個科技日新月異的時代，這帶來了無盡的可能性，但也伴隨著新的挑戰。資訊科技在防疫中的角色不可或缺，但我們必須確保它的利用是公正、透明和安全的。同時，我們也必須不斷學習、創新和合作，以確保在下一輪的健康危機中能夠有效應對，確保人民的健康和安全。

目次

壹、目的.....	4
貳、研習過程與成果	4
參、心得與建議.....	9
肆、參考文獻.....	10

壹、 目的

在當前全球化的背景下，COVID-19 及其他新興傳染病的爆發已經對全球健康生態系統造成了巨大的衝擊。這些疾病不僅威脅到人類的生命安全，更對全球經濟、社會和文化都帶來了深遠的影響。鑒於此，我們深知預測及防範下一波大流行的重要性，並認識到必須加強國家間的合作和交流，以共同應對這一全球性的挑戰。

台灣在疫情早期的應變策略得到了國際的廣泛認可，但隨著疫情的發展，我們也發現自己在某些方面還有所不足。為了更好地應對未來的挑戰，我們認為有必要深入研究新興病原，開發新的監測技術、資料蒐集與模擬分析模式，以及疫苗藥物的研發和儲備。

因此，本計畫旨在加強台灣的疫情應變能力和國際合作。透過與史丹福大學的深度合作，我們計劃派遣學員進行短期研究實習。史丹福大學在疫情應對和研究方面都有著豐富的經驗和資源，我們希望能夠借助這次合作機會，讓學員深入了解國際最先進的疫情應對策略和技術。

此外，透過這次實習，學員不僅可以學習到先進的知識和技能，更可以建立起與國際專家的聯繫和合作，為台灣在未來的疫情應對中提供更多的支持和資源。我們相信，只有通過不斷的學習和創新，台灣才能更好地應對未來的挑戰，保護人民的健康和 safety。

貳、 研習過程與成果

本次短期研習主要在史丹佛大學活動，由王智弘教授主持。校方會安排一個個人研究室供學員使用，沒有安排活動或會議時，可以在這裡專心研習。每週依照每個人研習的主題，王教授會安排重要文獻閱讀（3-5 篇不等），同時每週會進行至少兩次的文獻討論會議，會議中除了要分享自己的閱讀內容和心得之外，也會聽到其他學員的討論主題。針對每個人的研究主題和閱讀文獻，王教授會再加以評論，並且反覆詰問去探討這些文獻的經驗分享，對我們的政策和行動上有什麼樣的啟發和幫助。除此之外，還會安排和其他重要的研究者（例如閱讀文獻的通訊作者）討論，除了親炙其大師風采，也能和原作者針對研究內容有第一手的討論及經驗交流，是非常寶貴的經驗。

由於此次研習的重點主要放在全球疫情大流行時的應變（pandemic response），所以文獻閱讀的部分就是從各國專家的疫情後檢討和建議開始著手。從這些文獻可以發現，其實不用等到所謂的「疫情結束」後，才可以開始反省與檢討，其實世界各國是在疫情出現一陣子後，最晚在第一波疫情暫時停歇時，就陸續開始了檢討與反省的動作，並冀望能夠趕快吸取經驗，應對後續繼續有來的疫情。

在 2009 年的 H1N1 全球大流行時，由於科學家們很快發現新型流感的嚴重度並未如預期那麼高，加上全球已對流感疫苗的製作、新病毒株的迭代相當熟悉，所以疫苗能夠迅速生產，大大緩解了公共衛生的壓力。也可能因為這樣，過往的疫情大流行應變計畫，常常預設我們仍可以在短時間內取得藥物和疫苗等藥物介入措施（pharmaceutical intervention）。但 COVID-19 的全球大流行完全改變了遊戲規則：它不只具有高度的傳染性，更對全球的公衛和醫療體系帶來前所未有的挑戰。它提醒我們，在面對具有高度殺傷力的全球疾病大流行時，其速度、強度和影響範圍都可能超越我們預期，而因為這幾乎是一個全新的病毒威脅，我們並沒有任何的藥物或疫苗可以使用，而被迫在疫情的早期得回歸防疫措施的原點：非藥物性的介入措施（non-pharmaceutical intervention），例如邊境管制，口罩使用，和維持社交距離等等。

台灣在這次疫情中展現出的高效應對，廣受國際讚譽。其中幾個成功要素包括：

1. **迅速反應**：一旦疫情訊息被確認，台灣即時關閉邊界，加強對入境者的檢疫措施，並進行廣泛的篩檢。
2. **數位策略**：透過先進的數位建設和數據分析，台灣迅速追蹤和隔離確診病例和接觸者，減少疫情的擴散。
3. **文化和社會因素**：台灣的民眾具有強烈的集體意識，且普遍願意遵守政府的防疫指引並做出相當程度的犧牲。

然而，沒有任何系統是完美的。這次疫情同時揭示了台灣在疫情防控上的一些不足之處。例如，雖然在疫情的初期反應迅速，但當疫情從短期應變轉為長期戰鬥時，似乎缺乏了持續的策略調整和動力。此外，當疫情擴大時，依賴小型且人力密集的系統，很容易產生資源短缺的問題，而在決策過程中，台灣的專家和政策重點，過度聚焦於單一指標（如病例數），而缺乏全面的視角（例如經濟和社會成本，甚至是個人的其他健康成本的考量），讓台灣的防疫政策往往見樹不見林，忽略了病例數以外，整個疫情和防疫措施對整個社會和個人的其他更廣泛，更深遠的影響。

為了應對未來可能的疫情，我們需要：

1. **持續創新的介入措施**：利用現有科技，研發更多具有前瞻性的防疫策略。可能的數位科技應用包括：數位化接觸者追蹤，病患或接觸者症狀監測（類似遠距醫療），健康資料交換應用（個案通報電子化，數位疫苗接種證明等，都可以大幅度地讓相關工作的效率上升。
2. **數位技術的廣泛應用**：除了接觸者追蹤和症狀追蹤器，我們還應該思考如何更好地利用健康數據、加強跨部門資料交換、發展新的監測方式和早期預警系統，並藉由數位科技的應用，讓資料交換乃至種種相關的防疫措施，如通報，追蹤和後續的管理等措施，其效率跟量能都可以大幅上升並具有彈性，足以面對緊急應變時需要的量能負荷（surge capacity）。
3. **全面的倫理評估**：在所有的防疫策略中，都應充分考量其對民眾的人權和倫理影響，確保既保障公共衛生，又維護民眾的基本權利。

數位科技的廣泛應用雖然帶來便利，但也衍生了一系列新的問題，例如資料互通性（interoperability）、隱私保護、資訊公正性（equity）、應用的適當性/比例原則（proportionality）等。以適當性/比例原則來說，如何可能造成的侵害（可能是法律上或倫理道德上）與效益之間取得平衡，以確保所採取的措施不僅是科學的、有效的，而且也是倫理及法律上可以接受的。例如以電子圍籬嚴格限制人身自由，或是無限上綱的把病人當罪犯追蹤，藉由數位足跡技術搜集個資，並揭露過多個資，是否真的有其必要，其效益又為何？這都是我們未來要擴大數位技術應用時，都需要深入探討的課題。

而在評估這些技術和政策時，傳染病數理模型的應用，變成了很重要的工具。因為疫情來得又快又急，要循傳統流行病學研究的方式，前瞻性的設計一個研究去評估不同的措施，是緩不濟急，幾乎不可能的任務。所以怎麼利用在疫情早期的機會窗口，快速地收集重要的傳染病參數，並據此建立數理模型來模擬不同介入措施可能帶來的效果，便具有相當大的潛力，能發展成重要的政策評估參考工具。

例如紐西蘭大學的 Tony Blakely 教授團隊[1]，使用 SEIR 模型，同時加入對健康與經濟的影響評估指標，藉此來評估在全球大流行時，是採用 elimination（阻斷清零）策略（如台灣和紐西蘭的早期策略）或是 suppression（抑制減害）策略（如英國及美國），對健康的長期影響和經濟的傷害是採用哪個策略來的會比較小。結果不意外的，如果能夠在早期介入，採用 elimination 策略，能夠有效地壓制疫情，之後對健康的長期傷害及經濟的影響可能也會比較小。但有趣的時，如果將防疫措施的時間限定在六個月內（暗示六個月可能就會因為有有效的疫苗或藥物而讓疫情有機會獲得控制），那麼 suppression 策略可能反而是對健康和經濟傷害最小的策略，所以這個額外的發現，似乎也能夠當作我

們在思考退場策略（exit strategy）時的一個參考：如果能夠預見疫苗政策的走向和時程，便可以考慮開始轉向 suppression 而非得一直嚴格且看不到盡頭的堅持清零。

而在疫情的前期，為了探討怎樣的檢驗策略，可以盡可能地減少學童不用上學在家隔離的時間，Alyssa Blinski 教授的團隊[2]，也利用了 Agent-based model 的方式，去模擬了不同的檢驗策略，對學校出現疫情時的影響，以及評估學童可能因此而無法上學的天數。結果發現，如果利用檢驗代替隔離（陰性即可上學），搭配定期篩檢的策略，其實還是能夠有效的抑制疫情，並且減少許多不必要的在家隔離，是能夠兼顧兒童受教權和身心發育，以及疫情控制的可能策略。反觀台灣在疫情初期就視檢驗為洪水猛獸，並以偽陽性為藉口，直接拒絕思考更多能夠以檢驗換取防疫彈性與空間的做法，其實可能反而讓台灣的防疫策略過於僵化而造成其他更多無形的傷害而不自知。若是在當下的政策討論，能夠引入傳染病模型這些工具來提供政策討論時更多的參考依據，可能就不會讓這些政策討論淪為意氣之爭的口水戰而已。

而在疫苗問世之後，另一個學術團隊也再次用傳染病模型的方式檢視了這個問題[3]，只是這次加入了疫苗接種的因素做考量。一樣是採用 Agent-based model 作為模擬工具，結果依舊得到類似的結論：即使有疫苗接種，適當的篩檢策略依舊是壓制疫情必須的工具，但對接觸者多餘的檢疫隔離是可以用檢驗來代替的。這顯示了隨著客觀環境條件的變化，傳染病模型此一工具依舊可以很快的做出調整，並用來評估不同狀況下的政策選項。

而在新變異株持續出現，疫情完全結束看起來遙遙無期的狀況下，哈佛的研究團隊也再次利用 SEIR 模型[4]，模擬了繼續選擇 elimination 或是 suppression 策略對疫情的影響，並試圖找出何時是嚴格的 NPI 防疫策略（如維持社交距離，在家工作等等）適合的退場時機，此一研究更進一步將分析的層次細分到美國各州去，讓每一州可以根據自己不同的情狀做出參考對照。模擬結果發現，雖然在某些州，持續的嚴格管制可以延遲疫情再起的時間，但都只是單純地拖延而已，只要一放鬆，疫情立馬就會回升，所以還是等思考，究竟毫無止境的嚴格管制，其終點該設定在什麼地方，更不用說對某些州而言，延遲開放反而會導致再起的疫情更加嚴重（可能因為群體免疫力不足，免疫負債等等因素）。這些討論其實都在規劃何時政策應該轉向時，可以提供不少助益。

而在研究過各種傳染病模型工具跟可能應用的情境之後，王教授也補充了一個傳統流病模型分析的範例，是由史丹福大學 Joshua 教授的團隊[5]，利用加州監獄受刑人的資料，分析新冠疫苗的疫苗保護效益。由於資料的完整性和品質非常好，所以研究團隊得以執行高品質的研究，得到很有力的結論：發現疫苗接

種和曾經感染過新冠病毒都可以提供相當的保護力，而即便已經感染過，接種疫苗依舊可以對之後可能的再次感染，提供顯著的保護力，同樣的，第三劑疫苗也還是可以比僅接種兩劑疫苗提供更進一步的保護力，這些結論都有很強的科學證據和統計分析可以支持，成果也登上很好的期刊。反觀台灣號稱防疫楷模，在三年的疫情期間，像這樣需要投入時間跟資源規劃，大規模且高品質的流病分析，似乎也付之闕如，更不用說提供研究成果以供政策效益評估及後續修正參考。這些其實都是之後台灣可以再努力的地方。和 Joshua 教授的交流中他也提到，他所帶領的傳染病模型團隊，其實從疫情前就和美國 CDC 的官員一直保持著相當良好的溝通和合作關係，陸續用傳染病模型的方法，解決了許多政策上的疑問或可能遇到的問題，而在新冠疫情的期間，他們也協助美國 CDC 開發疾病預測模型，以及幫忙各州建立資料分析和使用模型的能力。如何進一步深化公衛端和學界的合作，在未來的疫情出現時可以更及時的協助疫情應變決策，也是他們目前努力的方向。

最後，王教授也針對如何利用傳染病模型協助決策，提出了他覺得如何將傳染病模型這一個工具的產出，發揮其最大效果的概念[6]，他稱之為 **Impact-oriented modeling**。這個概念主要包含下面幾點：**Agility**，**Responsiveness**，**Transparency**，**Usability**，**Accessibility**，**Universality**，**Adaptability** 和 **Actionability**。他認為要有效的利用數理模型的產出，發揮他的效益，除了建模的速度要快，可以及時的反應現況的改變做出應對，提供快速決策的參考，也要確認模型的可用性（要探討有用的問題，而不是為了產出而產出）和適用性，同時他也建議應該要能夠把這些成果與民眾共享，讓民眾也可以獲得這些模型提供的洞見，進而對自己的行為產生影響，例如更懂得該採取什麼樣的自主防疫措施，對未來可能的演變更能掌握。其中一個有趣的概念是模型的透明度。由於現在太多自稱專家的人，可能每個都號稱是用什麼模型，甚至是什麼人工智慧演算云云，但對於他們實際上是使用什麼模型，模型的假設是什麼，怎麼使用，使用的產出可能有什麼解讀上的限制，這些全都付之闕如。這樣的做法不僅讓人無法確認其建模的品質，對模型的產出和解讀充滿疑問，也可能會影響其他人對數理模型這個工具的負面印象。

在討論如何利用數理模型協助防疫的同時，除了能夠針對各種不同問題和情境，找到適合回答問題的模型工具與著手建模的執行能力之外，其中另一個關鍵其實是「決策者的素養」[7]。如果決策者本身不具有能夠善用數理模型的產出，從中解讀洞見並轉化為政策設計參考的能力，那其實這些工具依舊無法發揮他的潛力與效益。在面對可能的下一個全球大流行時，如何發展並善用這些工具，可能就是成敗的關鍵，從如何規劃、執行、到應用這些工具於決策，都值得相關單位好好思考。

參、心得與建議

在全球化的今日，當一場疾病爆發時，它的傳播速度和範圍都可能超乎我們的想像。因此，面對未來可能的全球大流行，如何巧妙地運用資訊科技輔助防疫工作，不僅是一項挑戰，更是我們必須提前做好的功課。畢竟，當人力資源達到極限時，數位科技的輔助將成為我們最有力的後盾。特別是在如新冠疫情般迅速蔓延、影響深遠的健康危機中，結合傳染病的數理模型，這些工具將是我們制定防疫政策、確保能迅速調整策略的關鍵。

首先，**持續強化資訊基礎建設**是我們的首要任務。在這個數位化的時代，資訊流通的速度和廣度都遠超過我們的想像。因此，我們需要確保資訊能在各平台流通，同時確保每位用戶的隱私和安全。這不僅僅是技術上的挑戰，更涉及到政策、法律和道德的考量。其中，系統間的互操作性及資料的隱私與安全性是最為核心的部分。這需要我們投入更多的資源，不斷地研究、測試和改進。而這背後，也意味著需要有一套完善的資訊科技人才培訓體系，確保我們的技術人員能夠與時俱進，應對各種新的技術挑戰。

其次，**加強與國內外數理模型研究團隊的交流與合作**是提升防疫效能的另一個方向。在疫情迅速變化的情境下，能夠迅速建立模型、提供決策所需的資訊和洞見是非常重要的。這不僅需要技術上的合作，更需要建立一套完整的溝通和反饋機制，確保在緊急時刻能迅速回應。此外，這也意味著我們需要在平時就與這些團隊建立深厚的合作關係，進行定期的交流和訓練，建立資料分享的機制。這樣的研究-實踐夥伴關係（**Research-practice partnership**）需要雙方的持續投入與努力，這不只是單純的學術交流，更是一種策略合作，確保在緊急情況下，我們能夠迅速地將研究成果轉化為實際的政策和行動。

再者，**提升公衛團隊的傳染病數理模型知識和素養**也是關鍵。要能與建模團隊順利合作，並將模型結果轉化為實際政策，我們的團隊需要具備足夠的知識和技能。這不只是學術上的訓練，更需要實際的操作經驗和案例分析。例如，我們需要知道如何設計數理模型可以回答的問題，如何選擇適合決策者參考的產出指標，理解模型解讀的限制，以及如何從產出的數據中發掘決策時可以應用的洞見，而非試圖利用模型配合，製造出想看到的結果。這也意味著，我們需要在教育和培訓上投入更多的資源，確保我們的公衛團隊能夠與時俱進，應對各種新的挑戰。

在這個科技日新月異的時代，我們理應有更多的工具和資源可以應對全球健康危機。但同時，我們也必須不斷提升自己，確保能夠充分利用這些工具，為未

來的挑戰做好準備。只有這樣，我們才能在下一次的健康危機中，迅速、有效地應對，保護人民的健康和安全。而這一切，都需要我們持續地學習、創新和合作，確保我們的防疫工作能夠與時俱進，應對各種新的挑戰。

肆、 參考文獻

1. Blakely T, Thompson J, Bablani L, et al. Association of Simulated COVID-19 Policy Responses for Social Restrictions and Lockdowns With Health-Adjusted Life-Years and Costs in Victoria, Australia. *JAMA Heal Forum*. 2021;2(7):e211749. doi:10.1001/jamahealthforum.2021.1749
2. Bilinski A, Ciaranello A, Fitzpatrick MC, et al. Estimated Transmission Outcomes and Costs of SARS-CoV-2 Diagnostic Testing, Screening, and Surveillance Strategies Among a Simulated Population of Primary School Students. *JAMA Pediatr*. 2022;176(7):679-689. doi:10.1001/jamapediatrics.2022.1326
3. Motta FC, McGoff KA, Deckard A, et al. Assessment of Simulated Surveillance Testing and Quarantine in a SARS-CoV-2–Vaccinated Population of Students on a University Campus. *JAMA Heal Forum*. 2021;2(10):e213035. doi:10.1001/jamahealthforum.2021.3035
4. Linas BP, Xiao J, Dalgic OO, et al. Projecting COVID-19 Mortality as States Relax Nonpharmacologic Interventions. *JAMA Heal Forum*. 2022;3(4):e220760. doi:10.1001/jamahealthforum.2022.0760
5. Chin ET, Leidner D, Lamson L, et al. Protection against Omicron from Vaccination and Previous Infection in a Prison System. *N Engl J Med*. 2022;387(19):1770-1782. doi:10.1056/nejmoa2207082
6. Shah NR, Lai D, Wang CJ. An Impact-Oriented Approach to Epidemiological Modeling. *J Gen Intern Med*. 2021;36(6):1765-1767. doi:10.1007/s11606-020-06230-1
7. Holmdahl I, Buckee C. Wrong but Useful — What Covid-19 Epidemiologic Models Can and Cannot Tell Us. *N Engl J Med*. 2020;383(4):303-305. doi:10.1056/nejmp2016822