

# 短期需求受擾動下動態醫療物資輸配送 之研究<sup>1</sup>

## DYNAMIC TRANSIT SCHEDULING OF MEDICAL GOODS FOR DEMANDS BEING DISTURBED IN SHORT-TERM OPERATIONS

顏上堯 Shangyao Yan<sup>2</sup>  
陳佳宏 Chia-Hung Chen<sup>3</sup>  
曹智翔 Chih-Hsiang Tsao<sup>4</sup>

(97 年 9 月 25 日收稿，97 年 2 月 24 日第一次修改，98 年 4 月 7 日第二次修改，  
98 年 5 月 12 日第三次修改，98 年 5 月 26 日第四次修改，98 年 9 月 7 日定稿)

### 摘 要

良好的醫療物資輸配送作業規劃，可幫助醫療系統於緊急疫情爆發時，有效率地服務突然大增的病患物資需求，以確保醫療系統物資有效率地應用以維持一定的醫療服務品質。目前國內大型醫療院所之短期物資輸配送作業規劃上，通常由醫療系統成立之聯合決策中心以人工的經驗來制定，此作法不具系統性分析，且相當依賴相關作業人員的主觀判斷，因此常可能導致不佳的決策。尤其，在疫情爆發時，物資需求突然大量增加，可能導致原先規劃的物資配送結果難以運用於實際作業中，且現有的決策作法不易有效地調整現有的資源以因應擾動事件。緣此，本研究針對疫情

- 
1. 本研究承行政院國家科學委員會專題研究補助（計畫編號：96-2628-E-008-057-MY2），特此致謝。
  2. 國立中央大學土木工程學系教授（聯絡地址：32001 桃園縣中壢市中大路 300 號中央大學土木工程學系；聯絡電話：03-4227151-34141；E-mail：t320002@cc.ncu.edu.tw）。
  3. 樹德科技大學運籌管理系助理教授（聯絡地址：82445 高雄縣燕巢鄉橫山路 59 號樹德科技大學運籌管理系；聯絡電話：07-6158000-4525；E-mail：chiahung@mail.stu.edu.tw）。
  4. 國立中央大學土木工程學系碩士。

發生時，在給定各時點的預期物資需求下，考量各醫療院所的存貨容量限制、物資運送量及其他相關限制，利用時空網路流動技巧，建構一醫療物資輸配送模式及一動態決策架構，以幫助業者有效地進行醫療物資輸配送規劃。最後為測試本研究模式可能的實用績效，本研究以國內一大型醫療系統的營運資料為例，進行範例測試與分析，測試結果發現，本研究模式及動態決策架構除能有效調配現有的資源外，其結果亦較實務規劃作法為佳，顯示本研究所建構之模式與動態決策架構，應可為醫療管理當局有效地規劃醫療物資輸配送，及進一步發展更完善模式之參考。

**關鍵詞：**醫療物資輸配送；動態決策架構；擾動；時空網路；多重貨物網路流動問題

### ABSTRACT

*A good medical goods transit scheduling plan helps the medical system solve unexpected situations efficiently when an urgent epidemic breaks out. Currently medical goods are usually scheduled by the united decision center of Taiwan medical systems. However, the schedules are manually determined by staff with experience, without optimization from a systemic perspective. In particular, in an urgent epidemic situation, the demand would increase drastically and thereby the original plan could not be effectively applied. Therefore, in this research, based on a medical system's perspective, given the estimated demand for every time slot in all hospitals and their departments, we consider the stock capacity for all hospitals and their departments as well as transshipment and other related constraints, and then employ the time-space network technique to construct a medical goods transit scheduling model, coupled with a dynamic decision framework, to help the medical systems efficiently schedule their medical goods transshipments. Finally, to provide a preliminary evaluation of the model in practice; we perform a case study based on a domestic large-scale medical system's operating data. The test results indicate that the proposed model and the dynamic decision framework can not only allocate the resources efficiently, but can also yield better solutions than the manual method in practice, showing that the model and the dynamic decision framework could be useful reference materials for medical systems to effectively plan their medical goods transit schedules and further to develop more robust models.*

**Key Words:** *Medical goods transit scheduling; Dynamic decision framework; Disturbance; Time-space network; Multiple commodity network flow problem*

## 一、緒 論

隨著國民所得上升及醫療工程的進步，人民的生活水準與醫療設施品質亦隨之提高，民眾在接受醫療服務時，除考量醫療院所的專業與公信力外，醫療環境品質與服務設施的好壞亦是重要的考量因素之一。在民眾對醫療環境品質與服務設施的要求下，醫療系統必須付出更高的成本來提供更好的醫療環境品質與服務設施，以滿足病患的醫療品質需求。依據 Kowalski<sup>[1]</sup> 調查報告指出，美國的大型醫療系統每年花費於醫療資材成本，約占其總營業成本的 25% ~ 45%，占有相當大的比例。過去，醫院一直扮演著提供醫療服務的角色，在經營上，醫療資材輸配送成本及存貨成本較常被忽略。因此，就醫療系統管理者而言，如何有效節省此相關成本，並將此節省之成本用於提供病患更好的醫療品質服務，實為一不可忽略的問題。

一般物資輸配送作業的規劃上，可依據時間的急迫性分為一般時期與緊急疫情爆發時期。就一般時期而言，各醫院庫存管理單位檢視電腦系統中各項物資之存貨量，若該物資量已低於再訂購點，則將系統所需之訂購量以電腦訊息傳送於聯合決策中心之訂貨系統，進行物資輸配送作業，若已低於最低安全存量點，則緊急聯繫供應商以訂購物資，補足物資需求量到達一設定標準值並直接配送。而就緊急疫情爆發時期而言，目前醫療系統在滿足短期的需求上，除先調度並利用各院所各部門之現有存貨外，在物資供應上主要是向合約供應商緊急訂購物資，若合約供應商之供給量不足時，則可跳脫政府採購法直接向非合約之供應商緊急訂貨，以滿足緊急疫情爆發時之需求。由於緊急疫情爆發時期所牽涉的影響因素廣泛且系統複雜，因此如何確保醫療系統物資有效率地應用與維持一定的醫療服務品質，以幫助醫療系統於緊急疫情爆發時，有效率地服務突然大增的病患物資需求，則物資輸配送作業規劃扮演著關鍵的角色。

目前，臺灣的醫療院所多已整合為一整合性醫療系統，例如長庚系統、慈濟系統、及市立聯合醫院系統等，其在物資輸配送的作業上，乃根據前一年度之輸配送經驗為基礎，對醫療倉儲中心估算平均年度的物資需求量，以年度需求量規劃年度物資輸配送作業排程、制定醫療物資輸配送作業週期，再配合物資再訂購點及最低安全存量點進行物資補充作業。然而，當緊急疫情爆發時，實際所需之物資配送量，會隨許多即時擾動因素影響而產生變化（如疫情擴散速度、需求擾動程度、物資取得難易度與物資運送前置時間等），進而使原規劃之物資輸配送作業不可行。為維持醫療系統營運之可行性，業者必須重新調整物資輸配送作業。實務上，醫療系統下各院所因物資需求量常不明確，在短時間內系統難以估計各院所最適的物資配送量，可能造成部分醫療院所物資供給量過多，而部分醫療院所物資供給量不足之情況。隨著疫情的發展，部分醫院及部門之過量物資閒置，將造成醫療資源上的浪費；而部分物資供給量不足之醫院及部門則面臨物資短缺之窘境，必須透過內部物資的臨時調度或緊急訂購較高成本之醫療物資，以滿足物資的需求量並控制疫情的擴散，然此將造成醫療系統成本的增加。

目前國內醫療系統一般在面對緊急疫情爆發產生需求擾動時，首先由醫療系統內之各院所，回報各自部門現有存貨與需求至醫療系統聯合決策中心，再透過聯合決策中心規劃人員之人工經驗法則，判斷各需求點物資所需之運送量，來進行物資輸配送規劃的調整作業，以維持醫療系統於需求產生擾動時期內之營運可行性。然此人工調整之醫療物資輸配送作業，缺乏系統最佳化分析，故常導致決策不佳，而不易滿足需求，降低運送的時間效率，或增加物資的運送成本，難以掌握其績效。綜合目前實務決策不佳的原因，主要可分為需求面與供給面原因：在需求面，因醫療系統反應的時間短暫，且缺乏有效的資料擷取系統，亦缺乏有效的需求預測方法，以致在疫情發生後，不易掌握各院所現在及未來的需求，尤其隨者疫情的蔓延，常混雜加入多項複雜的因素，使未來的需求更不易預測。在供給面，由於缺乏有效的系統分析工具及支援決策輔助系統，無法有效地進行系統最佳的物資輸配送決策（含醫療系統內部物資的臨時調度及合約／非合約之供應商緊急訂貨決策），因此在有限的時間內，僅單憑人工的經驗判斷，通常就個別的需求進行指派處理，難以充分使用整體的資源。例如參考國內一醫療系統（稱 X 醫療系統）的作法，其人工經驗指派的優先順序為：(1) 醫療部門滯留存量；(2) 院內醫療部門相互支援；(3) 醫院倉儲滯留存量；(4) 地區倉庫滯留存量；(5) 院外相互支援；(6) 合約供應商緊急訂購；及 (7) 非合約供應商緊急訂購。此指派原則類似貪婪式的指派 (greedy assignment)，決策者在每個決策期大致依照上述 7 個順序，從第一順序開始處理至滿足需求為止。例如，若某醫院一部門之某時點（為一時空點）的需求待決策，若其需求可由該部門的滯留存量加以滿足，則此時空點的需求即已處理完；但若該部門的滯留存量不足，則依序再判斷該醫院內其他醫療部門是否有多餘的存貨可以支援？若有，則指派多餘之存貨以滿足該時空點的需求，若可滿足，則該時空點的需求即已處理完；若無法滿足，則繼續判斷可否由該醫院的倉儲滯留存量加以支援？依此作法，依序且重複的判斷。最後，若都無法由該醫療院所內部系統加以支援（即無法由前 6 個順序完成判斷並處理需求），則尋求外部非合約供應商緊急訂購加以支援，其費用相對較高。最後，依上述的作法逐一檢視與處理各時空點的需求，直到所有需求皆確定被滿足為止。由此可知，此實務做法不但缺乏效率，且缺乏系統最佳化分析，往往會造成資源浪費，增加營運成本，並降低醫療物資輸配送作業的績效。上述問題在以往的醫療物資輸配送問題研究中，甚少有類似的探討。雖然近年來已有學者針對醫療物資輸配送作業進行研究（如 Frederick<sup>[2]</sup>、Dellaert 與 Poel<sup>[3]</sup>、魏碧芳<sup>[4]</sup>、王忠漢<sup>[5]</sup>、張楊全<sup>[6]</sup>、Danas 等人<sup>[7]</sup>、Liz 與 Helen<sup>[8]</sup>、陳祈宏<sup>[9]</sup>），以有效降低醫療系統的營運成本，但由於此等研究並未考量當緊急疫情爆發時，造成物資需求量突然大幅增加之擾動狀況下，需進行系統的短期內部調度及透過合約／非合約之供應商緊急訂貨作業之情況，因此，此等研究的方法或模式無法直接應用於處理此等情況。至於其他領域雖有探討天然災害後救災物流的研究（如 Kemball-Cook 與 Stephenson<sup>[10]</sup>、Ardekani 與 Hobeika<sup>[11]</sup>、Knott<sup>[12]</sup>、Brown 與 Vassiliou<sup>[13]</sup>、Haghani 與 Oh<sup>[14]</sup>、Barbarosoglu 等人<sup>[15]</sup>、及 Yan 與 Shih<sup>[16]</sup>），然而該等研究的問題與本研究的問題仍有相當的差異，因此其方法或模式，亦無法直接應用於處理本研究問題。

有鑑於此，如何在一緊急疫情爆發時段內，物資需求產生擾動狀況下，供應足夠物資需求量並滿足醫療系統總物流成本最小化，以有效節省營運成本並提供更好的醫療服務品質，實屬一重要課題。由於目前實務面此問題甚為複雜，牽涉需求面的資料擷取與預測，及供給面系統的物資臨時調度與緊急訂貨，因此，為適當簡化研究的複雜度，茲參考實務作業中 X 醫療系統的各院所及各部門之需求可透過回報獲得，本研究的範疇係先假設需求面為已知（即給定各需求點的現在及未來的預測需求），再進行最佳的供給面指派策略。本研究目標是以總物流（含物資購買、輸配送及存貨）成本最小化，在滿足所有醫療物資需求（含已知及預測需求）及其他營運限制條件下，利用時空網路流動技巧，建構一醫療物資輸配送模式，以幫助業者有效地進行醫療物資輸配送作業規劃，作為業者緊急物資輸配送規劃的參考。此外，為考量物資需求量隨疫情影響時間及疫情擴散程度而擾動變化，對緊急疫情爆發下之醫療物資輸配送作業造成影響，並適當地減少未來需求量因預測誤差的影響，本研究提出「動態決策架構」，針對醫療物資需求量之擾動特性，先進行需求量的即時更新作業，再以此更新之物資需求量，依序執行醫療物資輸配送作業模式，以求得更符合實際需求擾動狀況下之醫療物資輸配送方案。

在需求面的預測未完善前，本研究模式應屬前瞻性模式，係在給定的相關資訊（含已知需求、預測需求、現有庫存量、相關成本、分析時間及其他資訊）下，以系統分析方法，求得最小成本的即時物資輸配送方案。此工具在未來配合相關條件（尤其是可靠的需求預測）成熟時，應可輔助醫療單位有效地規劃緊急疫情時的醫療物資輸配送作業。值得一提的是，近年來隨著數學演算技巧與電腦科技的精進，以往較困難與較少被研究的「臨時或意外事件的即時管理課題」，已經逐漸被檢視與探討，如因應臨時或意外事件之航空營運即時管理<sup>[17,18]</sup>或天然災害後救災物流管理<sup>[13,16]</sup>等課題。以意外事件之航空營運即時管理為例，有關航空營運中遇意外事件時的飛航排程調整與旅客臨時調整運送（雖此問題與本研究不同，但管理的觀念類似）課題已蔚為風潮，經學界與實務界多方的探討（含供需面）與研發，目前航空業者在處理此等意外事件上，已漸有效率。本研究所探討之緊急疫情醫療物資輸配送問題，亦屬此類課題之一。

為方便模式的構建與測試，本研究將以國內一大型醫療系統（簡稱 X 醫療系統）的營運為例，進行分析與說明。為適當降低問題的複雜性，本研究僅針對緊急疫情發生時，屬一般性之醫療物資消耗品進行探討（如口罩、防護手套等），但對於需要特殊儲藏環境（如時效性較短、需冷藏等）之醫療資材，一般難以在規劃中事先預留緩衝資源加以解決（因為如此將大幅的降低規劃解的品質），因此本研究暫不納入考量。此外，一般的醫療物資輸配送作業，主要分為年度輸配送計畫與臨時性緊急輸配送計畫，本研究屬臨時性緊急輸配送計畫，係在即時營運中遇到大型的擾動事件後，進行之即時調整作業。至於年度輸配送計畫，乃依據歷年的醫療物資需求使用量，排定其物資輸配送作業，一般屬於長期性規劃，為本研究之上游作業。換言之，本研究係基於長期規劃結果，進行即時之輸配送調整作業。另外，在即時調整的作業中，本研究僅針對大型擾動事件所發生的物資需求擾動因素，如 SARS 疫情等探討。至於在即時調整作業中，若遇到其他經常性事件（其擾動需求相對較

小)，則可在動態決策架構的應用中，一併修正受影響的物資需求量（含大型擾動事件及經常性事件的擾動需求，即將經常性事件的擾動視為即時大型擾動中的一小部分），並重新執行本研究模式。本文其餘內容如下：第二節構建模式，第三節進行範例測試與結果分析，第四節提出結論與建議。

## 二、模式構建

在醫療系統的營運作業中，提供醫療病患足夠之物資需求上，醫療物資輸配送作業扮演了相當重要的角色。醫療物資輸配送作業結果的好壞，往往直接影響醫院物資供給與應用的效率。因此，在有限物資供給量下若能有一系統最佳化的醫療物資輸配送模式，因應緊急疫情爆發階段，以進行系統下各醫療院所間物資輸配送作業，則可提升醫療系統之整體營運績效。另外，實務上醫療物資輸配送作業一般多以一固定時間（例如：一個星期或一個月），作為處理緊急疫情的規劃週期，然在此規劃週期內，因緊急疫情造成物資需求量突然大增或變化，可能導致原規劃之輸配送結果，難以有效地調整以因應此擾動事件，因此本研究針對醫療物資需求量之擾動特性，以一「動態決策架構」即時更新需求量，並依序以此更新之物資需求量，執行醫療物資輸配送作業模式，以求得更符合實際需求擾動狀況下之醫療物資輸配送方案。

由於緊急疫情爆發時，在需求的預測上不易，因此若模式的分析時間過長，則後段時期的需求預測將更不易或不準，因此本研究模式的分析時間軸範圍（統稱分析期）區分為兩部分，分別為決策期階段與參考期階段，其中距離緊急疫情爆發較接近之時期為決策期階段，決策期內的需求資訊較明確，調度的決策較可行，故在有限的時間內，建議決策後採用；另一部分為扣除決策期階段，將距離疫情爆發時間點較遠的時期，稱為參考期階段，由於參考期階段內的需求較不明確，故其規劃之物資輸配送僅當成參考用（此在決策上可視為預留緩衝之作法，較具系統性分析），須待其需求變得較明確後（即成為決策期），其決策才建議採用。簡言之，本研究模式需動態執行（類似 rolling analysis，可參考 Yan 等人研究<sup>[19]</sup>），若決策期長度為一日，則本研究模式可屬逐日式營運模式。然而，此營運模式中，仍含參考期的規劃內容，因此亦可稱逐日式營運規劃模式。如圖 1 所示，此「動態決策架構」在設計上為每天求解一次模式，並進行醫療物資之輸配送，每次執行模式前，需先預測可恢復至正常狀態之時間範圍（即分析期長度），並更新各需求點各時點的需求量，如此每天依序求解模式，直到疫情趨於緩和狀態。例如，第 1 次執行模式所求得之醫療物資輸配送解，僅採納第 1 天的輸配送結果，視為決策期階段，因其距離決策期開始時間點較近，需求狀況較明確，而剩餘物資輸配送時間範圍結果，視為參考期階段，以供下次模式執行之參考；之後，第 2 次執行模式結果，仍僅採納該分析期之第 1 天的輸配送結果，並視其為決策期階段，其餘視為參考期階段，以此類推，直到分析期僅餘決策期階段而無參考期階段停止。為方便說明，本研究決策期舉例為一日，但在未來實務的應用上，其長

度可依醫療單位的條件及運作而調整，例如若業者預估 12 小時內的需求較明確，而之後較不明確，則決策期可調整為 12 小時，亦即此模式每 12 小時需執行一次。當然，決策期愈短，其需求的資訊愈明確，決策的精確度將愈高，但配合處理的行政程序就需愈有效率。換言之，決策期過短可能造成行政程序難行，因此業者可參考其內部的行政運作，以選擇適當的決策期長度。

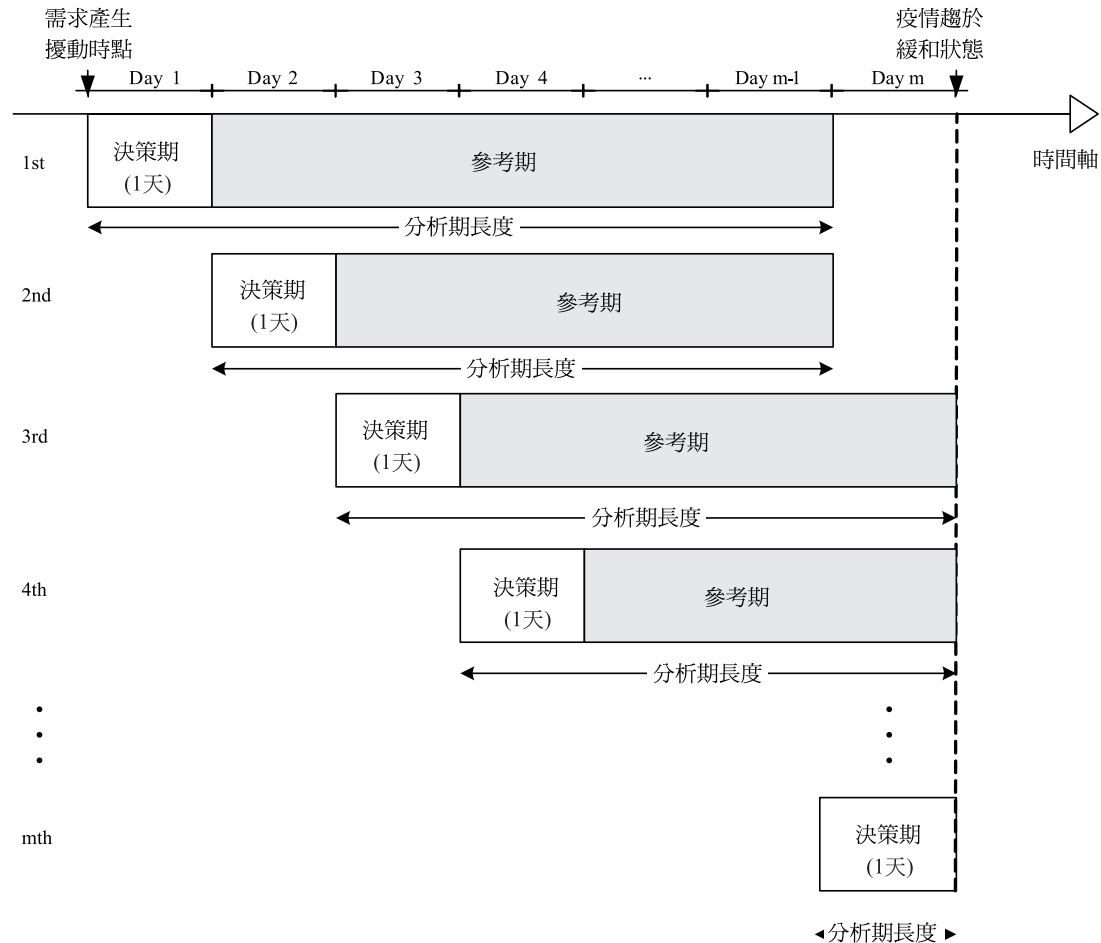


圖 1 動態決策架構示意圖

在模式的構建上，由於時空網路可有效地定式運具於時間與空間中的流動，且近年來已有許多研究將時空網路技巧，應用在運輸領域之排班及排程，發現其成效良好（可參考 Yan 與 Chen<sup>[20]</sup>、Yan 等人<sup>[21]</sup>、Yan 與 Chen<sup>[22]</sup>），因此，本研究利用時空網路技巧及數學規劃方法，建構一醫療物資輸配送模式。以下分別說明模式基本假設或給定資訊、物流時空網路、符號說明及數學模式。

## 2.1 基本假設或給定資訊

為確保本研究模式的架構合理及界定其使用的限制，茲參考 X 醫療系統之實際營運現況，提出下列幾點假設條件或給定之資訊：

1. 假設短期各需求點之物資需求或其預測值已知並為固定值（如 X 醫療系統的各院所及各自部門之需求可透過回報獲得）。本研究模式的輸入資料，因含有較動態且不確定的需求資訊，因此若實務的人工判斷作法無法有效地預測未來需求，則未來可配合較可靠的需求預測方法（如 probability model<sup>[23]</sup>、neural network<sup>[24]</sup>、kevin filter<sup>[25]</sup> 及 gray theory<sup>[26]</sup> 等），以改良現況人工經驗的預測方法，進而提升模式使用的有效性；此等需求之預測可為未來研究的課題。另外，在現實環境中，若未來的需求量會隨許多隨機因素改變而不為固定值，則可以本模式為基礎，考慮醫療物資需求之隨機特性，發展隨機性醫療物資需求輸配送作業模式。
2. 本研究參考 X 醫療系統的作業考量，以醫療系統總物流（含物資購買、輸配送及存貨）成本最小化為目標。雖然在緊急疫情爆發時期，X 醫療系統的目標大都在利用現有的物資資源（含醫院本身的庫存、簽約廠商的供應、及外部緊急的調度）即時地滿足已知之所有需求，但是在調度上仍然以其現有的資源為主（含現有庫存及簽約廠商的供應），外部緊急的調度為輔（因成本較高），以期降低調度的成本。由此可知，如何有效節省成本並善用資源，以提供良好的醫療服務品質，為一重要之課題，故本研究在滿足各需求點的需求量（含已知及預測的需求）為前提下，以物資購買、輸配送及存貨等總成本最小化為探討目標。
3. 醫療系統有一聯合決策中心，以決策物資輸配送作業。本模式假設醫療系統內各院所各部門的物資需求資料及供應商之供應量可有效掌握，在整體供給、需求量考量下作出決策。聯合決策中心在一般時期負責監控庫存及決策物資配送數量多寡，然而在緊急狀況發生下，聯合決策中心可轉變成為醫院緊急應變指揮系統（HEICS），負責緊急狀況下，所有醫院物資輸配送作業的決策及指揮者。因為跳過一般物流規範之流程，所以可縮短決策時間。
4. 緊急疫情發生後，物資配送不會發生醫療系統間無法聯繫通行，而使得醫療物資無法送達之情況。另外，不同醫療院所間之類似醫療部門，可進行物資輸配送作業（例如甲醫院之腸胃科與乙醫院之腸胃科之間）。在醫療系統中，各醫院之類似部門雖不盡相同，但在緊急疫情發生時，服務內容皆為有效控制疫情，所需要物資種類亦差異不大，因此，不同醫院相對應類似部門間物資互相支援配送（稱為橫向調撥）的作法，可提升系統內物資的總體使用效率。
5. 就供應商而言，可分為合約供應商與非合約供應商兩種。合約供應商之供給量有上限量，若為非合約之供應商，則其供給量設定沒有上限量。實務上，X 醫療系統與其合約供應商在簽訂年度契約時，會約定一年度的目標訂購量，並以此目標量協商折扣價格，至於在每次的訂貨上，供應商會依據其庫存上限量及單次的運送能量，簽訂單次最多物



資可運送量。另外，X 醫療系統在實務的運作上，並未與其合約供應商簽訂單次最少物資之運送量。因此，本研究假設合約供應商之單次供給量有上限而無下限。另外，當醫療系統內物資需求未達其安全存量時，可由合約供應商依契約內容配送物資至需求醫院，以供給足夠的物資；若合約供應商之供給量達其庫存上限值時，其餘不足之物資需求，則尋求其他非合約供應商支援物資輸配送量。在緊急疫情發生下，由於非合約供應商（可有很多來源）可跳脫政府採購法尋求物資支援，因此本研究假設非合約供應商的供給量沒有上限值。未來模式於實務運用時，若上述情況與 X 醫療系統不同時，業者可依實際狀況進行調整。

6. 本研究之醫療物資分為 N-95 口罩、平面口罩、外科口罩、防護衣、防護手套等。由於其體積大小不同，本研究參考實務作法利用長 380 mm、寬 260 mm、高 210 mm 體積之配送箱進行物資輸配送作業，而配送箱可存放各類物資數量分別為：N-95 口罩 50 個、平面口罩 100 個、外科口罩 100 個、防護衣 10 件、防護手套 50 個，以此設定標準將供給量及需求量轉換成當量表示，以利運算。
7. 不同醫療場站皆設立一物資滯留空間以提供不同物資存放，亦即各地區倉庫、醫院及醫療部門皆有物資倉儲中心或場所，以提供不同物資同時存放。由於本研究主要針對疫情發生下一般性醫療物資進行研究，並不探討需要特殊存放環境之物資（如冷藏），因此不同醫療場站皆只設立一物資滯留空間，以提供不同物資存放。
8. X 醫療系統與其合約供應商在簽訂年度契約中，已考量大量訂購的折扣價，因此在短期每次進貨的單價計算上，皆採一固定價格，此與部分供應商會針對每一次大額訂購上所採的折扣作法不同。換言之，X 醫療系統在長期簽約訂購物資後，單價固定，因此在短期中則注重物資輸配送與存貨之規劃。另外，X 醫療系統因屬長期客戶，因此在其與合約供應商的年度契約中，每次訂購數量並無最小量限制。此外，在非合約供應商之緊急進貨的單價上，由於屬緊急情況，一般其單價甚高於合約供應的單價（醫療系統盡量避免之），故參考 X 醫療系統的建議，取一較高的固定價格。若本模式在其他的應用上，物資的單價與訂購量存在非線性關係時（例如折扣關係），或每次訂購有一最小量的限制時，則可適當修正本研究模式（將在後文討論）。

## 2.2 物流時空網路

本研究利用時空網路的流動技巧，表示醫療物資在時空面作業中的流動情形。物流時空網路的設計，主要是將各地區倉庫、醫院、醫療部門及物資需求點的分布情形，透過時空網路，將物資配送至各個醫療院所及各部門，以滿足其物資的需求。如圖 2 所示，每一層網路對應一種醫療物資，以區別不同醫療院所及各部門所需物資之時空分布情形。圖 2 中橫軸代表醫療系統中之地區倉庫、醫院及醫療部門之「空間分布」，而縱軸表示物流作業之「時間延續」。在物流時空網路之設計上，網路時間軸長度為總物流作業影響時期（即分析期），一天以六個時點代表（即一個時點代表 4 個小時），至於決策者在未來使用此模

式時，可以依其需要進行調整。此物流時空網路中包含有節點與節線等要素，節點代表一場站在一特定時間之時空點。節點上之供給與需求，分別代表於此節點上進入或流出的物資流量。至於節線則代表兩時空點間物流之活動事件。節線流量代表該事件的物資流動數量，茲分別說明如下。

### (一) 節點

代表供應商／地區倉庫／醫院／醫療部門在一特定時間的時空點，本研究可細分為供應商節點、地區倉庫節點、醫院節點及醫療部門節點等四種，時點間距設為四個小時。理論上，較小的時點間距可求得較精確之規劃答案，但相對地將增加問題規模與求解困難度，另外亦增加需求預測的困難度。實務上，使用者可依問題特性設定時點間距。此等節點中，供應商節點可再細分為合約供應商節點與非合約供應商節點，此類節點屬於供給節點，代表所有網路層物資的主要供給來源。而醫療部門節點為需求節點，代表物資的需求來源。另外，地區倉庫／醫院／醫療部門皆設有初始存量值，為上一階段規劃之剩餘庫存量，可視為另一種供給節點。

### (二) 節線

表示醫療物資於相異時空點間之流動情形，為物資的輸配送路線。節線流量代表醫療物資之流動數量。節線又可以細分為物流節線及滯留節線等兩種，茲分別說明如下：

#### 1. 物流節線

為不同地區倉庫、醫院及醫療部門間的時空連接線，用以表示醫療物資於不同地點間的流動情形。物流節線又可細分為下列四種：

##### (1) 起點為供應商之節線

此類節線可依合約關係及服務內容分為三種（合約供應商至地區倉庫之節線、合約供應商緊急服務節線及非合約供應商緊急服務節線），其起迄時窗皆含物資配送時間與整貨工時；整貨工時指物資於配送前之所有整貨過程所耗費之時間，包含驗貨、品質抽查檢定及核定數量等。此節線成本設計為醫療系統購入物資時所花費之物資購買成本。其節線流量上限為供應商之單次最大物資供給量，流量下限為 0，代表該時段無輸送任何物資（若每次訂購有一最小量限制，則此量可設為下限）。上述之合約供應商緊急服務節線及非合約供應商緊急服務節線，為因應在短時間受疫情的影響而產生大量的物資需求，而提供緊急服務之節線。一般而言，由於合約供應商的單價較低，因此先由其提供物資需求。若合約供應商無法在短時間內提供足夠之物資時，則可跳脫政府採購法尋求非合約供應商之物資支援。由於合約供應商及非合約供應商之緊急服務節線，均於緊急狀況發生時方提供服務，故其醫療物資可直接由合約／非合約供應商將物資送達需求醫院進行院內配送使用，不必依照一般醫院物流流程（即經由地區倉庫、醫院倉儲及需求部門的流程）配送。

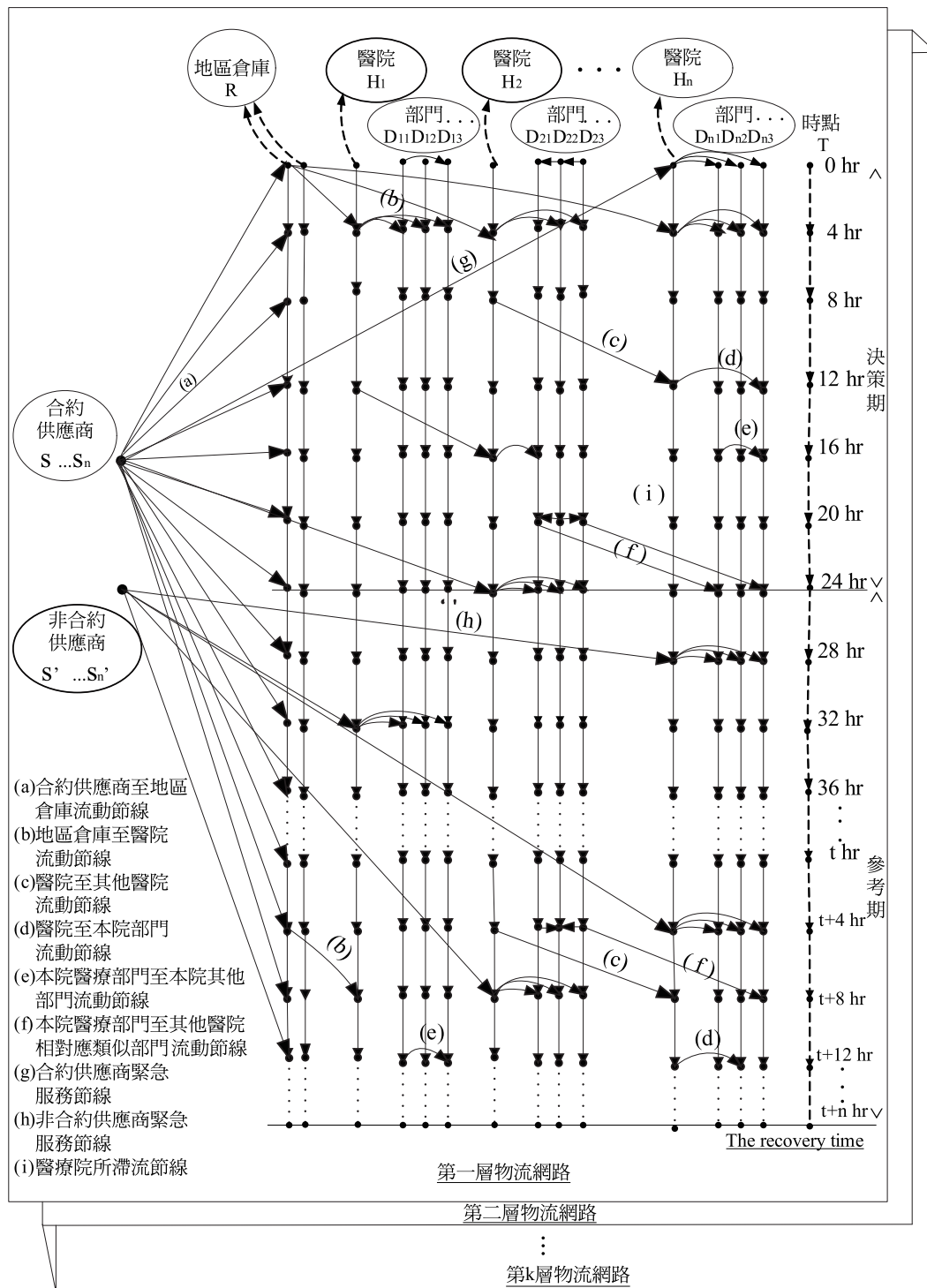


圖 2 醫療物資物流時空網路圖

## (2) 起點為地區倉庫之節線

此類節線為地區倉庫至醫院的時空連接線，表示物資以地區倉庫為出發點進行物資配送。節線之起迄時窗含物資配送時間與整貨工時。節線之流量無上限，表示只要該節線存在，物資皆可配送（除非受限於最大運能，實務上此值相對甚大）；而流量下限為 0，代表該時段無輸送任何物資。節線成本包括人事成本、設備成本等。其中人事成本指醫院支付其受雇員工所花費在物資配送及倉儲存貨之人事成本，包括薪資與加給；設備成本指醫院在執行藥品醫材倉儲、配送作業時所需要使用各項設備及其相關費用，包含維持倉儲正常運作所需投入的相關消耗品花費、固定及變動設施成本，如固定的出車成本、變動的燃料費、過路費及維修費。未來業者於運用時，可依據其實際的營運狀況適當設定之。

## (3) 起點為醫院之節線

此類節線可依運送單位分為醫院至其他醫院節線，及醫院至本院部門節線兩種，表示物資以醫院為出發點進行配送。節線之起迄時窗、流量上下限及成本之設計上，皆與第二項起點為地區倉庫之物流節線類似，在此不多加贅述。

## (4) 起點為醫療部門之節線

此類節線可依運送單位，分為本院部門至本院其他部門節線，及本院部門至其他醫院相對應類似部門節線兩種，表示物資以醫院部門為出發點進行配送。節線之起迄時窗、流量上下限及成本之設計上，皆與第二項起點為地區倉庫之物流節線類似，不再贅述。有關上述本院部門至其他醫院相對應類似部門節線的設計，在理論上，本院部門亦可連接至其他醫院的其他部門，但為避免問題規模因而擴得太大，且造成實際作業的混亂，因此本研究在此處僅設計連接至相對應之類似部門。至於未來在使用上，使用者若有需要，仍可適當修正、增設本院部門至其他醫院的其他部門節線。

## 2. 滯留節線

為地區倉庫／醫院／醫療部門之物資在相同地點但不同時間的時空連結線，指物資在某地點停留一段時間。節線流量上限表示地區倉庫／醫院／醫療部門最多可滯留的物資總數。下限為地區倉庫／醫院／醫療部門之最低安全存量，代表在該時段中物資滯留量必須大於此最低安全存量設定值。節線成本為單位存貨在該滯留時間的持有成本，亦即為各地區倉庫、醫院、醫療部門在滯留時間內，因持有單位存貨而產生的物資庫存成本。

值得一提的是，本研究模式之合約供應商「緊急」服務節線（如圖 2(g)），係用來反映在緊急的情況下，醫療物資可直接由合約供應商將物資送達需求醫院，進行院內配送使用，不必依照一般醫院物流流程（即經由地區倉庫、醫院倉儲及需求部門的流程）配送。同樣的，模式中之非合約供應商「緊急」服務節線（如圖 2(h)），係用來反映在緊急的情況下，可跳脫政府採購法直接透過非合約供應商之物資支援。換言之，在一般的正常醫療輸配送模式中，應不可構建此等節線。除此之外，本研究模式中亦加入不同醫院間之物資流動節線、同一醫院內不同部門之物資流動節線，及不同醫院間但相同部門之物資流動節線（如圖 2(c)、(e)、(f) 所示），用來反映在緊急的情況下，醫療物資可在不同醫院間、同一醫

院但不同部門間，及不同醫院但相同部門間調派。同樣的，在一般的正常醫療輸配送下，業者通常不考量此等單位間物資的調派，因此在一般的正常醫療輸配送模式中，應不宜構建此等節線。總而言之，適當地加入此等緊急情況下特殊的物資調派節線後，本研究模式將不同於一般的醫療輸配送模式，而是具有緊急資源調派的決策功能，能滿足短期需求變動下醫療物資輸配送的決策需要。

### 2.3 符號說明

參數定義：

- $co_{ij}^k$  : 第  $k$  層物流網路中，除合約／非合約供應商緊急服務節線外之節線  $(i, j)$  之單位物流成本。
- $cs_{ij}^k$  : 第  $k$  層物流網路中，合約／非合約供應商緊急服務節線  $(i, j)$  之單位物流成本。
- $a_i^k$  : 第  $k$  層物流網路中，第  $i$  時空點之供給或需求量(當  $a_i^k$  大於 0 時為供給量，表示供應商供給量或各地區倉庫、醫院及醫療部門之初始供給量；當  $a_i^k$  小於 0 時為需求量，表示各時空點之物資需求量)。
- $um_{ij}$  : 各地區倉庫、醫院及醫療部門對應滯留節線  $(i, j)$  時段之最大存量值。
- $u_{ij}^k$  : 第  $k$  層物流網路中，節線  $(i, j)$  之流量上限。
- $l_{ij}^k$  : 第  $k$  層物流網路中，節線  $(i, j)$  之流量下限。
- $K$  : 物流網路層之集合。
- $AM^k$  : 第  $k$  層物流網路中所有節線之集合。
- $NM^k$  : 第  $k$  層物流網路中所有節點之集合。
- $AS^k$  : 第  $k$  層物流網路中，供應商緊急服務節線之集合。
- $AO^k$  : 第  $k$  層物流網路中，除供應商緊急服務節線以外之所有節線集合。
- $AG^k$  : 第  $k$  層物流網路中，所有滯留節線之集合。
- $R^k$  : 第  $k$  層物流網路中，地區倉庫對應之節點集合。
- $H^k$  : 第  $k$  層物流網路中，醫院對應之節點集合。
- $D^k$  : 第  $k$  層物流網路中，醫療部門對應之節點集合。
- $S^k$  : 第  $k$  層物流網路中，合約／非合約供應商對應之節點集合。
- $INT$  : 所有非負整數的集合。

變數定義：

- $x_{ij}^k$  : 第  $k$  層物流網路中，除合約／非合約供應商緊急服務節線以外之所有節線  $(i, j)$  之流量 (單位：當量)。
- $y_{ij}^k$  : 第  $k$  層物流網路中，合約／非合約供應商緊急服務節線  $(i, j)$  之流量 (單位：當量)。

## 2.4 數學定式

$$\text{Min} \quad \sum_{k \in K} \sum_{ij \in AO^k} co_{ij}^k x_{ij}^k + \sum_{k \in K} \sum_{ij \in AS^k} cs_{ij}^k y_{ij}^k \quad (1)$$

$$\text{ST} \quad \sum_{j \in R^k \cup H^k \cup D^k} x_{ij}^k + \sum_{r \in H^k} y_{ir}^k - \sum_{p \in S^k \cup R^k \cup H^k \cup D^k} x_{pi}^k - \sum_{c \in S^k} y_{ci}^k = a_i^k \quad i \in NM^k, \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ij}^k \leq um_{ij} \quad ij \in \bigcup_k AG^k \quad (3)$$

$$l_{ij}^k \leq x_{ij}^k \leq u_{ij}^k \quad ij \in AO^k, \forall k \in K \quad (4)$$

$$l_{ij}^k \leq y_{ij}^k \leq u_{ij}^k \quad ij \in AS^k, \forall k \in K \quad (5)$$

$$x_{ij}^k \in INT \quad ij \in AO^k, \forall k \in K \quad (6)$$

$$y_{ij}^k \in INT \quad ij \in AS^k, \forall k \in K \quad (7)$$

本模式可定式為一整數多重貨物網路流動問題<sup>5</sup>，目標式 (1) 為醫療系統總物流成本最小化，其中目標式第一項成本考量除合約／非合約供應商緊急服務節線以外之所有節線的物流成本；目標式第二項成本考量合約／非合約供應商緊急服務節線的物流成本。限制式 (2) 為節點流量守恒限制式，考量含合約及非合約供應商緊急服務節線下之流量守恒限制條件。限制式 (3) 為醫療系統下各地區倉庫、醫院、醫療部門之容量限制式，表示各層物流時空網路中所對應同一時段之滯留節線流量加總，必須小於或等於該場站的最大容量限制。限制式 (4) 表示物流時空網路中除合約／非合約供應商緊急服務節線外之所有節線流量上、下限限制式。本模式於滯留節線下限部分（即最小安全存量）加入緩衝值的概念，以期提高安全存量值，預防相關隨機性變動導致存貨不足之問題。未來業者在使用模式上，可依據其實際之需求與營運情況調整各滯留節線下限。限制式 (5) 為合約／非合約供應商緊急服務節線之流量上、下限限制式。限制式 (6) 為除合約／非合約供應商緊急服務節線外所有節線之流量整數限制式。限制式 (7) 為合約／非合約供應商緊急服務節線流量之非負整數限制式。

目前，X 醫療系統與其合約供應商在簽訂年度契約中，已考量大量訂購的折扣價，因此在短期每次進貨的單價計算上，皆採一固定價格，此與部分供應商會針對每一次大額訂購上所採的折扣作法不同。若未來其他醫療系統在應用上考量單一訂購的折扣關係時，則可修正本模式目標函數 (1)，以符合實際的營運狀況。例如：當合約／非合約供應商之非緊急訂購量的售價，會隨著訂購量增加而減為  $co_{ij}^k - 0.05x_{ij}^k$  時，則目標式可修正為  $\sum_{k \in K} \sum_{ij \in AO^k} (co_{ij}^k x_{ij}^k - 0.05(x_{ij}^k)^2) + \sum_{k \in K} \sum_{ij \in AS^k} cs_{ij}^k y_{ij}^k$ 。另外，X 醫療系統因屬長期客戶，因此在

5. 本模式主要引用自本研究團隊之前所開發的確定性需求模式（曹智翔<sup>[27]</sup>），讀者可參考其細部設計與說明。

與合約供應商的年度契約中，每次訂購數量並無最小量限制。但如當實務上有其他政策考量，需限定每次訂購有一最小量限制時，則可於合約／非合約供應商服務節線流量限制式修改為其流量下限值  $l_{ij}^k$ 。

## 2.5 動態決策架構之應用與調整

在醫療物資輸配送模式中，本研究針對醫療物資需求量之擾動特性，以「動態決策架構」即時更新需求量，並依序以此更新之物資需求量，執行醫療物資輸配送作業模式，以適當地減少未來需求量因預測誤差的影響，求得更符合實際需求擾動狀況下之醫療物資輸配送結果。在此架構下，模式的分析期分為決策期階段與參考期階段。決策期內視為已確定的物資輸配送作業範圍，參考期內之物資輸配送結果，則提供為下一階段模式執行時的參考數值。模式應用上，隨著時間點到達第一階段之決策期終了時，決策者需重新修正第二階段決策期與參考期之物資需求量，並進行模式求解，以求得第二階段決策期與參考期之結果。如圖 1 所示，第一階段之決策期 Day 1 終了時，第一階段之參考期 Day 2 則成為第二階段之決策期，而其需求亦從較不明確之需求變成較明確之需求，至於 Day 2 之後的需求仍較不明確。目前 X 醫療系統的實務作法上，在 Day 1 終了前，係由各院所回報各自部門之現有存貨與需求至醫療系統之聯合決策中心。因此，本研究動態決策架構的作法上，亦參考實務的作法，係假設各院所及各自部門之現有存貨與需求（含 day 2 及未來日），可透過回報獲得，以供決策者重新修正第二階段決策期與參考期之物資需求量。此部分在未來可研究開發一需求預測方法與決策支援輔助系統，以供業者即時更新物資存量，並有效地預測醫院各部門之未來各日需求，以輔助模式的求解，進而提升決策的效度 (effectiveness)。後續階段續依此方法進行，直至疫情結束。值得注意的是，當每一階段重新修正物資需求量並進行求解後，在進行下一階段求解前，原階段決策期末所規劃之物資輸配送結果中各節線指派需求量，若大於修正後需求量時（指下一階段決策期開始時空點的需求量），則多餘的物資將會儲存，以提供後續時點使用；當原規劃物資輸配送節線指派需求量小於修正後需求量時，則決策者必須即時提供額外的物資供給。依 X 醫療系統的現況作業，此額外供給來源與優先順序為：(1) 醫療部門滯留存量；(2) 醫院倉儲滯留存量；(3) 合約供應商緊急的物資供給；(4) 非合約供應商緊急的物資供給，以進行此額外物資之供給作業，並修正此決策期之目標值。最後，當此動態決策架構結束時，只要加總各階段決策期之修正目標值，即可求得此緊急疫情整個時期之實際目標值。

## 2.6 隨機性需求模式之初探

近年來，考量現實環境中，未來的需求量有可能會隨許多隨機因素改變，而不為固定值，因此已漸有隨機性規劃 (stochastic programming) 的研究，用以改良傳統的確定性規劃 (deterministic programming)，以求得更為可靠的規劃解(例如可參考 Yan 等人<sup>[28]</sup>)。若以本研究的問題而言，隨機性需求模式與確定性需求模式（如本研究模式）的最大的差別在未

來需求的預測上；應用隨機性需求模式，需要預測一機率分布（含平均值、標準差、及分布型態），而應用確定性需求模式僅需要預測一平均值（二者在決策期內的需求皆為明確的固定值）。在理論上，預測一機率分布應較預測一平均值為難。目前本研究團隊已初步地將本研究確定性需求模式適當地延伸，構建一隨機性需求模式<sup>[27]</sup>，並發展求解演算法。然而，在未來需求的機率分布預測上，由於未有足夠的實際資料分析，因此在範例測試中仍參考實務規劃人員之經驗，除給定之平均需求外，僅簡單的假設此隨機性需求模式中參考期的需求呈截斷式常態分布（truncated normal distribution），並假設其標準差隨時間的遞增而遞增。

本研究所謂短期需求擾動的意義係指在短期營運中，受到大型的臨時事件，而在隨時間的遞延中，預定的需求會持續的變動（即預定的需求受「擾動」），其中決策期內的需求會變得明確，但參考期內的需求則由於離決策期尚有段時間，故在下一期中仍可能變動。因此，對短期需求變動的動態醫療物資輪配送問題而言，確定性模式與隨機性模式二者皆可配合動態決策架構，逐期更新各時空點的需求（應用確定性需求模式）或需求機率分布（應用隨機性需求模式），求解決策期及參考期的物資供給規劃，並執行決策期內的物資調度，以處理短期需求變動下之動態醫療物資輪配送問題。簡言之，由於決策期內的需求明確，且可利用預測的平均需求以適當地反應未來的需求（此預測的需求在模式中的主要功能是提供資訊以預留未來緩衝物資之用），因此本研究的確定性需求模式，在配合動態決策架構下，可滿足決策期內的需求，並適當地預留緩衝物資給未來需求之用，故可有效地反映及處理短期需求變動下之動態醫療物資輪配送問題（至少較實務的作法為佳）。至於參考期內的需求雖仍不明確，但因為時間尚未迫近（尚未落入決策期內），不需馬上滿足該等需求，因此確定性需求模式中，雖對參考期內的需求設為一預測的平均值，但亦可適當地提供資訊以規劃預留的緩衝物資，使此等需求在落入決策期時能更易於處理。由此點亦可知，若決策期內的需求仍不明確，而呈隨機現象，則確定性需求模式將較難應用（或效果較差），可能無法完全滿足決策期內的需求，而宜發展隨機性需求模式以求得較可靠的解。

在已知未來各時空點的需求機率分布下，隨機性需求模式在理論上是更能完整地掌握未來隨機需求對系統供給之影響（即更有效地預留緩衝物資），而做出更有效的決策。目前本研究團隊曾以初步所構建的隨機性需求模式，在參考實務規劃人員之經驗，假設參考期的需求呈截斷式常態機率分布（含給定的需求平均值及假設的標準差）下，測試並比較其與確定性需求模式及人工經驗作法的求解績效差異，發現隨機性需求模式的確優於確定性需求模式及人工經驗作法。此結果顯示，考量完整的需求機率分布的隨機性需求模式，比較於僅考量平均需求的確定性需求模式，的確能在醫療物資輪配送的決策上更有效地預留緩衝物資，以解決未來變動的需求。然而，由於此等測試及比較結果係基於未來需求為截斷式常態分布（含給定的需求平均值及假設的標準差）的假設而得，其實際的成效仍需等能預測到未來需求的實際機率分布後，始得以驗證，因此目前此成果僅止於理論的探討。綜合而言，隨機性需求模式的有效應用前提，是對未來各時空點的需求，業者需能預測一可靠的隨機分布。然而，目前實務界與學術界在此等隨機需求預測的探討上，除上述本研



究團隊在測試初步構建之隨機性需求模式中，曾經簡單地假設一需求機率分布外，甚少發現有相關的研究。據本研究訪談實務界的經驗，發現一般實務界在處理未來需求的預測上，僅由相關部門大概地估計一平均需求並回報（如 X 醫療系統），並未能預測一可靠的隨機需求分布（此分布應跟臨時事件特性及當時的社經環境相關），因此在缺乏實際的需求機率分布下，隨機性需求模式在目前實務的應用上較確定性需求模式為難，亦無法與現況實務作法比較（相對的，本研究確定性需求模式的輸入需求條件，與實務現況作法的輸入條件相同，故可適當地比較其間求解的差異）。換言之，隨機性需求模式的發展在現階段僅限於理論的探討，在模式的實務應用上，此模式仍待未來能有效地預測各時空點需求的隨機分布後，才能進一步落實。因此本研究建議現階段的模式發展與應用，仍宜以確定式需求模式為主，待其應用成熟後，再探討隨機需求分布的預測課題（例如如何有效地預測未來各時空點的需求機率分布等），在獲得可靠的需求機率分布後，可以進一步修正本研究團隊初步構建之隨機性需求模式<sup>[27]</sup>，或參考本研究之確定性需求模式，適當地發展其他較可靠的隨機性需求模式，並比較確定性需求模式的實用差異。

### 三、範例測試

為測試本研究所發展之模式及動態決策架構於實際應用可能的績效，本研究以 X 醫療系統之營運資料為例，進行模式測試及分析。本研究在 Microsoft Windows 之作業平臺下，以 Visual Studio C++ 6.0 撰寫 C 語言程式，結合 CPLEX 10.0 數學規劃軟體進行模式構建與求解，並於 INTEL P4 2G，1Gb RAM 之個人電腦進行運算。

#### 3.1 資料輸入分析

本研究參考 X 醫療系統在 2003 年度 SARS 緊急疫情之作業，假設一類似疫情共延續 30 天（編號第 1 天、第 2 天、...、第 30 天），並以其相關營運資料為依據，進行測試。此測試資料含需求醫療部門之物資需求量資料，配送及存貨成本資料與各個醫療院所所需相關參數資料等。其中關於需求資料取得的部分，由於 X 醫療系統緊急疫情爆發階段之防疫物資需求資料取得不易，因此本研究參考 2003 年 SARS 時期 X 醫療院所各物資需求量之歷史資料為依據，推估得到各天各時段之物資需求量。另外，在動態決策架構中，針對醫療物資需求量之擾動特性進行需求量即時更新作業上，本研究參考 X 醫療系統規劃人員的建議，假設比較前一回合下每一回合需求量的最大變動百分比為 10%，以在合理的範圍內變動及更新需求量。至於成本方面，本研究模式中所需的成本資料包括每單位物資之購買成本、滯留成本及運送成本，此等資料係參考 X 醫療系統於 2003 年度 SARS 緊急疫情時期之市場報價，並做適當的假設及推估。其餘醫療院所所需之最小安全存量、最大容量限制等資料，則由於資料取得不易，因此本研究經訪談 X 醫療系統規劃人員後，適當地假設此等數值作為模式測試之輸入。未來業者在應用模式時，可依實際狀況而設定上述資料或參數值。

### 3.2 測試結果與分析

本研究利用動態決策觀念執行模式，針對醫療物資需求量之擾動特性，每天進行需求量即時更新作業並執行模式。由於在動態決策觀念下，各階段結果若要一一列舉則相當繁多，因此本研究僅分別取出分析期開始日期為第 1 天、第 6 天、第 10 天、第 26 天、第 30 天等較具代表性之分析期進行比較，至於其餘結果則不贅述。此測試的網路模式規模最大達 5 層物流作業時空網路、15,395 個節點、87,525 條服務節線、及 15,300 條其他節線；數學模式的規模最大達 102,825 變數、15,395 流量守恆限制式、3,060 個容量限制式、及 102,825 流量上下限制式。由圖 3 所示，隨著疫情影響狀況漸趨緩和，目標值呈現逐漸下降的趨勢。此目標值為整個分析期（包含決策期與參考期階段）範圍之所有物資輸配送節線結果。另外，由表 1 可得知模式之求解時間相當快速，皆在 60 秒之內求解完，最長之求解時間為 53 秒（第 4 天），最短僅需 0.5 秒（第 30 天）。探究其差異原因乃由於在疫情影響初期階段中，大部分物資輸配送節線皆需納入模式中決策，因此模式變數較多，求解相對較困難，而愈後面的階段因需求決策的輸配送節線愈少，變數量亦隨之減少，故目標值與求解時間亦相對的減小。在表 1 的安全存量結果中，可發現模式求解第一分析期結束後之平均存量值，略大於所設定之最低安全存量約 15.58%，探究其原因發現第一分析期的決策時間較緊迫，其醫療物資供給量較需超過其需求量，以滿足後續分析期的需求，因此有多餘之存量產生。而隨著疫情發展愈後面階段求得之存量值皆與所設定之安全存量值相同，顯示藉由動態決策架構的應用，可有效地應用物資，減少不必要的存貨量。

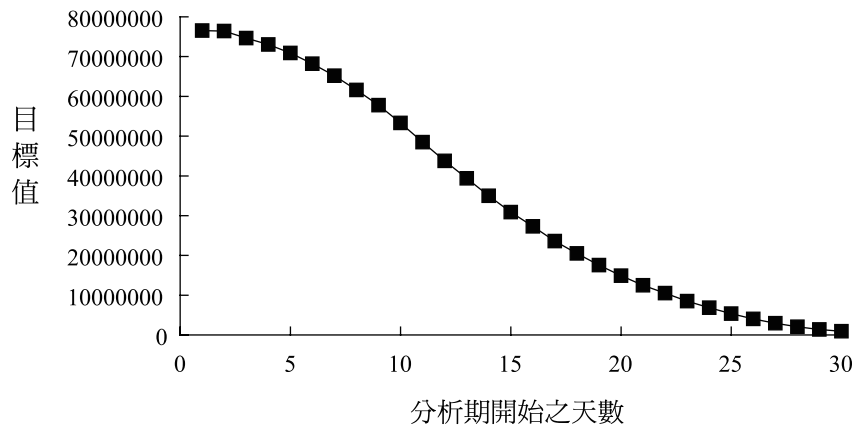


圖 3 各分析期之目標值

表 1 中各分析期之目標值，皆是在部分物資需求量資訊不明確（指參考期階段）的情況下所求得之結果；換言之，各天之結果包含物資需求量資訊明確之決策期階段，與物資需求量資訊不明確之參考期階段兩部分。由此可知，表 1 中各天之目標值，並不是實際物

資輸配送作業之目標值。因此，本研究重新計算各天決策期內之實際目標值，結果如表 2 所示。我們可以發現隨著疫情發展，決策期目標值呈現先上升，之後隨著疫情逐漸達到控制而呈現下降的趨勢。探究其原因發現，乃當疫情發展初期，由於物資需求量大，一時存貨不足，需由系統外大量輸入，因此目標值呈現上升之趨勢，但當疫情發展漸趨晚期時，疫情逐漸達到控制，物資需求量愈少，加上先前已輸入之存貨，因此目標值呈現下降的趨勢。

表 1 不同分析期下之目標值

分析期開始之天數	1	6	10	26	30
目標值	76,525,800	68,196,900	53,322,100	4,034,840	941,617
求得之平均存量(單位)	7,150	6,186	6,186	6,186	6,186
設定之安全存量(單位)	6,186	6,186	6,186	6,186	6,186
求解時間(秒)	33	44	31	2	~0
收斂間距(%)	0	0	0	0	0

表 2 不同天數下之決策期目標值

分析期開始之天數	1	6	10	26	30	Total
決策期目標值	264,430	3,342,580	5,362,630	1,270,800	941,617	83,970,665

本研究除求解上述醫療物資輸配送模式外，為有效比較實務規劃與本研究模式之差異，本研究更進一步利用 3.1 節之物資需求量，並參考 X 醫療系統規劃人員的經驗指派作法（依第 3 頁第 2 段所述之指派原則），假設人工判斷完全正確的情況下（即完全依照上述的指派原則以滿足所有的物資需求下），每日進行物資之指派以滿足所有需求，進而求得實務規劃之結果。結果如表 3 所示，整個疫情結束後，醫療物資輸配送模式之實際目標值 (83,970,665) 較實務規劃求得之目標值 (86,334,736) 為佳，兩者目標值相差 2,364,071，相差幅度為 2.815% ( $(86,334,736 - 83,970,665) / 83,970,665$ )。探究其原因發現，實務規劃利用人工調整策略所進行之物資輸配送決策，係就個別的需求依給定物資來源的順序進行指派處理，缺乏系統最佳化分析，難以充分使用整體的資源，故結果較本研究模式差。值得一提的是，實務之作法係利用人工的經驗判斷，除缺乏效率外，其所求得的解品質亦難以掌握，尤其在時間的壓力下，判斷容易出錯（例如對某一順序未完全判斷可解決該需求前，即選擇下一順序），常難以有效地運用系統內部的現有資源，而導致求解不佳。從數學面而言，在給定相同的條件與參數下，即使決策者能依上述的指派原則而完全無誤地判斷與處理所有需求，則依此人工的指派原則所求得的解（為一啟發解），仍僅為模式之一可行解，並非為最佳解，有可能為不佳的可行解（因為未考量整體資源的有效使用，而此為一般人

工經驗作法的普遍缺點，可參考 Yan 與 Yang<sup>[17]</sup> 或 Yan 與 Lin<sup>[18]</sup> )。而本研究發展的模式可配合模式目標與營運限制，系統性地考量整體資源的調派，並配合電腦演算法的高運算效率，正可輔助決策者以改善此等缺點。上述的測試結果顯示，即使在人工判斷可完全正確的情況下（實際上在短時間的決策壓力下常常會出錯），本研究模式的求解績效仍較實務作法為佳。

表 3 模式比較分析結果

方 法	醫療物資輸配送模式	實務規劃
實際目標值	83,970,665	86,334,736
與醫療物資輸配送模式目標值差距 (%)	----	2.815

另外，為更進一步了解模式中相關參數對模式決策之影響，本研究亦針對最低安全存量值、醫療院所初始存量值、合約供應商物資供給量及非合約供應商物資供應成本等重要參數進行敏感度分析。至於其他的參數分析或方案分析，可以類似作法在未來探討。

#### 1. 最低安全存量值變動

由於最低安全存量之設定標準於緊急疫情爆發時，為物資即時供給足夠與否的關鍵，因此本研究針對最低安全存量進行測試，分析最低安全存量變動對於模式目標值之影響。結果如圖 4 所示，當最低安全存量由 100% (表示原輸入值) 上升至 120% (表示為原輸入值之 1.2 倍) 時，目標值下降幅度約為 1.373%，當最低安全存量由 100% 上升至 200% 時，目標值下降幅度達 6.358%；當最低安全存量由 100% 下降至 80% 時，目標值上升幅度約為 1.314%，當最低安全存量由 100% 下降至 0% 時，目標值上升幅度達 6.068%。此結果顯示在面對緊急疫情爆發上，愈大的最低安全存量愈能節省成本之支出。此外，由每個方案的內部解發現，隨著醫療院所最低安全存量的增大，疫情影響初期階段各醫療院所之安全存量逐漸增加，其決策期目標值亦逐漸增加，並非如整體目標值 (即累加各階段決策期目標值) 呈現下降的趨勢。然而，隨著時間的延續，各醫療院所之安全存量逐漸減小至設定之最低安全存量標準，加上原各時點安全存量值的提高，而降低其他較高成本之物資輸配送節線服務機率 (尤其減少供應商緊急服務節線之物資配送量)，因而造成後續階段決策期的目標值有逐漸減少的現象。

#### 2. 醫療院所初始存量值

在緊急疫情爆發初期階段，醫療院所現存之物資供應量可提供部分所需以緊急供應給病患，其數量的多寡，對初期的物資供給的效益有相當的影響。為了解各醫療院所在緊急疫情爆發初期階段之初始存量值，對於醫療系統整體營運成本的影響，本研究針對醫療院所初始存量值進行測試，而在疫情影響結束時點上，則仍維持最低的安全存量。目前本研究採用之初始存量值為醫院規範之正常存量值，至於初始存量值若低於正常存量值時，

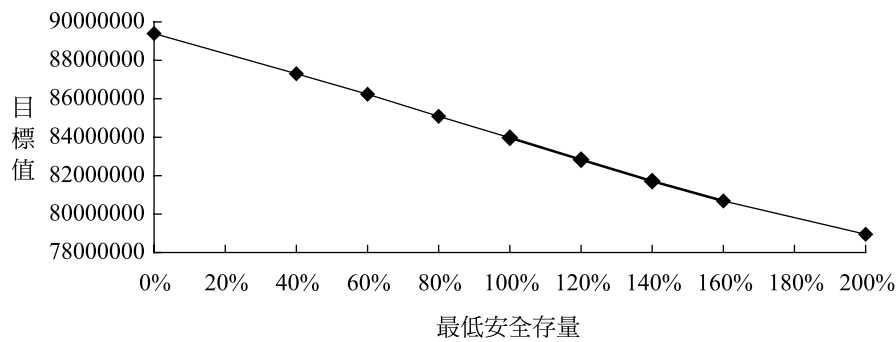


圖 4 最低安全存量敏感度分析

則醫療院所會進行補貨以維持正常營運，因此此部分僅針對初始存量之增加方向進行測試分析。

結果如圖 5 所示，隨著醫療院所初始存量的增大，發現有部分物資輸配送節線流量變小或變為 0，因而使總物流成本有逐漸減少的現象。當初始存量由 100% 增加至 150% 時，目標值由 83,970,665 下降至 83,758,296，下降幅度約 0.253%；當初始存量由 150% 增加至 200% 時，目標值下降至 83,442,896，下降幅度達 0.377%，較前者大。探究其原因發現，當初始存量為 200% 時，足以滿足物資需求量，不必經由其他較高成本之物資輸配送節線配送物資，雖然會造成多餘之物資滯留於醫療院所而增加存貨持有成本，但滯流之存貨持有成本相對較小，因此當初始存量變動率為 200% 時，求解結果較好。此外，當初始存量為 150% 及 200% 時，發現疫情影響初期 2 天所得之目標值皆有下降現象，但第 3 天後之目標值與初始存量為 100% 時完全一樣，沒有造成影響。表示在緊急疫情爆發前，若醫療院所存有較多之物資供應量，則不僅可即時服務需求病患，且在疫情影響初期可適當減少總物流成本。雖然上述結果顯示，緊急疫情爆發前若醫療院所存有較多之物資供應量，則可適當減少疫情影響初期之總物流成本，但此將增加其平時的存貨成本。因此，未來業者在設

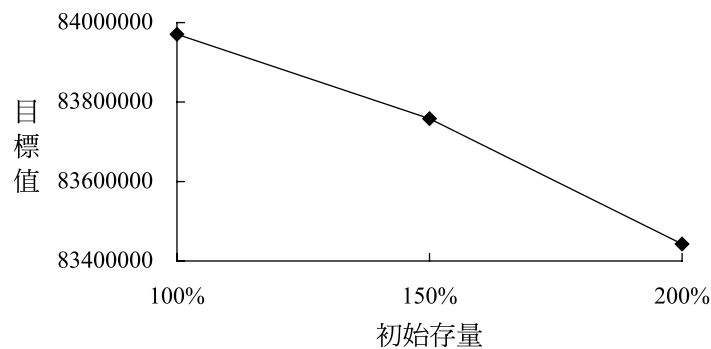


圖 5 醫療院所初始存量值方案分析

定平時存貨量上，可依其實際的營運狀況，綜合考量正常的需求與臨時意外事件的發生機率及臨時需求，以設定較穩健的存貨量。

### 3. 合約供應商物資供給量

合約供應商物資供給的上限量，直接影響醫療系統在面臨緊急疫情狀態之整體營運成本，為醫療系統規劃單位之重要因素。為了解合約供應商物資供給上限量對於醫療系統整體營運成本的影響，本研究針對此物資供給上限量進行敏感度分析。結果如圖 6 所示，隨著合約供應商供應上限量的增加，部分非合約供應商緊急服務節線結果變為 0，且部分配送量有減少的趨勢，使得總物流作業成本有逐漸減少的現象。當物資供應上限量由 100% 至 120% 時，目標值由 83,970,665 下降至 83,505,196，下降幅度約為 0.554%，當上限量增至 140% 時，下降幅度約為 1.204%；當物資供應上限量由 100% 降至 80% 時，目標值由 83,970,665 上升至 86,181,296，上升幅度達 2.633%，當上限量降至 60% 時，上升幅度達 7.028%。探究其原因為物資需求量在合約供應商可供給上限量內時，成本較低之合約供應商緊急服務節線提供主要物資供給來源（除內部調度外），因此在合約供應商物資供應不足以滿足醫療系統之物資需求量時，才會透過非合約供應商提供支援，我們由內部解亦可發現，當合約供應商物資供給上限量增加時，相對地部分非合約供應商緊急服務節線之配送量有減少的趨勢，使得目標值呈現下降的現象；相反地當合約供應商物資供給上限量減少時，非合約供應商緊急服務節線之配送量有增加的趨勢，使得目標值呈現增加的現象。

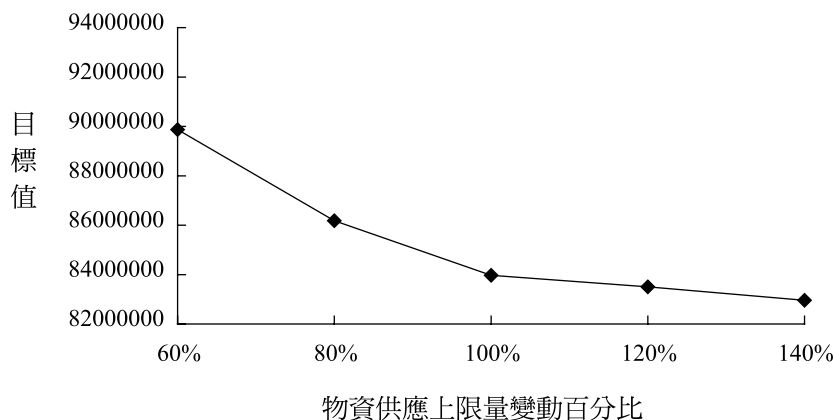


圖 6 合約供應商物資供應上限值敏感度分析

### 4. 非合約供應商物資供應成本

當合約供應商物資供應不足以滿足醫療系統之物資需求量時，非合約供應商可提供緊急之外部支援。因為無合作簽約關係可保障物資的供應價格，所以非合約供應商的緊急服務節線成本，比合約供應商的緊急服務節線成本高。在上述測試中，本研究係以合約供應商物資購買成本之 2 倍設定其值，為檢視其值對於醫療系統整體營運成本的影響，本研究針對非合約供應商的物資供應成本進行敏感度分析。結果如圖 7 所示，隨著非合約供應商

物資供應成本倍率的增加目標值逐漸上升。其中，當物資供應成本由倍率 2 增加至倍率 3 時，目標值由 83,970,665 上升至 89,586,151，上升幅度約為 6.687%；而由倍率 2 增加至倍率 4 時，目標值上升至 95,201,637，上升幅度達 13.375%。由目標值差距可發現，隨著非合約供應商物資供應成本倍率的增加，目標值以近似正比趨勢呈現，原因乃透過非合約供應商支援而滿足的需求，已無法透過其他管道（內部調度與合約供應商）支援，因此，非合約供應商物資供應成本的增加，將直接累加於系統總成本。此亦顯示非合約供應商的物資供應成本並非醫療系統本身可控制的，當其值越大時，醫療系統若要滿足所有的需求時，就必須付出更大的系統成本。

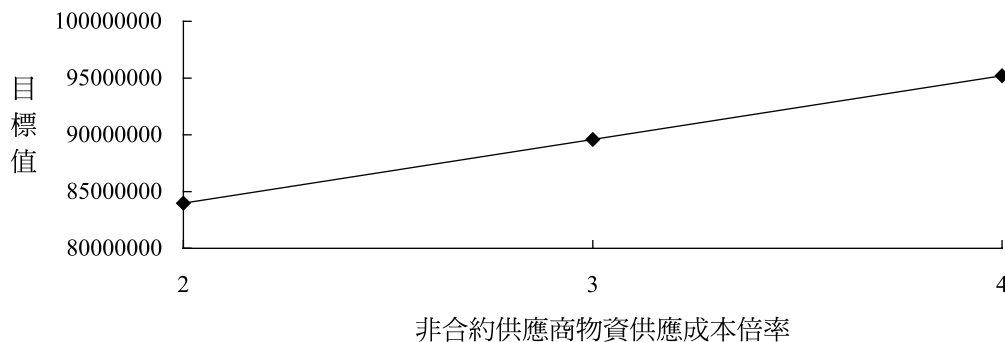


圖 7 非合約供應商物資供應成本敏感度分析

#### 四、結論與建議

目前醫療院所之短期物資輸配送作業規劃上，係由醫療系統成立之聯合決策中心以人工的經驗來制定，此作法不具系統性分析，且相當依賴相關作業人員的主觀判斷，因此常可能導致不佳的決策。尤其，當疫情爆發時，物資需求可能突然大量增加，現有的決策作法不易有效地調整現有的資源以因應擾動事件。另外，以往未曾發現與此問題直接相關之研究，因此本研究針對疫情發生時，在給定各時點的預期物資需求下，考量各醫療院所的存貨容量限制、物資運送量及其他相關限制，利用時空網路流動技巧，構建一醫療物資輸配送模式。為考量物資需求量隨疫情影響時間與疫情擴散程度而擾動變化，對緊急疫情爆發下之醫療物資輸配送作業造成影響，適當地減少未來需求量因預測誤差的影響，故本研究提出一「動態決策架構」，針對醫療物資需求量之擾動特性先進行需求量的即時更新作業，再以此更新之物資需求量依序執行醫療物資輸配送作業模式，以求更符合實際需求擾動狀況下之醫療物資輸配送方案。最後測試結果發現，本研究模式及動態決策架構，能有效調整現有的資源，以幫助醫療業者有效進行醫療物資輸配送規劃，作為業者緊急物資輸配送規劃的參考。另外，為比較實務規劃作法與本研究模式之差異，本研究更進一步參考

實務作法，求得實務規劃之結果。結果發現本研究模式之結果較實務規劃的作法為佳，改善比例為 2.815%。另外，為更進一步了解模式中相關參數對模式決策之影響，本研究亦針對最低安全存量值、醫療院所初始存量值、合約供應商物資供給量及非合約供應商物資供應成本等重要參數，進行敏感度分析。綜合而言，本研究之模式、動態決策架構、測試結果及敏感度分析，皆可提供為業界與學術界之參考。

本研究針對的疫情發生下短期醫療物資輸配送作業規劃問題，為非常複雜的系統分析問題，在短時間內需同時處理供需面及醫療系統之整體物資調度，在以往亦甚少有類似的研究，因此為適當地降低研究的複雜性，本研究假設需求面的資料已給定。此在目前實務現況中，業者（如 X 醫療系統）的需求擷取與預測較無效率的情形下，本模式的效果可能較有限，然而本研究的方法與模式在學術上為一創新的作法，不失為實務界之參考，以引導其未來改善之方向。換言之，由於本研究模式的輸入資料含有較動態且不確定的需求資訊，因此若實務的人工判斷作法無法有效地預測未來需求，則未來可配合較可靠的需求預測方法（如 probability model<sup>[23]</sup>、neural network<sup>[24]</sup>、kevin filter<sup>[25]</sup> 及 gray theory<sup>[26]</sup> 等）以改良現況人工經驗的預測方法，進而提升模式使用的有效性，相信可更有效地幫助業者緊急醫療物資之輸配送作業，而此等需求之預測應可為未來研究的方向。另外，在已知未來各時空點的需求機率分布下，隨機性需求模式在理論上是更能完整地掌握未來隨機需求對系統供給之影響（即更有效地預留緩衝物資）。目前本研究團隊曾以初步所構建的隨機性需求模式，在參考實務規劃人員之經驗，假設參考期的需求呈截斷式常態機率分布（含給定的需求平均值及假設的標準差）下，測試並比較其與確定性需求模式的求解績效差異，發現隨機性需求模式優於確定性需求模式，的確能在醫療物資的輸配送決策上更有效地預留緩衝物資，以解決未來變動的需求。然而，由於此等測試及比較結果係基於未來需求為截斷式常態分布（含給定的需求平均值及假設的標準差）的假設而得，其實際的成效仍待能預測未來需求的實際機率分布後，始得以驗證，因此建議未來學界能進一步探討如何有效地預測未來各時空點的需求機率分布。在獲得可靠的需求機率分布後，可以進一步修正本研究團隊初步構建之隨機性需求模式<sup>[27]</sup>，或參考本研究之確定性需求模式，適當地發展其他較可靠的隨機性需求模式，並比較確定性需求模式的實用差異。最後，本文初步地探討此複雜之即時管理問題，希望能拋磚引玉，引起國內更多專家學者注意，共同探討、研究此問題，期能提升國內緊急疫情下醫療系統的服務品質。

## 參考文獻

1. Kowalski, J. C., "Inventory to Go: Can Stockless Deliver Efficiency?" *Healthcare Financial Management*, Vol. 45, No.11, 1991, pp. 21-34.
2. Frederick, J. B., "The Management of the Supply Chain for Hospital Pharmacies: A Focus on Inventory Management Practices", *Journal of Business Logistics*, Vol. 16, 1995, pp.153-174.
3. Dellaert, N. and Poel, E., "Global Inventory Control in an Academic Hospital", *International*



- Journal of Production Economics*, Vol. 46, 1996, pp. 277-284.
4. 魏碧芳，「應用及時配送與無庫存系統在醫院物料管理之研究」，國立中央大學工業管理研究所碩士論文，民國八十六年。
  5. 王忠漢，「災區緊急醫療資源之機動配送管理研究」，雲林科技大學工業工程與管理研究所碩士論文，民國九十年。
  6. 張楊全，「醫院物流配送作業之新模式臺大醫院結合院外與院內物流之無償配送」，國立臺灣大學管理學院商學研究所碩士論文，民國九十一年。
  7. Danas, K., Ketikidis, P., and Roudsari, A., "A Virtual Hospital Pharmacy Inventory: An Approach to Support Unexpected Demand", *International Journal of Medical Marketing*, Vol. 2, No. 2, 2002, pp. 125-129.
  8. Liz, B. and Helen, C., "Improving the Pharmaceutical Supply Chain-Assessing the Reality of E-Quality through E-Commerce Application in Hospital Pharmacy", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 6, 2005, pp. 572-590.
  9. 陳祈宏，「感染症防治醫療網防疫物資配送管理模式建構—以嚴重急性呼吸道症候群為例」，雲林科技大學工業工程與管理研究所碩士論文，民國九十四年。
  10. Kemball-Cook, D. and Stephenson, R., "Lessons in Logistics from Somalia", *Disasters*, Vol. 8, 1984, pp. 57-66.
  11. Ardekani, S. A. and Hobeika, A., "Logistics Problems in the Aftermath of the 1985 Mexico City Earthquake", *Transportation Quarterly*, Vol. 42, 1988, pp. 107-124.
  12. Knott, R., "Vehicle Scheduling for Emergency Relief Management: A Knowledgebased Approach", *Disasters*, Vol. 12, 1988, pp. 285-293.
  13. Brown, G. G. and Vassiliou, A. L., "Optimizing Disaster Relief: Real-Time Operational and Tactical Decision Support", *Naval Research Logistics*, Vol. 40, 1993, pp. 1-23.
  14. Haghani, A. and Oh, S., "Formulation and Solution of a Multi-Commodity, Multi-Modal Network Flow Model for Disaster Relief Operations", *Transportation Research Part A*, Vol. 30, 1996, pp. 231-250.
  15. Barbarosog˘lu, G., Özdamar L., and Çevik A., "An Interactive Approach for Hierarchical Analysis of Helicopter Logistics in Disaster Relief Operations", *European Journal of Operational Research*, Vol. 140, 2002, pp. 118-133.
  16. Yan, S. and Shih, Y. L., "Optimal Emergency Roadway Repair and Subsequent Relief Distribution", *Computers and Operations Research*, Vol. 36, Issue 6, 2009, pp. 2049-2065.
  17. Yan, S. and Yang, D. H., "A Decision Support Framework for Handling Schedule Perturbation", *Transportation Research Part B*, Vol. 30, 1996, pp.405-419.
  18. Yan, S. and Lin, C. G., "Airline Scheduling for the Temporary Closure of Airports", *Transportation Science*, Vol. 31, 1997, pp.72-82.
  19. Yan, S., Bernstein, D., and Sheffi, Y., "Intermodal Pricing Using Network Flow Techniques", *Transportation Research Part B*, Vol. 29, 1995, pp. 171-180.
  20. Yan, S. and Chen, H. L., "A Scheduling Model and a Solution Algorithm for Inter-City Bus

- Carriers”, *Transportation Research Part A*, Vol. 36, 2002, pp. 805-825.
21. Yan, S., Chen, S. C., and Chen, C. H., “Air Cargo Fleet Routing and Timetable Setting with Multiple On-Time Demands”, *Transportation Research Part E*, Vol. 42, Issue 5, 2006, pp. 409-430.
22. Yan, S. and Chen, C. H., “Coordinated Flight Scheduling Models for Allied Airlines”, *Transportation Research Part C*, Vol. 15, 2007, pp. 246-264.
23. Garrido, R. A. and Mahmassani, H. S., “Forecasting Short-Term Freight Transportation Demand: Poisson STARMA Model”, *Transportation Research Board*, Vol. 1645, 1998, pp. 8-16.
24. Bansal, K., Vadhavkar, S., and Gupta, A., “Neural Networks Based Forecasting Techniques for Inventory Control Applications”, *Data Mining and Knowledge Discovery*, Vol. 2, 1998, pp. 97-102.
25. Hsu, C. I. and Wen, Y. H., “Improved Grey Prediction Models for Trans-Pacific Air Passenger Market”, *Transportation Planning and Technology*, Vol. 22, 1998, pp. 87-107.
26. Hu, S. R., Madanat, S. M., Krogmeier, J. V., and Peeta, S., “Estimation of Dynamic Assignment Matrices and OD Demands Using Adaptive Kalman Filtering”, *ITS Journal*, Vol. 6, 2001, pp. 281-300.
27. 曹智翔, 「短期需求擾動下動態醫療物資輸配送之研究」, 國立中央大學土木工程學系碩士論文, 民國九十六年。
28. Yan, S., Chi, C. J., and Tang, C. H., “Inter-City Bus Routing and Timetable Setting under Stochastic Demands”, *Transportation Research Part A*, Vol. 40, 2006, pp. 572-586.