

國立交通大學
運輸與物流管理學系

碩士論文

大量傷病患事故送醫策略之研究

Victim-to-Hospital Assignment Strategies after
Mass-Casualty Incidents

研究生：林佳螢

指導教授：張宗勝 教授

中華民國一〇七年八月

大量傷病患事故送醫策略之研究

A Victim-to-Hospital Assignment Strategies after Mass-Casualty
Incidents

研究生：林佳螢

Student：Jia-Ying Lin

指導教授：張宗勝

Advisor：Tsung-Sheng Chang



August 2018

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇七年八月

大量傷病患事故送醫策略之研究

研究生：林佳螢

指導教授：張宗勝 博士

國立交通大學運輸與物流管理學系碩士班

摘要

當發生大量傷病患事故時，該地區的醫療系統在短時間會湧入大量傷患，救護派遣員應在醫療資源有限且時間緊迫的情況下有效地指揮調度，將傷患指派至合適的醫院，否則傷患可能因為延誤就醫而死亡，然而現今緊急醫療救護系統並無明確的送醫策略，需取決於決策者的自身經驗，故本研究應用排隊理論建構符合大量傷病患事故環境之排隊網路，以呈現傷患會在檢傷點及醫院內等待接受服務的行為，除此之外，利用排隊網路的特性表現出醫院可接收的傷患數量並非一固定數值，會因傷患到達和醫療服務率而改變。

本研究提出六十四種不同策略，以模擬方法比較不同送醫策略，並分別給予中傷及重傷病患不同的衡量指標，重傷病患之衡量指標為存活率，中傷病患因為無急迫的生命危險，故以康復率作為衡量指標。

本研究根據 2016 年高雄美濃地震之資料進行實證分析，該次地震造成台南維冠金龍大樓倒塌並死傷慘重，透過模擬方法比較不同送醫策略之結果，給予派遣建議，以期在發生大量傷病患事故時，提供後送派遣員有利的策略參考。

關鍵字:大量傷病患事故、排隊理論、存活率、模擬方法

Strategies of Transporting Patients to Hospitals in Mass-Casualty Incidents

Student : Jia-Ying Lin

Advisor : Dr. Tsung-Sheng Chang

Department of Transportation and Logistics Management

College of Management

National Chiao Tung University

Abstract

After a mass-casualty incident, nearby hospitals are overwhelmed by the surge of victims. Many victims may thus die due to failing to efficiently and effectively utilize limited medical resources. Presents a logistical challenge to rapidly process a large number of casualties to definitive medical care. Hence, this research uses queueing network and simulation techniques to suggest efficient and effective victim-to-hospital assignment strategies to save most lives.

We model this problem as a queueing network to show the characteristic that patients wait for medical care at casualties collection points and hospital. Besides, queueing network also highlight the traits that the capacity of each hospital differs from time due to patients' arrival rate and medical service rate. We use the result of simulation to compare different strategies. The measurement of immediate patients is survival probability. In contrast of immediate patients, delayed patients are relatively stable and surely survive. Hence, we consider recover rate as delayed patients' measurement. According to the simulation results of different policies, we can give useful recommendation to the commander during mass-casualty incidents.

Last but not the least, we use the Kaohsiung Earthquake data in 2016 as numerical experience. A building in Tainan collapsed and many people died from the earthquake. We compare the historical result of patients assignment with the proposed strategies by simulation.

Key words: mass-casualty incidents, queueing theory, survival probability, simulation

誌謝

彷彿還是那年剛踏進校園的大一新生，一轉眼已將踏入職場。在交大的這幾年，學了很多知識，也成長很多，從一開始學習共同必修，漸漸地開始修習系上的專業科目，大學時和組員一同完成畢業專題，到現在獨立完成論文，每一步都是知識與經驗的累積，也從過程中體會到一篇論文的完成實屬不易，看似理所當然的內容背後可能是無數次的嘗試與失敗，也許幾經挫折，但都是成長的印記。

謝謝張宗勝老師不厭其煩地給予指導與協助，在老師身上看見了做研究所所需的嚴謹與態度，除了在研究上的指導，老師也不忘提點我們生活所需的應對進退，日後必受用無窮。謝謝石富元醫師、溫日華老師、王家禮老師給予我論文上的建議，使我的論文內容更加完整。

介東和佳宜，碩班生活因為你們更添了幾分色彩，我們一起討論時事、分享新知、互相學習、四處旅行，待人真誠的你們總是不吝給予讚美，遇到困難也總能給予客觀的分析，真的很幸運能有相互督促、相互學習的夥伴，十分珍惜這份得來不易的情誼。謝謝我的家人和男友，總是無條件地支持我的選擇，是我最強大的後盾。

回頭看這些年，在交大的日子過得非常充實精彩，謝謝交大給予豐富的學習資源，謝謝所有教導過我的師長，謝謝一路上給予過我幫助的人。求學階段在碩班畢業後即到個段落，就算卸下學生的身分，依然要抱著一顆謙卑的心不斷學習。

佳螢 謹致於

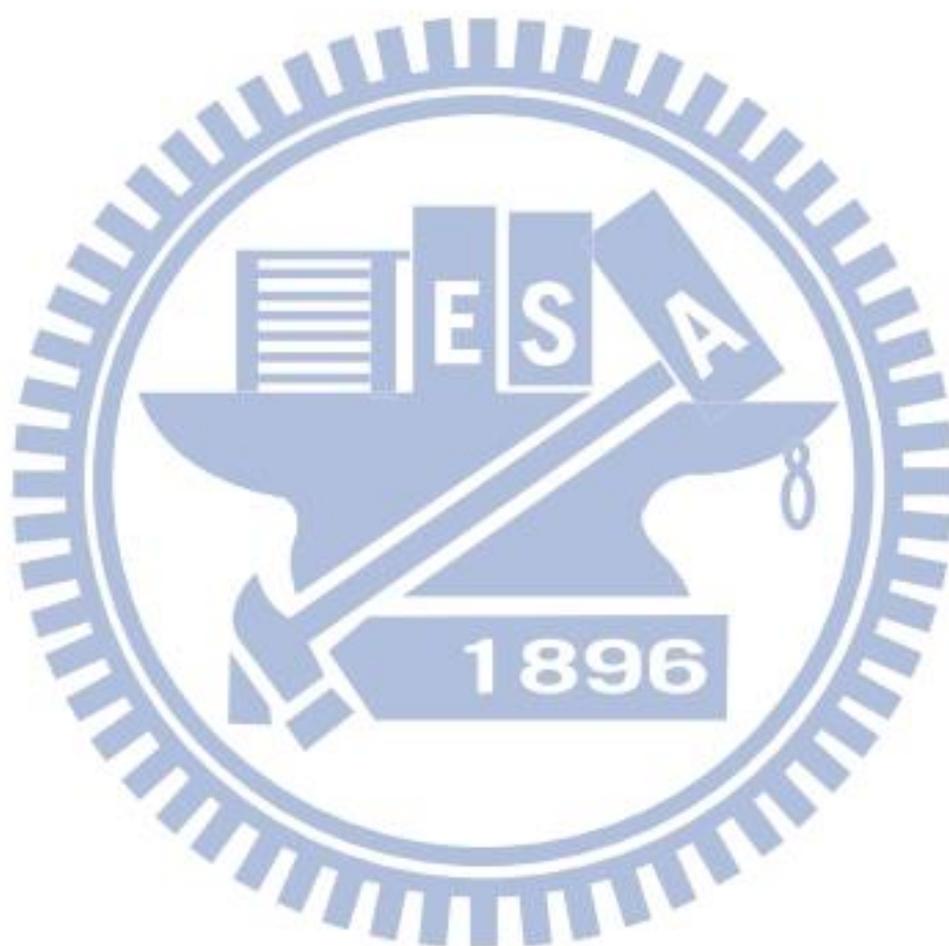
國立交通大學運輸與物流管理系研究所

民國一零七年八月

目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	viii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與目的.....	1
1.2 研究方法與流程.....	4
1.3 論文架構.....	5
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 大量傷病患事故.....	6
2.1.1 大量傷病患事故定義.....	6
2.1.2 大量傷病患事故現場處理流程.....	7
2.2 救護車後送.....	11
2.3 存活率函數.....	13
2.4 排隊理論.....	18
2.4.1 排隊系統架構.....	18
2.4.2 排隊網路(Queueing Network).....	20
第三章 問題描述與送醫策略.....	22
3.1 問題描述.....	22
3.2 問題假設.....	24
3.3 送醫策略.....	27
第四章 排隊網路模型.....	41
4.1 重度醫院急診室內醫護人員無分類.....	42
4.2 中度醫院急診室內醫護人員無分類.....	52
第五章 模擬方法.....	56
5.1 排隊系統模擬架構.....	56
5.2 排隊系統模擬流程.....	57
5.3 實證分析.....	70
5.3.1 模擬環境設定.....	71
5.3.1 情境一之模擬結果(167人).....	76

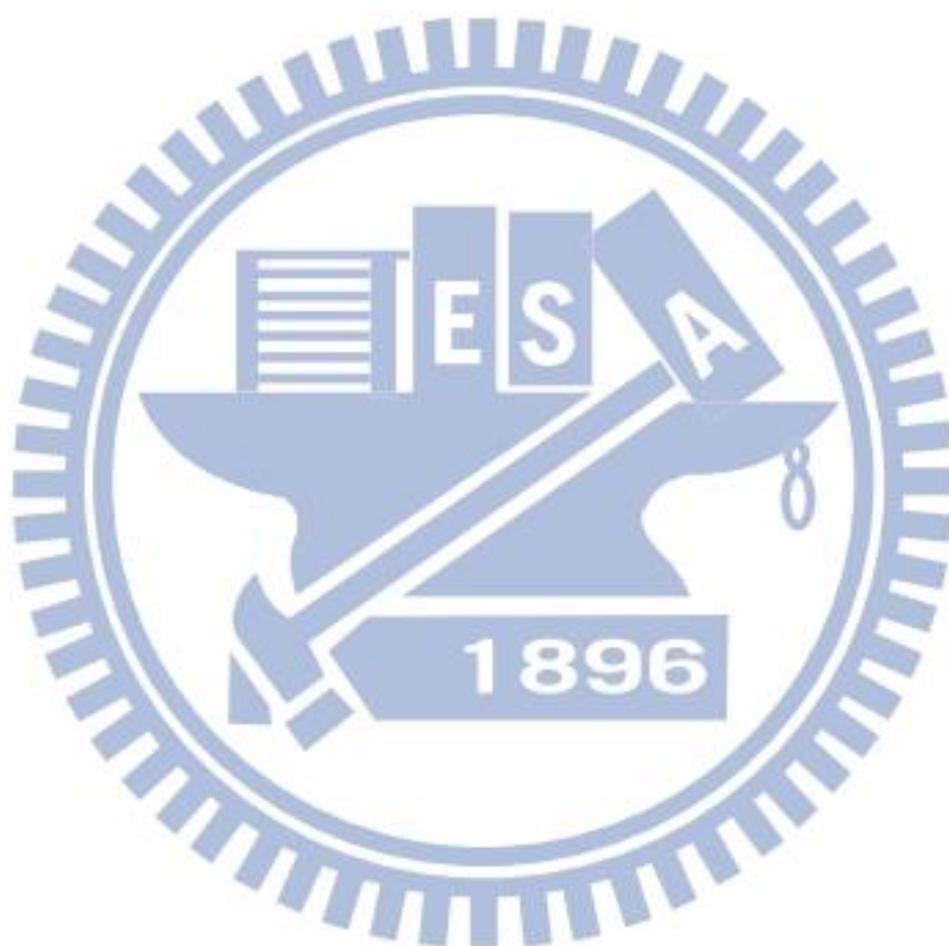
5.3.2 情境二之模擬結果(800人).....	85
5.3.1 小結.....	93
第六章 結論與建議.....	95
6.1 結論.....	95
6.2 未來研究方向與建議.....	96
參考文獻.....	97



表目錄

表 2-1 以傷病患數目定義大量傷病患事故之列表	6
表 2-2 以醫療系統負荷能量定義大量傷病患事故之列表	7
表 2-3 各區域別之責任醫院數目統計表	10
表 2-4 大量傷病患救護車後送之文獻比較	13
表 2-5 RPM 分數值對照表	14
表 2-6 RPM 分數與存活率對照表	14
表 2-7 德菲法估計每時段 RPM 值惡化表	15
表 2-8 五種情境下的存活率參數值	16
表 3-1 隨機後送舉例結果	30
表 3-2 輪流後送舉例結果	31
表 4-1 重度醫院急診室內醫護人員無分類下之排隊網路組成	41
表 4-2 重度醫院急診室內醫護人員無分類下之排隊網路組成	42
表 4-3 剩餘黃金時間範例傷患資訊表	46
表 5-1 重度醫院內事件組成表	60
表 5-2 美濃地震臺南各醫院就醫人數統計表	70
表 5-3 傷患到達檢傷點資料分配檢定結果	72
表 5-4 後送醫院之救護車行駛時間與急診室醫生數目表	73
表 5-5 集集大地震每 4 小時之搶救人數表	75
表 5-6 各情境之後送人數表	75
表 5-7 中傷病患最佳與最差策略內容表 (情境一)	76
表 5-8 中傷病患最佳與最差策略之數值比較表 (情境一)	77
表 5-9 中傷病患策略 3 與策略 19 數值比較表 (情境一)	78
表 5-10 重傷病患最佳與最差策略內容表 (情境一)	79
表 5-11 重傷病患最佳與最差策略之數值比較表 (情境一)	80
表 5-12 重傷病患策略 3 與策略 19 數值比較表 (情境一)	80
表 5-13 中傷與重傷最佳策略比較 (情境一)	83
表 5-14 不同權重之策略結果 (情境一)	84
表 5-15 中傷病患最佳與最差策略內容表 (情境二)	86
表 5-16 中傷病患最佳與最差策略之數值比較表 (情境二)	86
表 5-17 中傷病患策略 3 與策略 19 數值比較表 (情境二)	87
表 5-18 重傷病患最佳與最差策略內容表 (情境二)	88
表 5-19 重傷病患最佳與最差策略之數值比較表 (情境二)	89

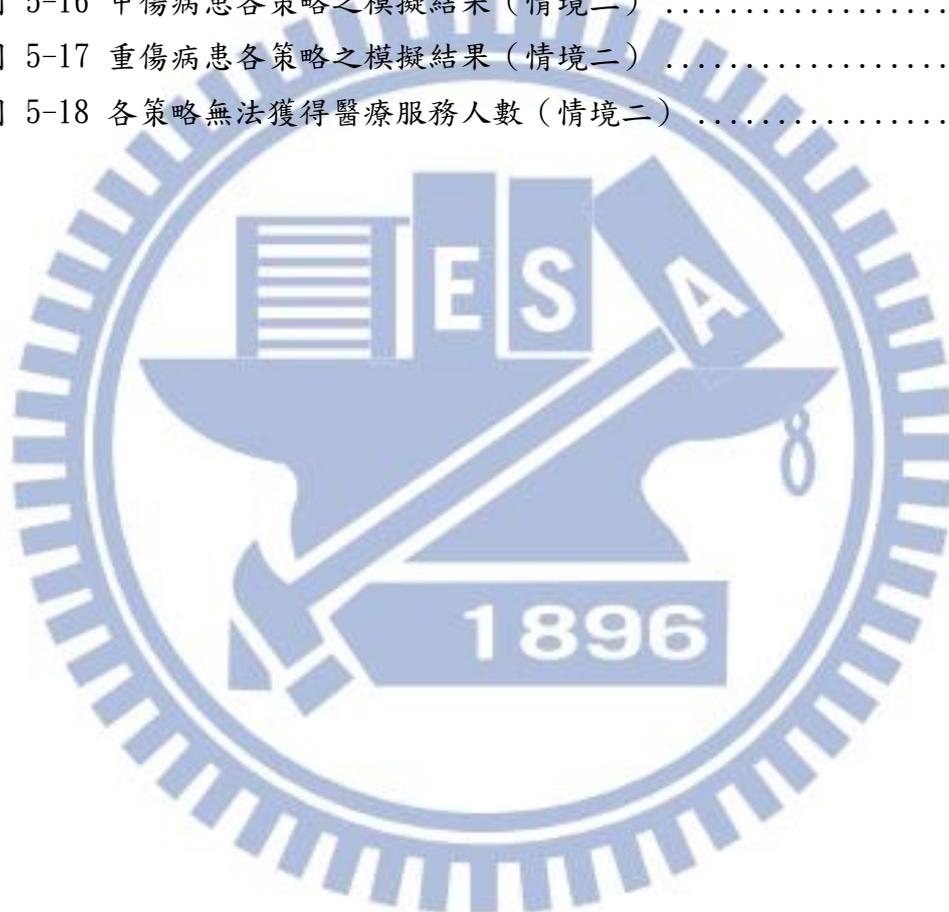
表 5-20 重傷病患策略 11 與策略 27 數值比較表 (情境二)	89
表 5-21 中傷與重傷最佳策略比較 (情境二)	91
表 5-22 不同權重之策略結果 (情境二)	92
表 5-23 情境一與情境二之最佳策略比較表	93
表 5-24 情境一與情境二不同權重之策略結果	94



圖目錄

圖 1- 1 美濃地震二十四小時內被送至成大醫院急診室就診之統計圖	1
圖 1- 2 研究流程	4
圖 2- 1 事故應變的現場作業流程	7
圖 2-2 START 檢傷流程.....	9
圖 2-3 重度醫院急診室之傷患服務流程	10
圖 2-4 中度醫院急診室之傷患服務流程	11
圖 2-5 不同情境之存活率	16
圖 2-6 排隊系統架構	18
圖 2-7 開放式排隊網路示意圖	20
圖 2-8 封閉式排隊網路示意圖	20
圖 2-9 混合式排隊網路示意圖	21
圖 2-10 本研究之排隊網路示意圖	21
圖 3-1 大量傷病患事故處理流程	22
圖 3-2 大量傷病患事故送醫策略架構	27
圖 3-3 檢傷點間指揮原則概念圖	28
圖 3-4 分開處理中傷和重傷病患例圖	32
圖 3-5 合併處理中傷和重傷病患例圖	33
圖 3-6 大量傷病患事故送醫策略樹狀圖 (重度醫院醫療人員無分類) ...	34
圖 3-7 大量傷病患事故送醫策略樹狀圖 (重度醫院醫療人員有分類) ...	35
圖 4-1 排隊網路(醫院數目皆為 1、重度醫院急診室內醫護人員無分類)..	44
圖 4-2 重度醫院急診室之傷患服務流程	47
圖 4-3 中度醫院之傷患服務流程	49
圖 4-4 排隊網路(醫院數目皆為 2、重度醫院急診室內醫護人員無分類)..	51
圖 4-5 排隊網路(醫院數目皆為 1、重度醫院急診室內醫護人員有分類)..	53
圖 4-6 排隊網路(醫院數目皆為 2、重度醫院急診室內醫護人員有分類)..	55
圖 5-1 送醫策略模擬輸入輸出圖.....	56
圖 5-2 重度醫院急診室內醫護人員無分類的模擬事件圖表 (event graph)	57
圖 5-3 重度醫院急診室內醫護人員有分類的模擬事件圖表 (event graph)	58
圖 5-4 檢傷點模擬流程圖	59
圖 5-5 重度醫院掛號處模擬流程圖	61
圖 5-6 重度醫院醫師看診處模擬流程圖	62
圖 5-7 重度醫院醫師看診處模擬流程圖	64

圖 5-8 中度醫院模擬流程圖	66
圖 5-9 一般醫院模擬流程圖	67
圖 5-10 模擬流程圖	69
圖 5-11 檢傷點位置圖	71
圖 5-12 每小時抵達檢傷點之估計傷患數	72
圖 5-13 中傷病患各策略之模擬結果 (情境一)	76
圖 5-14 重傷病患各策略之模擬結果 (情境一)	79
圖 5-15 各策略無法獲得醫療服務人數 (情境一)	82
圖 5-16 中傷病患各策略之模擬結果 (情境二)	85
圖 5-17 重傷病患各策略之模擬結果 (情境二)	88
圖 5-18 各策略無法獲得醫療服務人數 (情境二)	90



第一章 緒論

1.1 研究背景與目的

近年來台灣天災人禍事故頻傳，例如 2009 年的莫拉克颱風、2014 年的高雄氣爆、2015 年的八仙塵爆等等，這些災難事故皆造成重大傷亡。世界衛生組織將大量傷病患事故定義為：「事故所造成之傷病患人數超過當地醫療資源日常處理程序所能處理之數量」(WHO, 2007)，大量傷病患事故發生後，該區域之醫療系統在短時間內會湧入大量傷者，以 2016 年 2 月 6 日芮氏規模 6.4 之美濃地震為例，該地震造成臺南金龍維冠大樓倒塌，並造成多人傷亡。在事發的二十四小時內，共有 84 位傷病患被送至成大醫院急診室，由圖 1-1 所示，將近一半比例的傷病患在前兩個小時內到達成大醫院。在時間緊急、救護資源有限的情況下，如何執行有效的派遣決策著實為嚴峻的考驗。

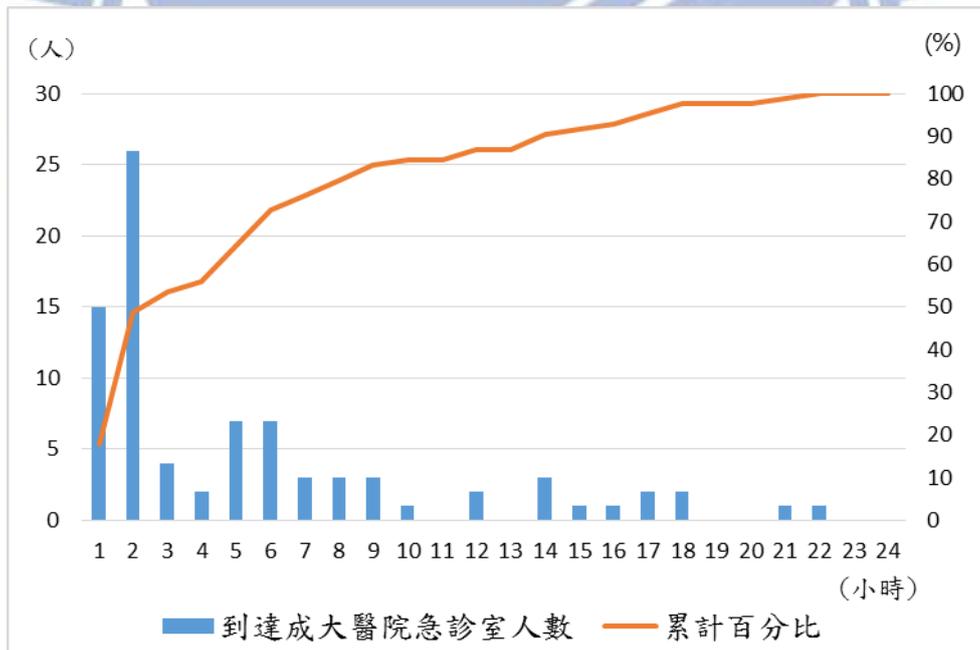


圖 1- 1 美濃地震二十四小時內被送至成大醫院急診室就診之統計圖

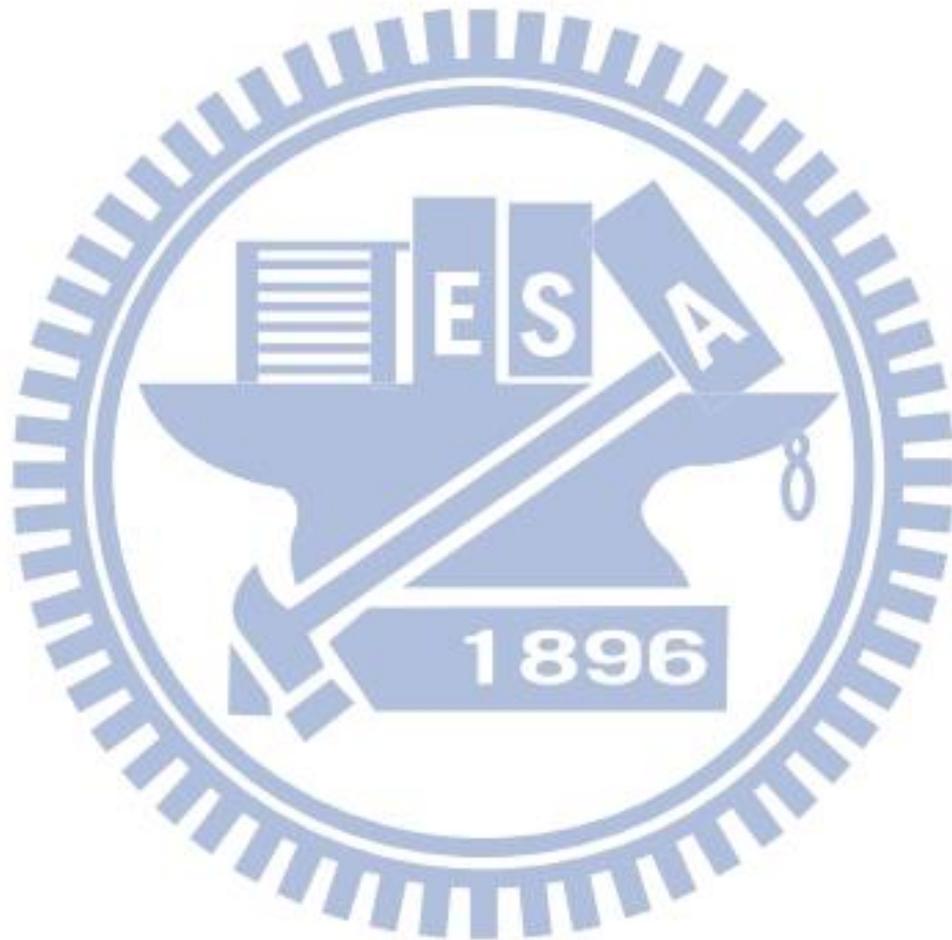
在資源有限情況下，需要將適當的傷病患給予適當醫療環境，以達到最大的救護能量，檢傷便是有效的分類依據，檢傷分類的方式有許多種，評估的項目和順序也不盡相同，目前較常見之檢傷分類方式為 START 檢傷法(Simple Triage

And Rapid Treatment), START 檢傷法將傷病患分為四級, 依照不同傷重分類以不同顏色標示, 分類如下:

1. 紅色: 重傷、立即治療(immediate)
2. 黃色: 中傷、暫緩治療(delayed)
3. 綠色: 輕傷(ambulatory)
4. 黑色: 死亡、瀕死治療(deceased 或 expectant)

我國於民國 89 年修訂了「衛生機關及醫療機構處理大量傷病患緊急醫療救護作業要點」, 內容包含了衛生主管機關與急救責任醫院平時之應辦事項、衛生主管機關於大量傷病患事故發生時之指揮、派遣及災情通報工作, 然而, 內容並沒有提及詳細的派遣傷病患之準則。在大量傷病患事故中, 通常依照檢傷之分類結果決定送醫順序, 重傷病患優先, 依序是中傷和輕傷病患, 但此後送順序未必是最佳之方案(Sacco et al., 2005), START 檢傷法僅能判斷傷病患的嚴重度, 但無法將有限的資源分配給傷病患, 因此許多學者將檢傷分類與派遣模式結合, 並以存活率作為參考指標, 以期達到最少的死亡人數(Sacco, et al., 2005; Mill, et al., 2013; Dean & Nair, 2014; Sung, I., & Lee, T., 2016)。由於大量傷病患事故涉及了醫療及行政指揮層面, 實為龐大且複雜的問題, 因此大部分的研究中, 常簡化醫療資源限制, 將醫療資源容量視為定值, 然而, 在傷患不斷進入醫療系統的同時醫護人員不斷地在提供傷患醫療服務, 醫院所能容納的傷患數會隨傷患的多寡及醫院之處理能力而改變, 因此, 本研究將排隊理論應用至此問題, 除此之外, 本研究欲重新探討傷病患於大量傷病患事故中存活率的定義, 並提出不同衡量標準。有別於重傷病患, 中傷病患不會面臨急迫的生命危險, 因此存活率應當為百分之百, 但中傷病患若延遲治療, 可能會導致傷口感染或傷勢加重, 進而影響病情復原能力, 因此對於中傷病患本研究以康復率做為衡量指標, 重傷病患的衡量指標為存活率。綜上所述, 本研究主要探討大量傷病患之送醫策略, 在多個檢傷點、多名不同傷重程度的傷病患、多家急救程度不同的醫院之形況下, 以模擬方法檢驗不同送醫策略, 策略的績效衡量指標

包含了中傷的康復率及重傷的存活率。本研究之結果可做為大量傷病患後送派遣員進行決策時之參考依據。本研究之研究範圍界定如下：僅探討大量傷病患事故之送醫策略研究，不探討急診室內部的人力支援與調度、亦不探討救護車之派遣與數量調度。



1.2 研究方法與流程

本研究利用排隊理論 (queueing theory) 建構網路模型，再以模擬方法比較不同送醫策略之結果，研究流程如圖 1-2。首先必須分析大量傷病患事故之流程及特性，以便後續建構與現實較為相符之排隊網路模型；接下來透過文獻回顧了解大量傷病患事故後送相關研究，並探討如何估算傷病患之存活率；在了解問題背景後，建構排隊網路 (queueing network) 模型並制定不同送醫策略；最後利用模擬方法測試案例，比較不同送醫策略之結果並進行分析。本研究所採用之程式語言為 C++ 語言。

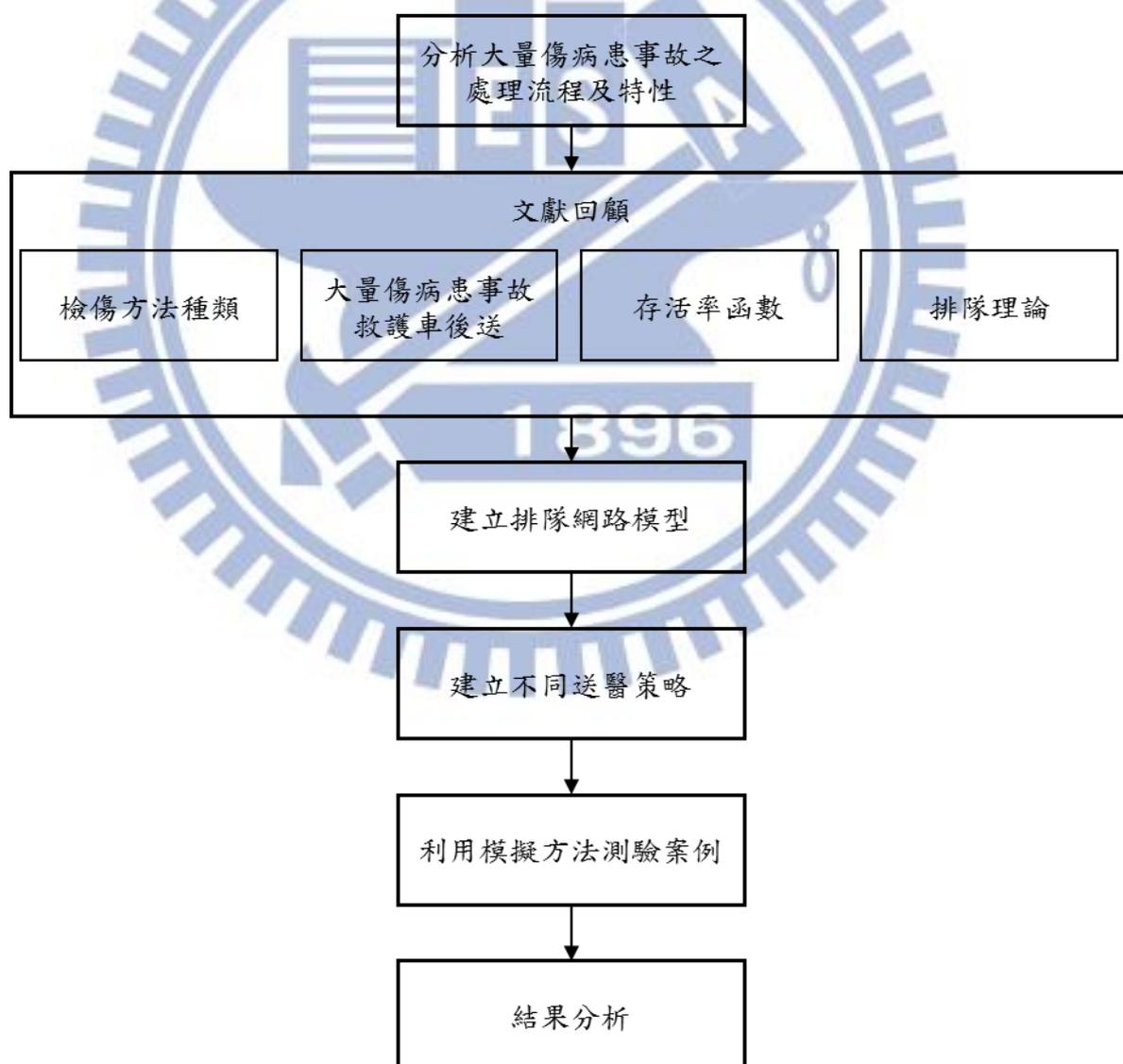


圖 1- 2 研究流程

1.3 論文架構

本研究共分為六章，各章節內容如下：

第一章 緒論

本章節先介紹大量傷病患事故之特性，並提出現今面臨的問題，以此作為本研究動機與目的，界定本研究之範圍以及研究進行之方法，最後簡介後續各章節、說明本論文之整體架構。

第二章 文獻回顧

分別以「檢傷方法種類」、「大量傷病患事故救護車後送」、「存活率函數」、「排隊理論」作為文獻探討。

第三章 問題描述與送醫策略

對本研究問題敘述做詳細說明與定義，並探討將傷患送醫所面臨之決策，包含：檢傷點間的指揮原則、傷患後送順序選擇、後送醫院選擇、待轉院傷患送醫順序選擇、重度醫院急診室內人力配置原則。本根據上述不同的考量，提出 64 種不同的送醫策略。

第四章 排隊網路模型

本章節將大量傷病患事故之環境建構為排隊網路 (queueing network) 模型，並解釋排隊網路內的各個排隊系統 (queueing system) 之內容。

第五章 模擬方法

根據前兩章所建構之排隊網路模型以及送醫策略，利用實際地震資料建立模擬環境，並依照不同情境之表現結果來進行數據分析比較。

第六章 結論與建議

整理研究過程所得資訊與第五章分析結果，整理結論與未來研究之建議。

第二章 文獻回顧

2.1 大量傷病患事故

2.1.1 大量傷病患事故定義

大量傷病患事故至今仍無統一明確之定義，但大致有兩大分類法：

分類一：傷病患數目

該分類以量化的方式定義大量傷病患事故，如表 2-1 所示，以我國為例，當災害傷患人數大於十五人即為大量傷病患事故。此種方式定義明確，在實務派遣較易執行。然而，有些地區醫療能力較強，有些缺乏醫療資源，因此界定一定的傷患數目來定義大量傷病患事故可能未必適用於各地區。

表 2-1 以傷病患數目定義大量傷病患事故之列表

作者(年份)	定義
行政院衛生署	大量傷病患緊急醫療救護，係指單一事故、災害發生之傷病患人數達十五人以上，或預判可能發生時五人已上之緊急醫療救護。
Park (2010)	依照韓國日常緊急醫療資源判斷，當緊急事故造成傷病患人數達六人以上，則可視為大量傷病患事故。

分類二：是否超過該區域醫療系統所能負荷之能量

此分類以該區域醫療系統所能負荷之能量做為判斷標準，表 2-2 皆是以醫療負荷能量來定義大量傷病患事故，此分類方法可顯現不同地區因不同的醫療環境而有不同的醫療能量之特性，但目前沒有統一的方法和衡量指標來判定每一個地區的醫療能量，因此該分類在實務上執行較不易。

表 2-2 以醫療系統負荷能量定義大量傷病患事故之列表

作者(年份)	定義
Levi, et al., (2002); Shapira & Shemer (2002); Sosna, et al., (2005); Williams, et al., (2008)	傷病患數量超過當地緊急醫療資源所能負荷之緊急事故，導致短時間內緊急醫療資源供需失衡。
林志豪(2010)	傷病患人數多於一人，且已經超過該地區或系統所能負荷的能量，就算採取最有效的應變方式，病患預後也無法達到原本應有的水平。
世界衛生組織(2007)	事故所造成之傷病患人數超過當地醫療資源日常處理程序所能處理之數量。

在本研究模擬之大量病患事故情境，總傷患數量皆大於十五人，當地的醫療系統也無法負荷，所以不論在傷患數量及醫療系統救護能量上，皆符合以上兩種定義，因此不再對大量傷病患進行新的定義。

2.1.2 大量傷病患事故現場處理流程

當大量傷病患事故爆發後，現場作業流程可分為四大步驟，由圖 2-1 所示，分別為現場評估、集結檢傷、現場救護、確適醫療，以下會針對各步驟進行更詳細之說明。

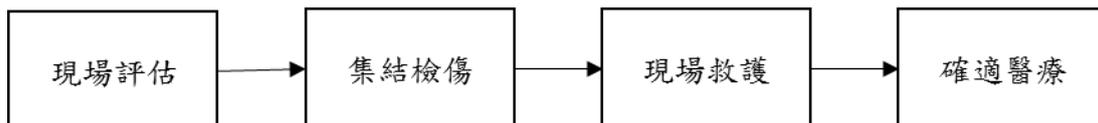


圖 2- 1 事故應變的現場作業流程

現場評估

初抵達事故現場的人員，必須先確認現場是否為安全區域，並且初步了解事故資訊，如：事故發生地點、發生時間、傷病患人數、傷病患嚴重度及傷害類型，以提供判斷後續需派遣救護人員之資訊。在初步了解事故資訊後，需將狀況回報給派遣中心，並根據現場狀況提出後續資源要求。此時也必須建立指揮體系及建立應變地點，以利後送病人作業之順暢。

集結檢傷

事故爆發後，最重要的工作是將傷患移至安全的區域，此時會進行初級檢傷，主要目的為決定脫困順序，當傷患脫離危險的事故點會依照傷患之傷重程度移至治療區，進行簡單的救護治療，並等待後送。目前國際較通用的檢傷法為 START 檢傷法(Simple Triage And Rapid Treatment)，檢傷的判斷流程由圖 2-2 所示。

現場救護

現場救護主要有三大工作：檢傷、治療、後送。此時的檢傷稱為次級檢傷，依照不同嚴重度分配至不同治療區，次級檢傷主要目的為決定後送到醫院的優先順序，而治療區的工作人員會執行必要的醫療處至穩定病情，除此之外，還需持續、反覆地進行檢傷動作，改判傷勢惡化傷患之檢傷結果。將傷患依傷重程度分類、進行初步的治療後則需要後送至醫院接受救護，現場的後送管制員必須掌握三大資訊，首先，必須了解目前等待後送的傷病患種類及數目；其次是瞭解現有的資源數目，包含救護車、直升機、救護技術員等等；最後必須掌握醫院資訊，包括醫院的種類及是否還有能力繼續接收新的傷病患。

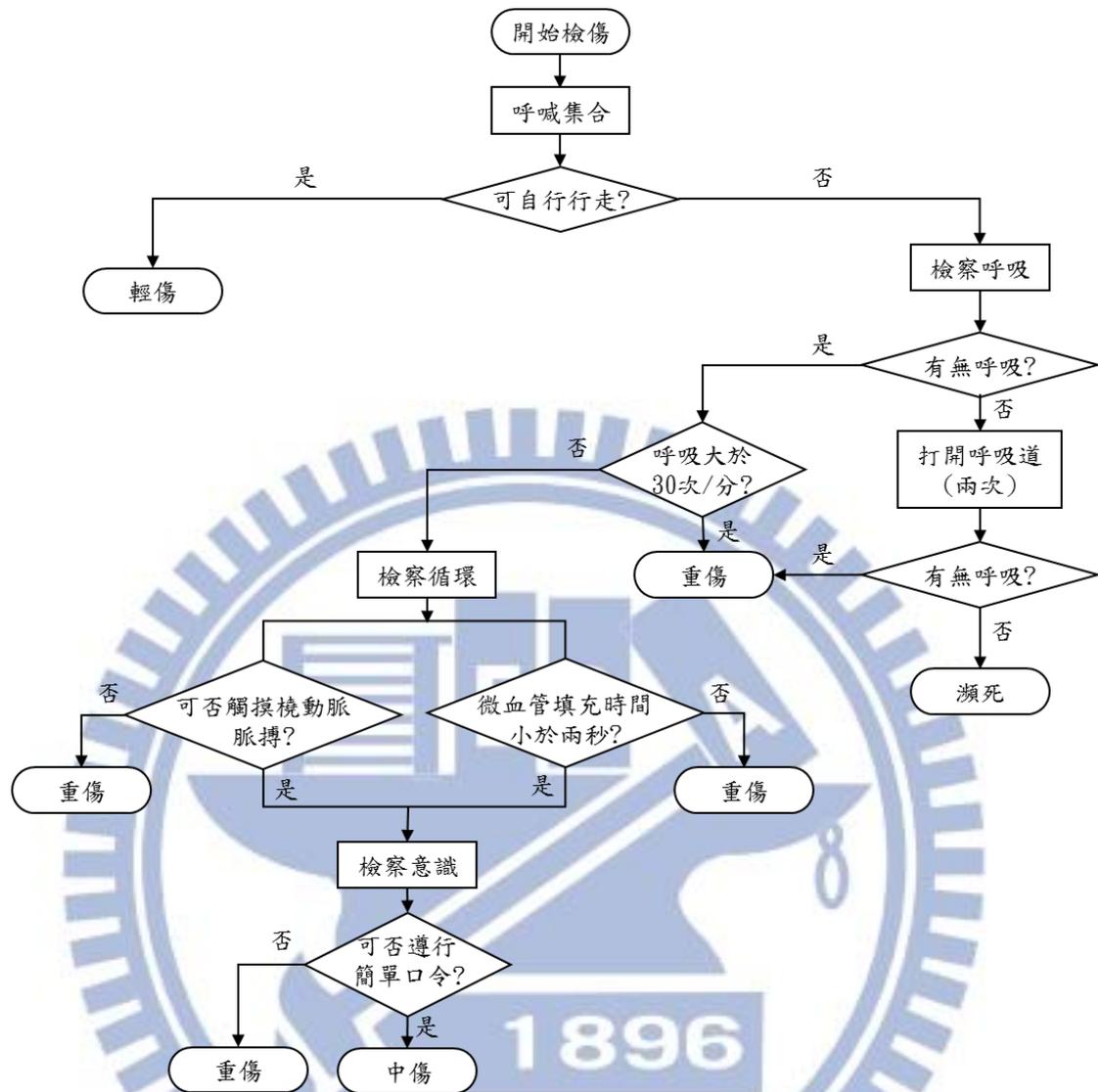


圖 2-2 START 檢傷流程

確適醫療

確適醫療代表接收傷患的醫院有足夠的醫療資源提供醫療照護，傷患不需再轉診至其他醫院以取得適當的醫療服務。轉院的手續不僅耗費人力更可能延誤傷患的治療時間，因此在指派後送時，若能將傷患指派至合適的醫院，則可避免轉診及人力成本的耗費。根據我國衛生福利部 2016 年公布之急救醫院分區名單，依照醫院之緊急醫療處理能力共分為三級：重度醫院、中度醫院、一般醫院，表 2-3 顯示臺灣各區域別之各級醫院數目。

表 2- 3 各區域別之責任醫院數目統計表

區域別	重度醫院 數目	中度醫院 數目	一般醫院 數目
台北區 (基隆市、宜蘭縣、台北市、新北市、 金門縣、連江縣)	13	20	19
北區 (桃園市、新竹市、新竹縣、苗栗縣)	3	13	10
中區 (台中市、彰化縣、南投縣)	8	17	12
南區 (雲林縣、嘉義市、台南市)	6	14	9
高屏區 (高雄市、屏東縣、澎湖縣)	5	15	19
東區 (花蓮縣、台東縣)	1	3	9
總計	36	82	78

來源：衛生福利部急救責任醫院分區名單(2016)

傷患被送至醫院急診室後的流程大致可分為五大步驟：檢傷、掛號、醫師看診、護理處置、醫師重評。然而重傷病患因傷勢嚴重，接受治療的時間緊迫，因此重傷病患通常會先略過掛號這個步驟，直接接受醫師看診，由圖 2-3 所示，重傷病患檢傷後會直接接受醫師看診，而中傷病患仍須先行掛號。中度醫院內只有中傷病患，因此所有傷患之服務流程皆一致，中度醫院內的流程由圖 2-4 所示。

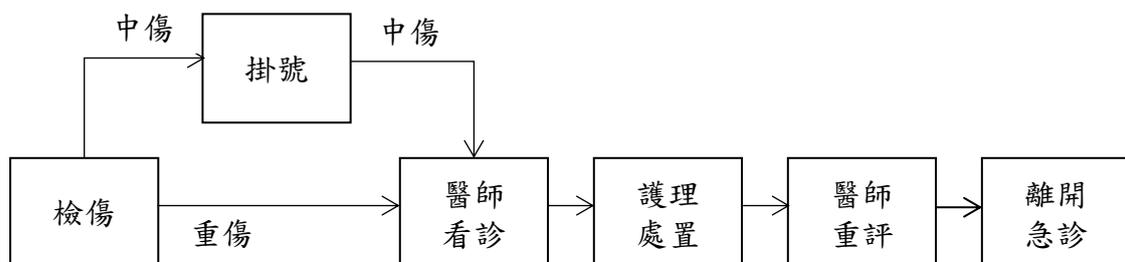


圖 2-3 重度醫院急診室之傷患服務流程

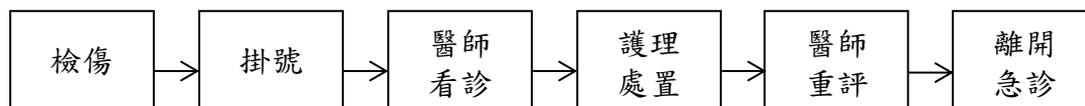


圖 2-4 中度醫院急診室之傷患服務流程

2.2 救護車後送

當後送管制員在檢傷點執行派遣任務時，會面臨兩大決策，首先，要將哪名傷患優先後送至醫院，其次，必須決定要選擇哪家醫院進行後送。START 檢傷法為現今通行的檢傷法，直接根據檢傷結果決定後送順序為簡易的判斷準則，重傷病患優先，其次是中傷病患，最後是輕傷病患。然而 START 檢傷法僅考慮傷患生理上的傷重程度，並沒有將後端的醫療資源納入考量，因此根據 START 檢傷法並無法得知該將傷患送至哪家醫院，實務作法通常優先考量距離較近且有空床的責任醫院。近年來有許多研究將檢傷分類與醫療資源結合，提出不同之派遣模式甚至提出新的檢傷方法。

不同於 START 檢傷法將傷患分為四類，Sacco 等人(2005)提出新的檢傷法，稱為 STM 法(Sacco Triage Method)，依據傷病患之呼吸速率、脈搏及運動狀態給予分數，並將此分數轉換為傷患之存活率，以最佳化整體存活率為目標建立混合整數線性規劃(MIP)數學模型，將各時段可運送之傷患數納入考量，由最佳化之結果決定後送順序。然而，該數學模型並沒有考慮到後送醫院的選擇，也沒有考慮到醫院的容量限制，但此方法提出了存活率之概念，根據存活率做為後送順序之考量，並嘗試處理醫療資源限制。

Dean 等人(2014)提出了新的檢傷模式：SAVE (Severity Adjusted Victim Evacuation)，旨在補足 STM 檢傷法之不足，SAVE 模式將醫院的選擇及容量限制納入考量，建立混合整數線性規劃(MIP)的數學模型，以最大化傷患存活率為目標，最佳化之結果可知傷患於檢傷點的後送順序、醫院的選擇，還可得知所需的救護車數量。

Mills 等人(2013)將 Sacco 等人(2005)的存活率改由液體模型(fluid model)表

示，比較在不同後送策略下整體存活率的差別，並提出新的策略稱為 Resource-based START 檢傷法(ReSTART)。不同於 START 檢傷法重傷優先，ReSTART 檢傷法會根據重傷人數、中傷人數以及可使用之救護車數目來決定何時中傷優先，何時重傷優先。在醫療資源的部分，雖然有考慮可使用之救護車數量，但沒有考慮到後送醫院的選擇，也沒有考慮到醫院的容量限制。

Sung 等學者(2016)參考 Mills 等人(2013)的存活率函式，提出混合整數線性規劃(MIP)數學模型，以最大化傷患之存活率為目標，並將可使用之救護車數量、醫院容量納入考量，以決定傷患後送的優先順序、救護車的排程及醫院的選擇。

Repoussis 等學者(2016)將大量傷病患事故中救護車派遣後送問題視為零工式工廠排程問題(Flexible Job Shop Scheduling Problem)，作者將待後送之傷病患視為待做的工件(job)，而每個工件都必須經過兩道流程，分別是將傷患送至醫院以及在醫院接受治療，而救護車和醫院則分別代表執行流程的機器。該研究以最小化完成時間為目標，提出混合整數線性規劃(MIP)模型，以決定救護車派遣以及傷患在醫院接受治療的優先順序，檢傷點的後送順序則是依照 START 檢傷法，必須優先後送重傷病患。

綜合以上所述，將回顧之文獻整理為表 2-4。由文獻分析可知，大多研究將可使用之救護車數量以及醫院容量視為醫療的資源限制，然而，僅用救護車數量不足以代表醫院的資源限制，因此後來之研究大多以醫院容量來表示，但皆假設醫院容量為定值，此假設雖然可簡化問題之複雜度，但無法呈現醫院可接收容量隨時間變化之性質，因為在傷患不斷進入醫療系統的同時醫護人員不斷地在提供傷患醫療服務。因此本研究欲把排隊理論應用至該問題，以期更貼近實際狀況。

在目標式的部分，可由文獻看出大部分之文獻以存活率做為衡量後送策略優劣的指標，然而存活率並無統一的定義及函數關係表示，本研究將於 2.3 小節對存活率有更進一步的比較與探討。

表 2-4 大量傷病患救護車後送之文獻比較

作者(年份)	方法	目標	檢傷點之後送原則	醫療資源考慮因素
Sacco, et al. (2005)	MIP	最大化傷患之存活率	由最佳化結果決定	可使用救護車數量
Mills, et al. (2013)	MIP	最大化傷患之存活率	由最佳化結果決定	可使用救護車數量
Dean & Nair (2014)	MIP	最大化傷患之存活率	由最佳化結果決定	醫院容量(定值)
Sung, I., & Lee, T. (2016)	MIP	最大化傷患之存活率	由最佳化結果決定	可使用救護車數量 醫院容量(定值)
Repoussis, et al. (2016)	MIP	最小化完成時間	重傷優先	可使用救護車數量 醫院容量(定值)

2.3 存活率函數

隨著時間流逝，傷患的病情也會逐漸惡化，若沒有在一定的時間內接受治療，甚至會失去性命，因此許多研究嘗試將傷患存活率與時間的關係以函數表示。於 2.2 小節有提到 Sacco 等人(2005)提出了新的 STM 檢傷法，該檢傷法依據傷病患之呼吸速率 (respiratory rate)、脈搏 (pulse rate) 及運動狀態 (motor response) 分別給予 0 到 4 的分數，表 2-5 為各分數值與傷患狀態之對照表。

表 2-5 RPM 分數值對照表

分數值	呼吸速率 (R)	脈搏 (P)	運動狀態(M)
0	0	0	無任何反應
1	1-9	1-40	對疼痛刺激有反應，肢體會伸展(extension) 或彎曲(flexion)試圖迴避
2	36+	41-60	對疼痛刺激有反應，肢體會閃避(withdrawal)
3	25-35	121+	施以刺激時，可定位出疼痛位置(localize)
4	10-24	61-120	可依指令做出各種動作

來源：Sacco, et al. (2005)

呼吸速率、脈搏、運動狀態三者分數加總則稱為 RPM 值，介於 0 到 12 分之間。作者建立羅吉斯回歸模型將 RPM 值轉換為存活率，表示如下：

$$P_s = 1 / (1 + e^{-W}) \dots\dots\dots(2.1)$$

其中 P_s 代表存活率， $W = -2.8877 + (0.571 \times RPM)$ 。由公式(2.1)可得各 RPM 值相應的存活率，並整理成表 2-6。

表 2-6 RPM 分數與存活率對照表

RPM 分數	12	11	10	9	8	7	6
存活率	0.98	0.97	0.94	0.9	0.84	0.75	0.63

RPM 分數	5	4	3	2	1	0
存活率	0.49	0.35	0.23	0.089	0.15	0.052

來源：Sacco, et al. (2005)

為了表示傷患的傷重程度會隨時間而惡化，作者利用德菲法估計各 RPM 值每隔三十分鐘惡化的程度，如表 2-7 所示。

表 2-7 德菲法估計每時段 RPM 值惡化表

RPM \ 時段	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	12	12	11	11	10	10	10	10	9	9	8	8
11	11	11	10	10	9	8	8	7	7	6	6	5
10	10	9	9	8	8	7	6	6	5	5	4	4
9	9	8	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0
8	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0
7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0
6	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(每一時段之區間為三十分鐘)

來源：Sacco, et al. (2005)

根據上述 RPM 值及存活率，Mills 等人(2013)將其轉換為 START 檢傷法的中傷及重傷之存活率，公式如下表示：

$$f_i(t) = \frac{\beta_{0,i}}{\left(\frac{t}{\beta_{1,i}}\right)^{\beta_{2,i}}}, \quad \text{for } i \in \{I, D\} \dots \dots \dots (2.2)$$

$f_i(t)$ 表示檢傷分類為 i 的傷患在時間 t 接受到服務時的存活率， I 為重傷， D 為中傷。由於中傷及重傷沒有固定的 RPM 值，因此作者研擬五種不同情境，表 2-8 為在不同情境下參數 $\beta_{0,i}$ 、 $\beta_{1,i}$ 、 $\beta_{2,i}$ 應代入的值。

表 2-8 五種情境下的存活率參數值

情境	$\beta_{0,I}$	$\beta_{1,I}$	$\beta_{2,I}$	$\beta_{0,D}$	$\beta_{1,D}$	$\beta_{2,D}$
1	0.09	17	1.01	0.57	61	2.03
2	0.15	28	1.38	0.65	86	2.11
3	0.24	47	1.30	0.76	138	2.17
4	0.40	59	1.47	0.77	140	2.29
5	0.56	91	1.58	0.81	160	2.41

來源：Mills, et al. (2013)

Sung 等人(2016)將情境 1、3、5 描述為樂觀、中等、悲觀，以情境 1（樂觀）與情境 5（悲觀）為例，中傷及重傷的存活率病患隨著時間下降的趨勢如圖 2-5 所示。

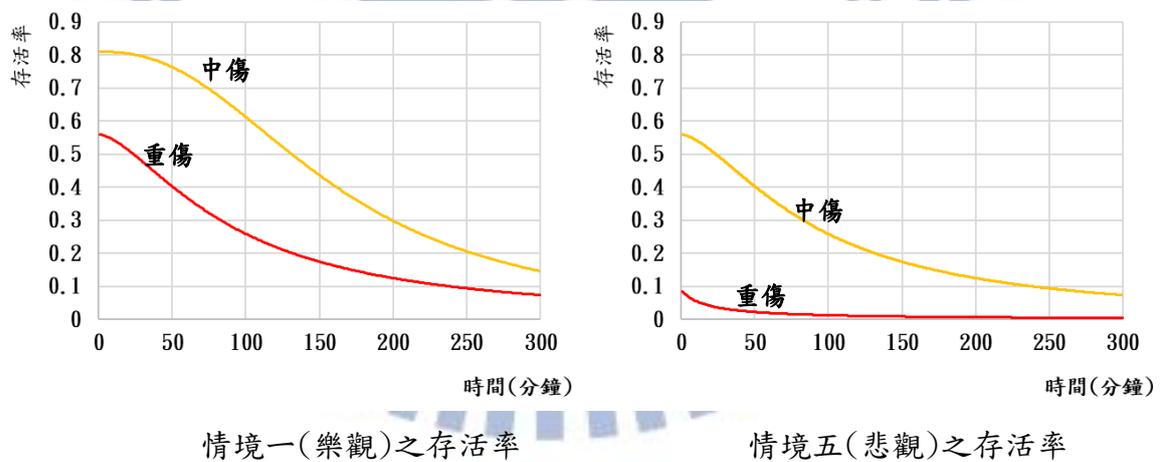


圖 2-5 不同情境之存活率

來源：Mills, et al. (2013)

由圖 2-3 可以看出，即使在樂觀的情況下，中傷病患在不到兩個小時內存活率已降至 0.5，然而上述文獻皆沒有規範傷患應在一定時間內接受服務，所以即便傷患送達醫院時之存活機率已微乎其微，仍為可行之結果。

英國倫敦在 2016 年發佈的大量傷病患事故應變指南當中提到了重傷病患應該一小時內接受醫療服務，中傷病患則是四個小時，這樣的觀念最早在 1975 年就曾被提出(Cowley, 1975)，即所謂黃金時間(the golden hour)。因此本研究認為在大量傷病患事故中，傷病患需在一定時間內趕緊給予醫療服務，否則重傷病患會危急生命，中傷病患雖然沒有存活危機，但可能因為延遲治療而導致傷勢復原不佳。

綜上所述，大量傷病患事故主要面臨的問題為送醫順序的安排以及醫療資源的分配，許多研究將此問題建立最佳化模型，考慮不同的資源限制(救護車數量、醫院容量)，根據最佳化結果進行送醫派遣，最佳化的目標式大多為存活率，然而存活率的定義與表示方式仍尚無定論。由文獻回顧可發現，過去的研究大多把大量傷病患問題視為靜態問題，並以定值表示醫院之容量限制，本研究與過去文獻最大不同之處為將排隊理論套用至檢傷點及醫院系統，系統內的傷患人數會隨著時間增減，然而本研究之排隊系統過於複雜，無法推導出特定的函數(closed form)描述系統內等待狀況並建立最佳化模型，因此本研究使用模擬方法，模擬結果的好壞參考過去文獻所提的存活率並稍做調整。

2.4 排隊理論

2.4.1 排隊系統架構

在日常生活中，有許多等候的現象發生，例如：病人在醫院等候看病、顧客在結帳櫃檯等候結帳、工廠的工件等候機器加工等等，本研究應用排隊理論（queueing theory）以描述大量傷病患事故時傷患會在檢傷點以及醫院急診室內等待之行為。圖 2-6 為一個排隊系統（queueing system）的架構。

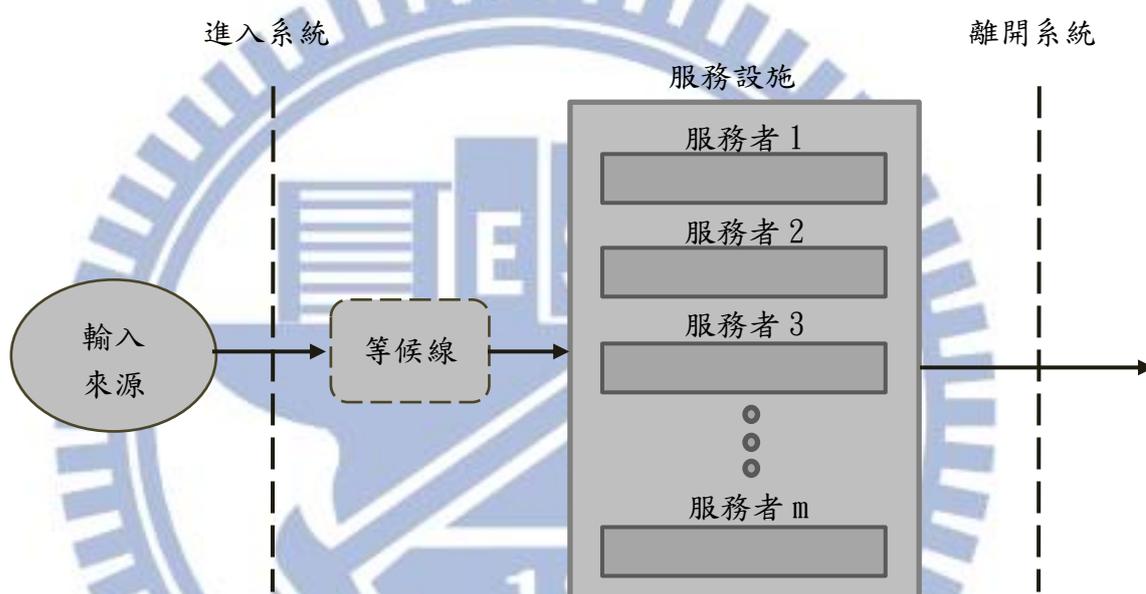


圖 2-6 排隊系統架構

排隊系統可由 Kendall 提出的 Kendall 符號表示：

$A/B/C/X/Y$ 。

A：到達的間隔時間分配(distribution of interarrival time)。

由此分配可知輸入來源(例如：顧客、傷患…)抵達系統的到達率。常用的到達間隔時間分配如下：

M：指數分配(exponential distribution)；

D：常數(constant distribution)；

E_k ：厄朗分配(Erlang distribution)；

GI：到達間隔時間的一般分配(general independent distribution)。

B：服務時間分配(distribution of service time)。

顧客在系統內接受服務的時間會依據服務率的時間分配。

C：平行服務者(server)的個數。

平行服務者表示所有服務者皆能提供相同服務，如圖 2-6 之等候系統內共有 m 位平行服務者。當顧客進入系統後，若有空閒的服務者，顧客即可接受服務；反之，若服務者皆為忙碌狀態，顧客必須在等候線(queue)進行等待。

X：系統容量(system capacity)。

當顧客到達等候系統時，若此時系統容量已達到上限則無法進入系統，必須離開；若系統容量為無限大，所有到達的顧客皆可進入系統。系統容量包含了等候線的容量(queue capacity)以及服務設施的數量。

Y：服務原則(service discipline)

當有顧客在等候線等待接受服務時，該如何決定要優先服務哪位顧客？因此必須依照服務原則從等候線中挑選顧客，最常見服務原則為

1. 先到先服務(first-come first-served ; FCFS)；
2. 後到先服務(last-come first-served ; LCFS)；
3. 隨機順序服務(service in random order ; SIRO)；
4. 有優先權(priority)的等候規則：
 - (1)可插斷(preemptive)的優先權；
 - (2)不可插斷(non-preemptive)的優先權；

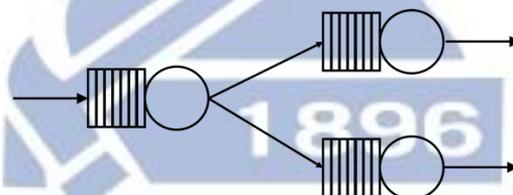
有優先權的服務原則會將顧客分成不同等級並給予相應的優先順序，優先等級

高的顧客會比優先等級低的顧客先接受到服務，還可分為可插斷(preemptive)以及不可插斷(non-preemptive)兩種情形。若優先等級低的顧客正在接受服務，此時優先等級高的顧客進入系統，優先等級低的顧客必須立刻停止接受服務，使得優先等級高的顧客一進入系統便可接受服務，此為可插斷式(preemptive)的服務原則；若優先等級低的顧客正在接受服務，優先等級高的顧客進入系統後必須等待優先等級低的顧客完成服務後才得以開始接受服務，此為不可插斷式(non-preemptive)的服務原則。

2.4.2 排隊網路(Queueing Network)

當有多個排隊系統(queueing system)相互牽連時會形成排隊網路(queueing network)，排隊網路又可分為開放式、封閉式、混合式三種不同形式。

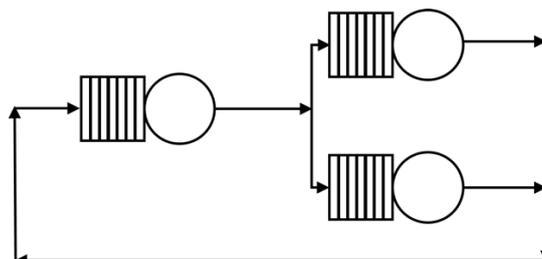
開放式排隊網路(open queueing network)由圖 2-7 所示，在此種網路模型中，客戶會來自/出發至其他外部的環境，不會再訪問相同的排隊系統。



來源：Bose, S. K. (2013)

圖 2-7 開放式排隊網路示意圖

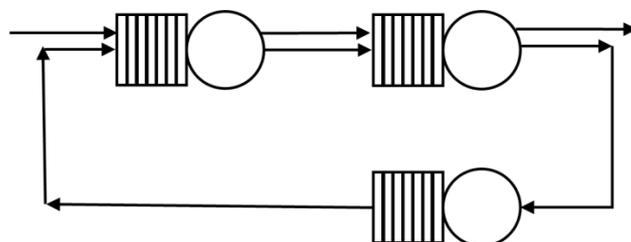
封閉式排隊網路(closed queueing network)由圖 2-8 所示，此排隊網路內客戶人數保持固定且相同。



來源：Bose, S. K. (2013)

圖 2-8 封閉式排隊網路示意圖

混合式排隊網路(mixed queueing network)由圖 2-9 所示，此種網路中的顧客部份來自外部環境，部分為系統內部本身的顧客。



來源：Bose, S. K. (2013)

圖 2-9 混合式排隊網路示意圖

圖 2-10 為本研究簡化後的排隊網路，傷患抵達檢傷點後會被救護車送至各醫院，接受完醫療服務後即離開系統，並不會再返回檢傷點或醫院，因此本研究架構之排隊網路為開放式排隊網路。

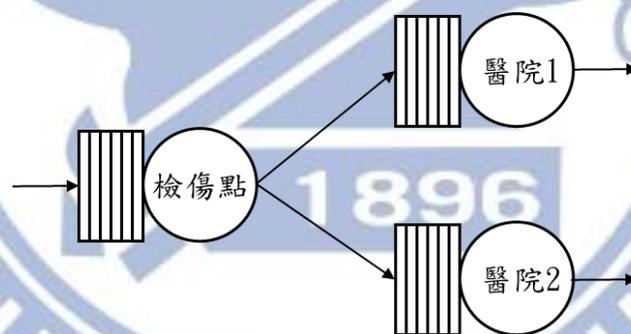


圖 2-10 本研究之排隊網路示意圖

第三章 問題描述與送醫策略

3.1 問題描述

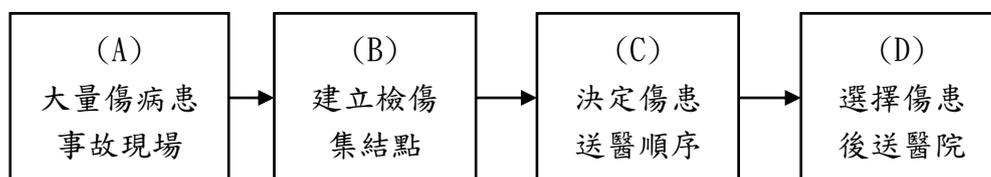


圖 3-1 大量傷病患事故處理流程

大量傷病患事故發生時，大致流程如圖 3-1，敘述如下。

圖 3-1 (A)：發生大量傷病患事故後，地方政府會啟動緊急應變模式與作業程序，指揮中心會調度救護資源，派遣緊急醫療小組並決定檢傷集結點位置，同時派遣救護車至檢傷點。

圖 3-1 (B)：傷病患會被集結至檢傷點進行現場治療和等待後送，依照國際通用的 START 檢傷法將傷患分為四類：重傷、中傷、輕傷、死亡。由指揮中心派遣之救護車會抵達檢傷點，進行緊急後送，由於輕傷病患大多為輕微的皮肉傷，並無大礙，因此本研究假設救護車僅針對重傷及中傷病患進行緊急後送，重傷病患需送至重度醫院，中傷病患可以被送至重度醫院或是中度醫院。

圖 3-1 (C)：由於在短時間內有非常多的傷患，救護車因為車程及調度的關係無法於第一時間抵達，於是在檢傷點會累積越來越多的傷患等待後送，此時需決定傷患的送醫順序。

圖 3-1 (D)：救護車抵達檢傷點後，需將傷患後送至醫院，然而該送至哪家醫院呢？本研究將排隊理論應用於此問題，考慮傷患種類及數量、醫院分類、醫院數量、救護車從檢傷點到醫院的行駛時間、傷患的剩餘黃金時間，提出 64 種不同的送醫策略，並比較不同策略之結果。

由文獻回顧可知以往大量傷病患事故後送相關研究大多將存活率做為衡量指標，但本研究針對中傷及重傷病患給予不同的衡量指標，中傷病患衡量指標為康復率，如式子(3.1)所示；重傷病患衡量指標為存活率，如式子(3.2)所示。

$$\text{重傷衡量指標 (KPI}_I\text{)}: \sum_{i \in \Omega_I} f_I(t_i) \dots\dots\dots(3.1)$$

Ω_I ：所有重傷病患集合。

$f_I(t_i)$ ：重傷病患 i 在從檢傷後經過時間 t 接受到醫療服務的存活率。 $i \in \Omega_I$ 。

$$\text{中傷衡量指標 (KPI}_D\text{)}: \sum_{i \in \Omega_D} f_D(t_i) \dots\dots\dots(3.2)$$

Ω_D ：所有中傷病患集合。

$f_D(t_i)$ ：中傷病患 i 在從檢傷後經過時間 t 接受到醫療服務的康復率。 $i \in \Omega_D$ 。

為何本研究要採用康復率做為中傷傷患之衡量指標，而非採用存活率？傷患的病情會隨著時間的流逝而惡化，中傷病患雖然不如重傷病患有急迫的生命危險，即便如此，中傷病患若延遲治療仍會導致傷口感染、傷勢不易復原，但並不影響生命危險，因此本研究認為中傷病患的存活率理應為百分之百。然而即使中傷病患沒有生命危險，在情況允許下也需盡早接受醫療服務，否則可能發生傷口感染或是病情惡化之情形，導致傷勢復原不佳，故本研究以康復率做為中傷病患的衡量標準。

3.2 問題假設

本研究共有九項假設，分別敘述如下：

1. 大量傷病患事故之檢傷點數量、檢傷點位置、傷患數量以及嚴重度已知且不變動。

當發生大量傷病患事故時，一開始可能無法獲得確切的傷患數量及其他資訊，隨著時間的推移可獲得的資訊會越來越多。本研究主要目的為找出不同情境下的最佳送醫策略，靜態的已知環境即可達到此目的，除此之外，在檢傷點和傷患資訊已知且不變動的情況下，本研究的環境已十分複雜。

2. 於檢傷點僅考慮重傷與中傷病患之後送派遣。

傷患於檢傷點可依照傷重程度被分為重傷、中傷、輕傷共三種分類。由於輕傷病患大多為皮肉傷並且行動無礙，因此本研究主要著重於重傷及中傷病患之送醫派遣。

3. 每一台救護車一次只能運送一名傷患。

救護車能運送的傷患數量視車輛種類及傷患種類而不同，以實務而言，救護車一次通常僅運送一名重傷傷患，救護車運送中傷病患則視傷患情況，一次運送一至兩名中傷，本研究統一假設：不論中傷、重傷，每一台救護車一次僅能運送一名傷患。

4. 救護車之行駛速率皆相同。

在路況不同、駕駛行為不同等情況下，救護車每趟次之行駛速率皆不相同，若要詳細探究需考慮許多影響行駛速率之因素，而導致研究環境過於複雜，因此本研究假設救護車之行駛速率皆相同。

5. 傷患接受醫療服務後不考慮傷患轉院之行為。

於檢傷點將傷患後送醫院時，會同時考慮傷患之傷種程度以及醫院的等級分類，使得傷患獲得確適醫療，例如：將中傷傷患後送至中度醫院。然而，傷患有可能是因為種種原因而導致傷勢惡化，與當初評估結果不同，使得傷重程度超過原本後送醫院的醫療處理能力，接受醫療服務後仍然需要將傷患轉診至其他醫療處理能力較強的醫院，但由於是否將傷患轉院須經由醫生專業判斷，此過程難以量化，為簡化環境，故傷患接受醫療服務後不考慮轉院之行為。

在某些特殊的送醫策略（例如將傷患隨機指派至醫院），會發生傷患一開始就確定無法獲得確適醫療的情形，例如：將重傷傷患送至一般醫院，該狀況下則需要轉院，本研究會安排傷患在接受醫療服務之前就會進行轉院，因此與該假設不產生衝突。

6. 檢傷點後送傷患的救護車和各醫院運送轉院傷患的救護車相互獨立作業。救護車除了會在檢傷點與醫院往返，若有轉院需求也需要在醫院與醫院之間往返，實務上而言，在檢傷點進行後送所使用的救護車和執行醫院間轉院的所使用的救護車可能相同，然而救護車的調度派遣並不在本研究範圍內，因此本研究假設檢傷點後送傷患的救護車和各醫院運送轉院傷患的救護車相互獨立作業，在檢傷點派遣傷患的行為並不會影響到傷患轉院的行為，在檢傷點的救護車和在各醫院執行轉院的救護車各自屬於不同的集合且不會重疊。

7. 不考慮跨院支援之醫療行為。

發生大量傷病患時，該區域的醫療資源會發生供不應求的情況，當地的醫院在短時間內也會湧入大量的傷患，在此情況下，會有來自其他區域、其

他醫院的醫護人員前來支援，但跨院醫療支援所牽連的範圍廣大，並有許多不確定因素，因此本研究暫不考慮跨院支援之醫療行為。

8. 不考慮日常救護行為。

救護車平時有緊急救護之工作，醫院的急診室平時也有需處理的傷患，若將日常的救護行為納入考慮會使得問題過於分散且複雜，因此本研究僅考慮大量傷病患事故所產生的傷病患，不考慮日常救護的傷患。

9. 重傷病患需於檢傷後一小時內接受醫療服務、中傷病患需於檢傷後四小時之內接受醫療服務。

傷患若是等待過久未接受醫療服務，可能會傷勢惡化導致不易康復甚至死亡，因此本研究根據倫敦在 2016 年發佈的大量傷病患事故應變指南限制重傷病患需於檢傷後一小時內接受醫療服務，若重傷病患未於檢傷後一小時內接受醫療服務，則會被視為死亡。中傷病患則需於檢傷後四小時之內接受醫療服務。

3.3 送醫策略

由先前之章節已大致瞭解當發生大量傷病患事故時，將傷患送醫之流程，此章節主要探討送醫策略，主要可分為四個決策層面，由圖 3-2 所示，首先必須先決定檢傷點之間的指揮原則，再來需要決定指派傷患送醫原則，接下來需要決定指派醫院之原則，醫院部分也有不同的人力配置原則。

A. 檢傷點間指揮原則	B. 檢傷點決定傷患送醫順序原則	C. 檢傷點指派傷患至醫院原則	D. 重度醫院內人力配置原則
<ul style="list-style-type: none"> 中央統一調度 檢傷點各自派遣 	<ul style="list-style-type: none"> 先到先服務 重傷先送 	<ul style="list-style-type: none"> 救護車行駛時間 接受看診時剩餘黃金時間 隨機後送 輪流後送 	<ul style="list-style-type: none"> 分開處理中傷和重傷傷患 合併處理中傷和重傷傷患

圖 3-2 大量傷病患事故送醫策略架構

圖 3-2(A)：檢傷點間指揮原則

1. 中央統一調度
2. 檢傷點各自派遣

發生大量傷病患事故後，會設立一個或多個檢傷集結點，本研究欲探討檢傷點之間中央統一調度及檢傷點各自派遣之差別，圖 3-3 以簡易的圖示表示兩原則的概念，圖(a)表示各自派遣原則，代表各檢傷點間皆獨立運作、不相互影響，並且無法得知另一檢傷點之後送資訊，檢傷點各自派遣在執行上較為容易，但因為檢傷點間無法即時溝通協調，導致傷患後送資訊不透明，容易將傷患都送至相同醫院，使得部分醫院負荷過大，傷患到院時發現等待時間過長。圖(b)為中央統一調度原則，虛擬指派中心目的為匯集整合上下游資訊，彙整各檢傷點之傷患資料，後送派遣員考慮各檢傷點狀況後將傷患指派至醫院。因此中央統一調度原則為優點為可以掌握全局，在指派傷患時不會有資訊不對等之情況，但此原則之一大挑戰為：如何在如此荒亂並且時間緊迫的情境下即時地

蒐集並彙整各檢傷間的資訊？若該虛擬指派中心無法在短時間內統整各檢傷點資料並下達送醫指令，則會拖延到傷患的送醫時間，效率不彰的情況下反而對傷患不利。

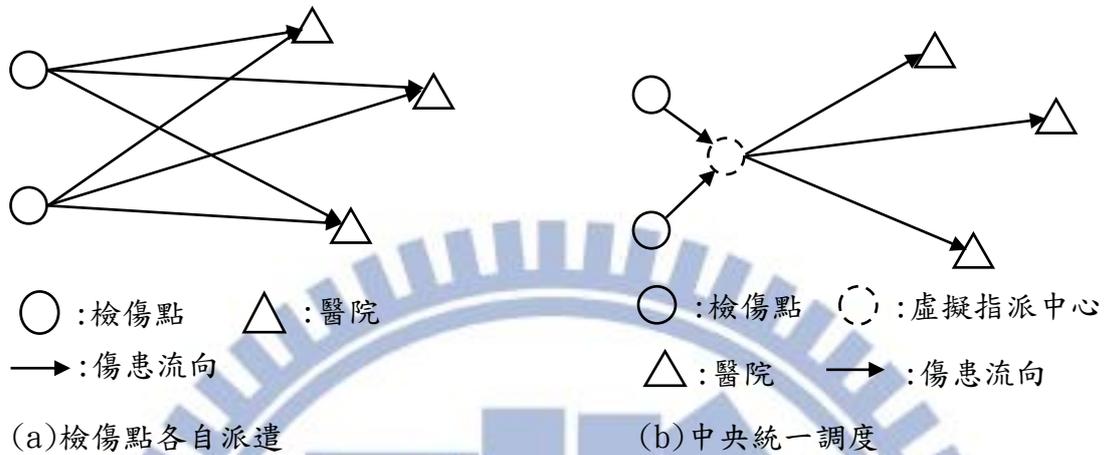


圖 3-3 檢傷點間指揮原則概念圖

圖 3-2(B)：檢傷點傷患等候就醫排隊原則

1. 先到先服務
2. 重傷先送

確定檢傷點間的指派原則為中央統一派遣或檢傷點各自派遣後，必須決定等候送醫傷患間的優先順序，傷患抵達檢傷點後，若沒有等待就醫的傷患並且有空閒的救護車，此時救護車則可將傷患後送至醫院。反之，傷患抵達檢傷點後發現沒有可使用之救護車時，必須排隊等待後送，本研究探討兩種排序原則。先到先服務為較直觀並且容易執行之指派原則，但該原則並未將傷患的傷重程度納入考量，因此另一原則是根據傷患的傷重不同程度而給予不同優先順序，優先後送重傷傷患。後送管制員可以依據不同考量選擇不同的排序原則。

圖 3-2(C)：檢傷點指派傷患至醫院原則

a. 救護車行駛時間

由行駛時間短到行駛時間長

由行駛時間長到行駛時間短

b. 接受服務時之剩餘黃金時間

由剩餘黃金時間長到剩餘黃金時間短

由剩餘黃金時間短到剩餘黃金時間長

c. 隨機後送

待轉院傷患排隊原則為先到先服務

待轉院傷患排隊原則為重傷先送

d. 輪流後送

待轉院傷患排隊原則為先到先服務

待轉院傷患排隊原則為重傷先送

在決定傷患送醫的先後順序後便要決定要將傷患送至哪家醫院，本研究討論四種不同的選擇後送醫院方法。

a. 根據救護車行駛時間

行駛時間是由檢傷點與醫院間的距離和救護車行駛速率決定，3.2 節有提到本研究假設救護車行駛速率相同，在救護車行駛速率為定值的情況下，檢傷點與醫院間的距離越遠，救護車的行駛時間則會越長。

根據救護車行駛時間指派傷患可細分為兩種可能：一種是將傷患先指派至距離最近的醫院，再漸漸地送到較遠的醫院，此原則會將傷患優先送至距離檢傷點最近且到傷患到院接受醫療服務的黃金剩餘大於零的醫院，直到最近的醫院無法再接收新的病患時，再送至距離次近且傷患到院接受醫療服務的黃金剩餘大於零的醫院。另一種則是將傷患先指派至距離最遠的醫院，再漸漸地送到較近的醫院。

b. 依據傷患接受服務時之剩餘黃金時間

計算方式如下：

接受服務時之剩餘黃金時間=當下剩餘黃金時間-(檢傷點至醫院行駛時間+醫院內等候時間)

傷患若指派到不同醫院所需的等候時間皆不相同，因此考慮的因素包含會從

檢傷點到醫院的運送時間以及在醫院內的等候時間，接受服務時之剩餘黃金時間必須大於零才能指派至該家醫院。

根據傷患接受服務時之剩餘黃金時間指派傷患亦可細分為兩種可能：一種是將優先指派至剩餘黃金時間較長的那家醫院，亦即指派至該醫院時，傷患接受服務時之存活率/康復率較高，再漸漸地送到剩餘黃金時間較短的醫院；另一種則是將傷患先指派至距離黃金時間最短但仍大於零的醫院，再漸漸地送到黃金時間較長的醫院。

c. 隨機後送

此種指派方式會隨機選擇後送的醫院，距離越近的醫院被選擇的機率越高，經由訪談結果得知，現實生活中會有隨機指派傷患至醫院之可能，並且不考慮醫院的醫療能力，因此會有傷患無法獲得確適醫療，故本研究在此送醫原則中將一般醫院納入考量，當傷患被隨機指派至醫療能力較低的醫院時，則須安排轉院，在醫院內等待轉院的傷患可能有中傷也有可能為重傷，待轉院的傷患可分為兩種等候原則：先到先服務與重傷先送。

以下舉個小例子說明隨機後送之指派原則：

共有七名傷患等待後送，採取先到先服務，共有六名中傷及一名重傷。醫院共有三家，距離檢傷點由近而遠分別是中度醫院的醫院1、一般醫院的醫院2、重度醫院的醫院3。隨機指派的結果如表3-1所示，醫院1距離檢傷點最近因此最多傷患被至派至此（4名），其次是醫院2（2名），最後是醫院3（1名）。傷患4與傷患6為中傷病患，但被隨機指派至一般醫院，在此情況下需要安排轉院至中度醫院或重度醫院。

表 3-1 隨機後送舉例結果

傷患編號	傷患 1	傷患 2	傷患 3	傷患 4	傷患 5	傷患 6	傷患 7
傷重程度	中傷	中傷	重傷	中傷	中傷	中傷	中傷
醫院編號	醫院 1	醫院 1	醫院 3	醫院 2	醫院 1	醫院 2	醫院 1
醫院等級	中度	中度	重度	一般	中度	一般	中度

d. 輪流後送

此種指派方式是依照檢傷點與醫院距離，由近而遠輪流指派傷患。

如同隨機後送，本研究亦在此原則將一般醫院納入考量，當傷患被隨機指派至醫療能力較低的醫院時，則須安排轉院，在醫院內等待轉院的傷患可能有中傷也有可能為重傷，待轉院的傷患可分為兩種等候原則：先到先服務與重傷先送。

以下舉個小例子說明輪流後送之指派原則：

傷患及醫院的數量及分類與前個例子相同，共有七名傷患等待後送，採取先到先服務，共有六名中傷及一名重傷。醫院的部分，距離檢傷點由近而遠分別是中度醫院的醫院1、一般醫院的醫院2、重度醫院的醫院3。輪流後送的結果如表3-2所示，傷患分別依序輪流後送至醫院1、醫院2、醫院3，此時若有新的傷患7產生，則由醫院2開始繼續送。傷患2與傷患5為中傷病患，但被送至一般醫院，在此情況下需要安排轉院至中度醫院或重度醫院。本研究會選擇將傷患轉院至對傷患情況最好（抵達醫院時剩餘黃金時間最長）的醫院。

表 3-2 輪流後送舉例結果

傷患編號	傷患 1	傷患 2	傷患 3	傷患 4	傷患 5	傷患 6	傷患 7
傷重程度	中傷	中傷	重傷	中傷	中傷	中傷	中傷
醫院編號	醫院 1	醫院 2	醫院 3	醫院 1	醫院 2	醫院 3	醫院 1
醫院等級	中度	一般	重度	中度	一般	重度	中度

圖 3-2(D)：重度醫院急診室內人力配置原則

- a. 分開處理中傷和重傷病患
- b. 合併處理中傷和重傷病患

根據前述之原則我們已知要將傷患送至哪家醫院，重傷及中傷病患均可被送至重度醫院，此時重度醫院院內急診室面臨以下問題：急診室內之醫護人員如何

配置？如何決定傷患看診順序？每家醫院的做法可能不盡相同，因此本研究根據不同的人員配置建立兩種不同的排隊架構。主要區別為重度醫院急診室內是否將醫護人員分類。

a. 分開處理中傷和重傷病患

分類後的醫護人員僅能處理單一類別的傷患，指派一定比例的醫護人員專門處理重傷病患，剩餘的醫護人員則負責處理中傷病患，負責處理重傷的醫護人員不會去處理到中傷的病患；負責處理中傷的醫護人員不會處理到重傷病患。圖 3-4 為簡單的範例，醫院內共五名醫生，醫生 1、醫生 2、醫生 3 負責處理中傷傷患；醫生 4、醫生 5 負責處理重傷傷患。此分類的優點為分工明確、不易造成混亂，然而當中傷或重傷人數較少時，可能會導致負責該種類的醫護人員空閒，無法充分發揮醫療資源。



圖 3-4 分開處理中傷和重傷病患例圖

b. 合併處理中傷和重傷傷患

若急診室內的醫護人員未進行分類，所有醫生都可能會處理到中傷和重傷傷患，圖 3-5 為簡單的範例。此種分類的優點是可以充分利用醫療資源，不會有醫生閒置的狀態，但可能對數量較少的傷患種類較為不利。例如：醫療資源都被較早抵達的中傷傷患占用，後到的重傷傷患則須排隊等待接受醫療服務，若有將醫護人員分類，重傷傷患則可較早接受到醫療服務。

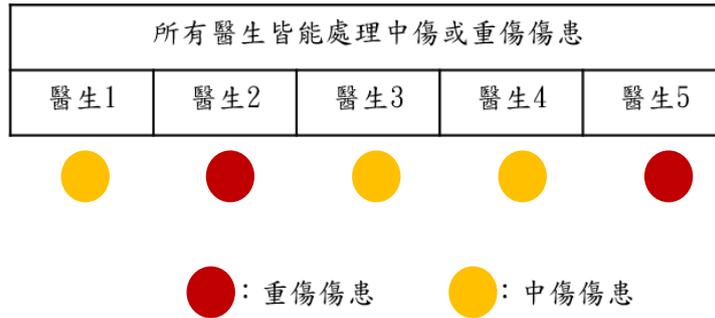


圖 3-5 合併處理中傷和重傷病患例圖

綜上所述，檢傷點間指揮原則內可分為 2 小原則（中央統一調度、檢傷點各自派遣）；於檢傷點決定傷患送醫順序原則內可分為 2 小原則（先到先服務、重傷先送）；檢傷點指派傷患至醫院原則內可分為 8 小原則（救護車行駛時間由短到長、救護車行駛時間由長到短、接受看診時剩餘黃金時間由長到短、接受看診時剩餘黃金時間由短到長、隨機後送且待轉院傷患先到先服務、隨機後送且待轉院傷患重傷優先、輪流後送且待轉院傷患先到先服務、輪流後送且待轉院傷患重傷優先）；重度醫院內人力配置原則內可分為 2 小原則（分開處理中傷和重傷傷患、合併處理中傷和重傷傷患）。本研究共有 64 個送醫策略，由圖 3-6 和圖 3-7 的樹狀圖表示。

本研究的大量傷病患送醫策略主要可分為四個層面（檢傷點之間的指揮原則、檢傷點內傷患等候就醫排隊原則、選擇醫院之指派原則、重度醫院急診室內人力配置原則），其中檢傷點內傷患等候就醫排隊原則、選擇醫院之指派原則這兩個層面屬於可即時進行決策之原則，後送管制員可以當下就決定該先送哪名傷患、送至哪家醫院。但檢傷點之間的指揮原則和重度醫院人力的配置原則會牽連到組織架構變更甚至設備上的變動，因此難以在短時間的決策下即進行更變，需要較長期的規劃。

重度醫院急診室內中傷和重傷病患合併處理

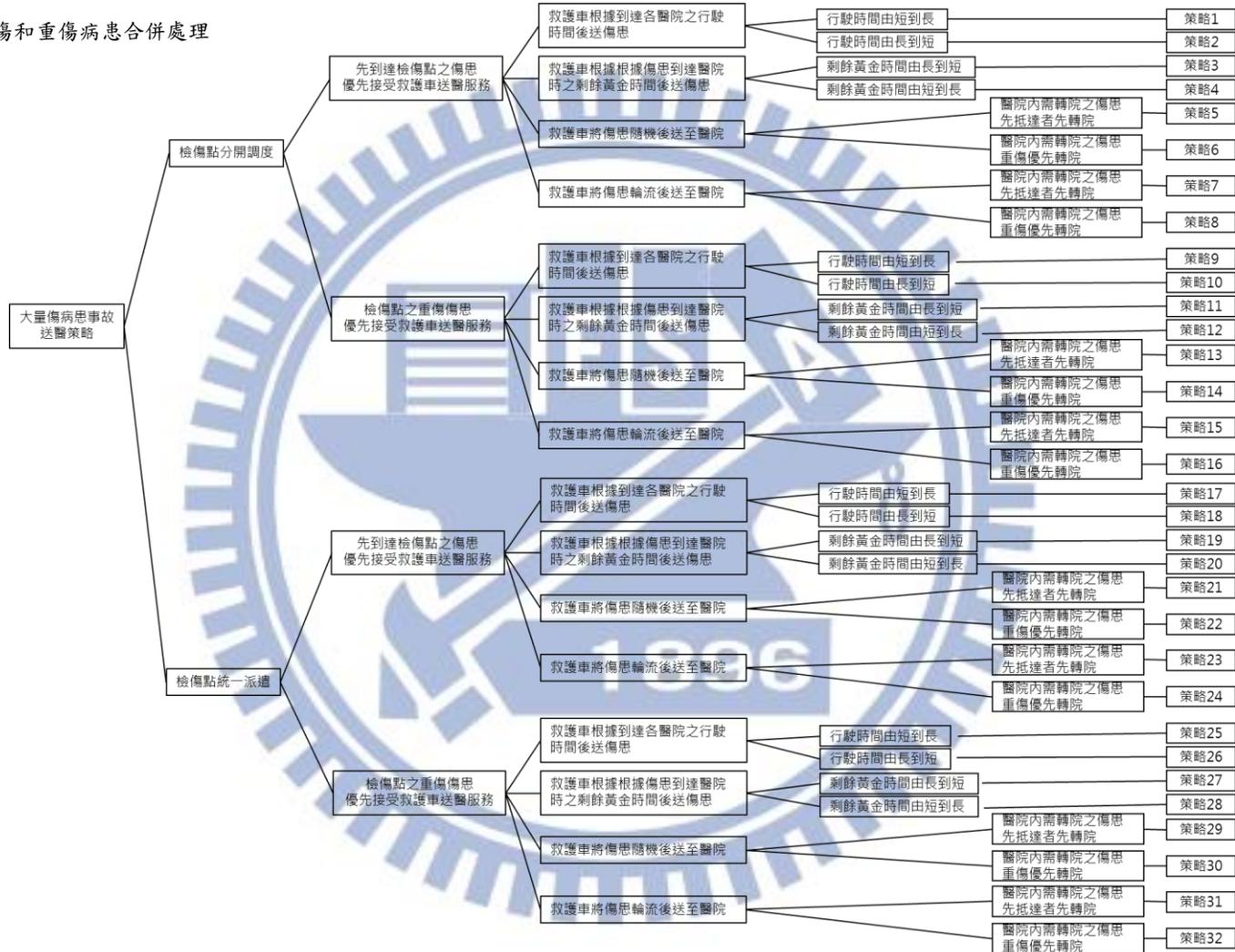


圖 3-6 大量傷病患事故送醫策略樹狀圖 (重度醫院急診內醫療人員無分類)

重度醫院急診室內中傷和重傷病患分開處理

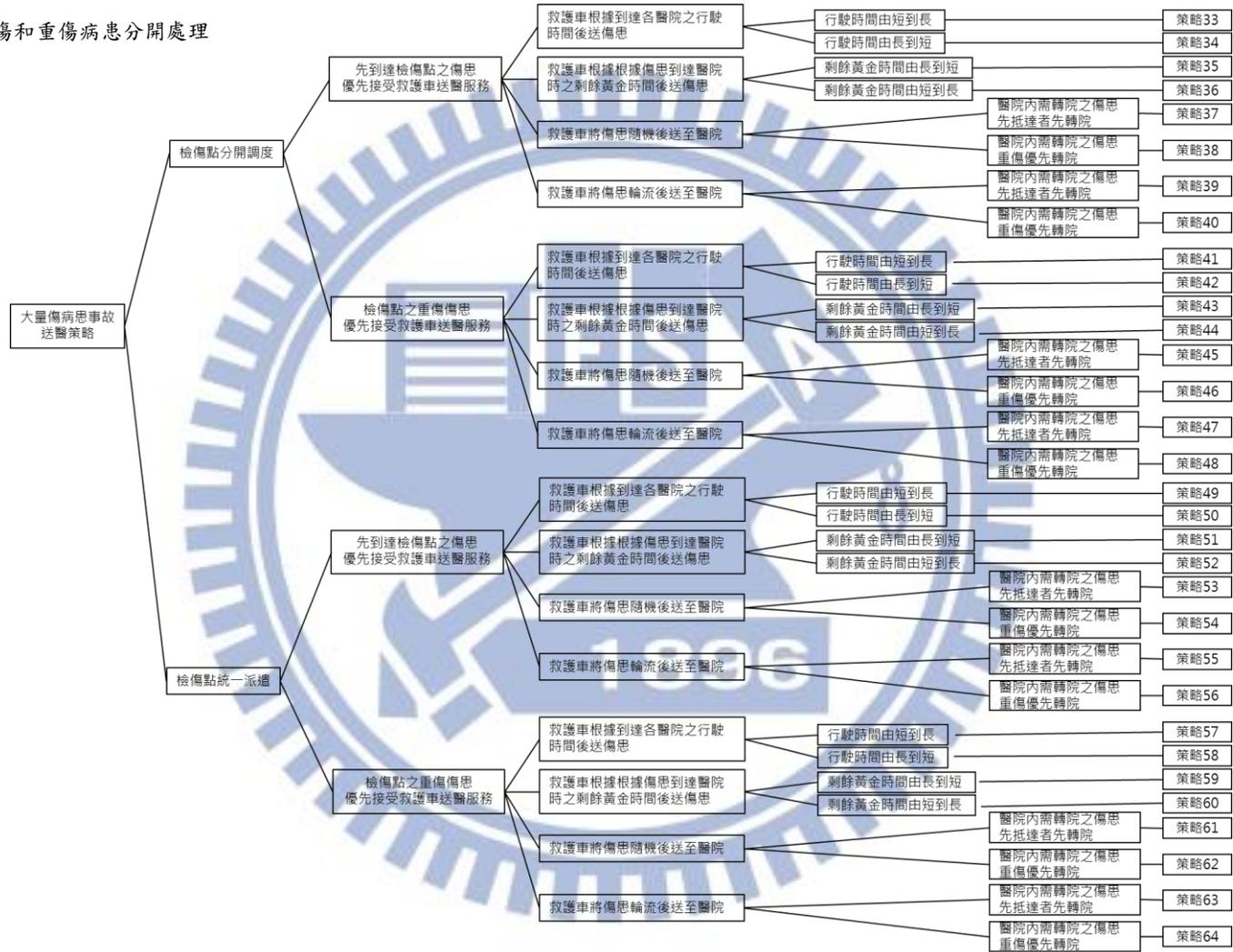


圖 3-7 大量傷病患事故送醫策略樹狀圖（重度醫院急診內醫療人員有分類）

以下將 64 種送醫策略條列化：

1. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患先到先服務、傷患送至行駛時間最短的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
2. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患先到先服務、傷患送至行駛時間最長的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
3. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患先到先服務、傷患送至剩餘黃金時間最長的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
4. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患先到先服務、傷患送至剩餘黃金時間最短的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
5. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患隨機送至醫院、等待轉院之傷患先到先服務、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
6. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患隨機送至醫院、等待轉院之傷患重傷先送、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
7. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患輪流送至醫院、等待轉院之傷患先到先服務、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
8. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患輪流送至醫院、等待轉院之傷患重傷先送、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
9. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患重傷先服務、傷患送至行駛時間最短的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
10. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患重傷先服務、傷患送至行駛時間最長的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
11. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患重傷先服務、傷患送至剩餘黃金時間最長的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
12. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患重傷先服務、傷患送至剩餘黃金時間最短的、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
13. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患隨機送至醫院、等待轉

- 院之傷患先到先服務、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
14. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患隨機送至醫院、等待轉院之傷患重傷先送、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
 15. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患輪流送至醫院、等待轉院之傷患先到先服務、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
 16. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患輪流送至醫院、等待轉院之傷患重傷先送、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
 17. 中央統一調度、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患送至行駛時間最短的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
 18. 中央統一調度、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患送至行駛時間最長的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
 19. 中央統一調度、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患送至剩餘黃金時間最長的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
 20. 中央統一調度、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患送至剩餘黃金時間最短的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
 21. 中央統一調度、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患隨機送至醫院、等待轉院之傷患先到先服務、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
 22. 中央統一調度、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患隨機送至醫院、等待轉院之傷患重傷先送、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
 23. 中央統一調度、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患輪流送至醫院、等待轉院之傷患先到先服務、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
 24. 中央統一調度、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患輪流送至醫院、等待轉院之傷患重傷先送、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
 25. 中央統一調度、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患送至行駛時間最短的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
 26. 中央統一調度、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患送至行駛時間最長的醫

- 院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
27. 中央統一調度、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患送至剩餘黃金時間最長的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
 28. 中央統一調度、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患送至剩餘黃金時間最短的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
 29. 中央統一調度、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患隨機送至醫院、等待轉院之傷患先到先服務、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
 30. 中央統一調度、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患隨機送至醫院、等待轉院之傷患重傷先送、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
 31. 中央統一調度、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患輪流送至醫院、等待轉院之傷患先到先服務、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
 32. 中央統一調度、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患輪流送至醫院、等待轉院之傷患重傷先送、醫重度院內重傷傷患和中傷傷患合併處理。
 33. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患先到先服務、傷患送至行駛時間最短的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
 34. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患先到先服務、傷患送至行駛時間最長的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
 35. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患先到先服務、傷患送至剩餘黃金時間最長的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
 36. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患先到先服務、傷患送至剩餘黃金時間最短的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
 37. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患隨機送至醫院、等待轉院之傷患先到先服務、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
 38. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患隨機送至醫院、等待轉院之傷患重傷先送、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
 39. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患輪流送至醫院、等待轉

- 院之傷患先到先服務、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
40. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患輪流送至醫院、等待轉院之傷患重傷先送、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
 41. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患重傷先服務、傷患送至行駛時間最短的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
 42. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患重傷先服務、傷患送至行駛時間最長的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
 43. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患重傷先服務、傷患送至剩餘黃金時間最長的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
 44. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患重傷先服務、傷患送至剩餘黃金時間最短的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
 45. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患隨機送至醫院、等待轉院之傷患先到先服務、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
 46. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患隨機送至醫院、等待轉院之傷患重傷先送、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
 47. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患輪流送至醫院、等待轉院之傷患先到先服務、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
 48. 檢傷點各自派遣、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患輪流送至醫院、等待轉院之傷患重傷先送、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
 49. 醫院中央統一調度、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患送至行駛時間最短的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
 50. 中央統一調度、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患送至行駛時間最長的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
 51. 中央統一調度、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患送至剩餘黃金時間最長的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
 52. 中央統一調度、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患送至剩餘黃金時間最短的

醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。

53. 中央統一調度、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患隨機送至醫院、等待轉院之傷患先到先服務、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
54. 中央統一調度、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患隨機送至醫院、等待轉院之傷患重傷先送、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
55. 中央統一調度、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患輪流送至醫院、等待轉院之傷患先到先服務、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
56. 中央統一調度、檢傷點之傷患先到先服務、將傷患輪流送至醫院、等待轉院之傷患重傷先送、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
57. 中央統一調度、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患送至行駛時間最短的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
58. 中央統一調度、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患送至行駛時間最長的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
59. 中央統一調度、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患送至剩餘黃金時間最長的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
60. 中央統一調度、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患送至剩餘黃金時間最短的醫院、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
61. 中央統一調度、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患隨機送至醫院、等待轉院之傷患先到先服務、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
62. 中央統一調度、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患隨機送至醫院、等待轉院之傷患重傷先送、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
63. 中央統一調度、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患輪流送至醫院、等待轉院之傷患先到先服務、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。
64. 中央統一調度、檢傷點之傷患重傷先服務、將傷患輪流送至醫院、等待轉院之傷患重傷先送、重度醫院內重傷傷患和中傷傷患分開處理。

第四章 排隊網路模型

文獻回顧時有提到本研究將應用排隊理論，並建立排隊網路模型 (queueing network model)，本章節探討如何將大量傷病患事故之環境轉換為排隊網路以及排隊網路之組成。本研究之排隊網路包含檢傷集結點、醫院、臨時醫療站。除了臨時醫療站，其他皆以排隊系統表示 (queueing system)，重度醫院內包含了兩種不同的排隊系統、中度醫院內包含兩種不同的排隊系統，一般醫院和檢傷集結點各為一個排隊系統，因此本研究之排隊網路共包含六個不同類型之排隊系統。然而重度醫院急診室內醫護人員有無分類會影響排隊系統之結構，表 4-1 為重度醫院急診室內醫護人員無分類下的排隊網路組成，表 4-2 為重度醫院急診室內醫護人員有分類下的排隊網路組成，兩者的差別在於重度醫院內的排隊系統結構不同，後續章節會進行詳細討論。

表 4-1 重度醫院急診室內醫護人員無分類下之排隊網路組成

排隊網路 (queueing network)	檢傷集結點	排隊系統 1 (queueing system 1)
	重度醫院	排隊系統 2-1：掛號處 (queueing system 2-1)
		排隊系統 2-2：醫生看診處 (queueing system 2-2)
	中度醫院	排隊系統 3-1：醫生看診處 (queueing system 3-1)
		排隊系統 3-2：轉院等候處 (queueing system 3-1)
	一般醫院	排隊系統 4：轉院等候處 (queueing system 4)
臨時醫療站		

表 4-2 重度醫院急診室內醫護人員無分類下之排隊網路組成

排隊網路 (queueing network)	檢傷集結點	排隊系統 1 (queueing system 1)
	重度醫院	排隊系統 2-1：重傷傷患看診處 (queueing system 2-1)
		排隊系統 2-2：中傷傷患看診處 (queueing system 2-2)
	中度醫院	排隊系統 3-1：醫生看診處 (queueing system 3-1)
		排隊系統 3-2：轉院等候處 (queueing system 3-1)
	一般醫院	排隊系統 4：轉院等候處 (queueing system 4)
臨時醫療站		

4.1 重度醫院急診室內醫護人員無分類

圖 4-1 為一個檢傷點、一家重度醫院、一家中度醫院、一家一般醫院、重度醫院急診室內醫護人員無分類情況下的排隊網路模型，此模型共包含六個不同的排隊系統：

Queueing System Type 1 代表的是檢傷集結點；

Queueing System Type 2 代表的是一般醫院的轉院等候處；

Queueing System Type 3-1 代表的是中度醫院的醫生看診處；

Queueing System Type 3-2 代表的是中度醫院的轉院等候處；

Queueing System Type 4-1 代表的是重度醫院的醫生看診處；

Queueing System Type 4-2 代表的是重度醫院的掛號處。

發生大量傷病患事故後，傷患會以到達率 λ_1 抵達檢傷集結點，後送管制員根據不同指派原則將傷患送至不同醫院，在隨機後送或輪流後送的指派原則下，傷患可能無法獲得確適醫療因此需要安排轉院（例如：重傷傷患被指派至中度或一般醫院、中傷傷患被指派至一般醫院），因此會有以下三種轉院可能：

1. 重傷傷患由一般醫院轉院至重度醫院
2. 重傷傷患由中度醫院轉院至重度醫院
3. 中傷傷患由一般醫院轉院至中度醫院

當中傷病患被送至重度醫院時，中傷病患必須先至掛號處（Queueing System 4-2）進行掛號並等待進入醫生看診處的等候系統（Queueing System 4-1）接受醫療服務。重傷傷患則不需掛號，可以直接進入醫生看診處的等候系統（Queueing System 4-1）。

然而並不是所有傷患都可以順利地被送至醫院，以下有三種傷患無法接受醫療服務的可能：

1. 於檢傷點指派傷患至醫院時發現所有醫院皆已無法再容納更多傷患，此時則無法將傷患進行後送。
2. 指派傷患轉院時若發現所有醫院皆已無法再容納更多傷患，此時則無法將傷患進行轉院。
3. 傷患到達醫院後發現醫療負荷已滿，無法再接受該傷患，此時傷患無法進入醫療系統接受醫療服務。

因此本研究設置了建議臨時醫療站，集結無法從檢傷點後送的傷患，可做為日後要建立臨時醫療站設立規模大小的參考項目之一。

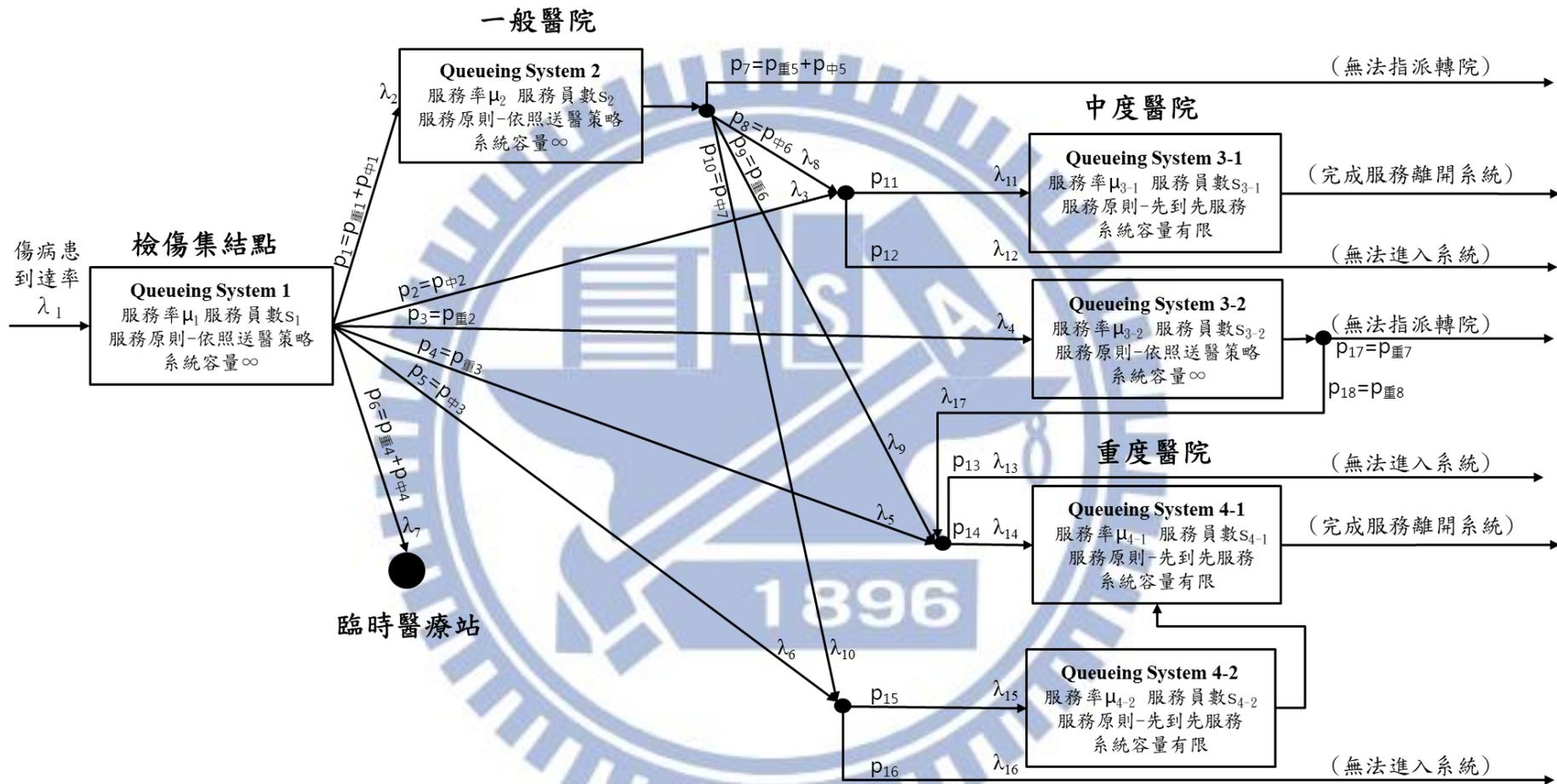


圖 4-1 排隊網路(檢傷點、一般醫院、中度醫院、重度醫院數目皆為 1、重度醫院急診室內醫護人員無分類)

$p_1 \sim p_6$: 傷病患後送至重度醫院、中度醫院、一般醫院、建議臨時醫療站之比例(模擬結果)

$$\sum_{i=1}^6 p_i = 1$$

$p_7 \sim p_{10}$: 傷病患從一般醫院轉院至重度醫院和中度醫院與無法指派轉院之比例(模擬結果)

$$\sum_{i=7}^{10} p_i = 1$$

$p_{11} \sim p_{12}$: 中傷病患進入中度醫院之等候系統、無法進入系統比例(模擬結果)

$$\sum_{i=11}^{12} p_i = 1$$

$p_{13} \sim p_{14}$: 重傷病患進入重度醫院之等候系統、無法進入系統比例(模擬結果)

$$\sum_{i=13}^{14} p_i = 1$$

$p_{15} \sim p_{16}$: 中傷病患進入重度醫院之等候系統、無法進入系統比例(模擬結果)

$$\sum_{i=15}^{16} p_i = 1$$

$p_{17} \sim p_{18}$: 重傷病患從中度醫院轉院至重度醫院、無法指派轉院之比例(模擬結果)

$$\sum_{i=17}^{18} p_i = 1$$

檢傷集結點

該排隊系統到達率 λ_1 為救護人員將傷病患送至檢傷集結點之到達率，傷病患在檢傷集結點內會根據傷重程度進行分類，並由救護車將傷病患送至醫院，因此可後送救護車數量代表服務員數目 s_1 ，服務率 μ_1 為救護車之疏散率。由於檢傷集結點通常設於事故地點附近安全且空曠的地方，並設立多個檢傷點，因此在本研究對於檢傷集結點無容量限制。

醫院

當後送派遣員於檢傷點進行傷患指派時，必須先瞭解各醫院之就醫人數及排隊狀況，由此可估算傷患在該排隊系統所需之等待時間，再將此等候時間與該名傷患之剩餘黃金時間比較，若該傷患在醫院的等候時間大於傷患之剩餘黃金時間，該名傷患無法被派送至此醫院。舉例說明：醫院 A 內已有兩名傷患在等待接收醫療服務，若有新的傷患要進入醫院 A 必須等待 35 分鐘才能接受醫療服務，此時檢傷點要指派兩名傷患：傷患甲、傷患乙，傷患資訊如表 4-3 所示。傷患甲的剩餘黃金時間為 25 分鐘，傷患乙的剩餘黃金時間為 45 分鐘，若將傷患甲送至醫院 A 會因等候時間過長而無法存活，反之，將傷患乙指派至醫院 A 是可行的。

表 4-3 剩餘黃金時間範例傷患資訊表

	剩餘黃金時間	若後送至醫院 A 所需等候時間	是否可以派遣至 醫院 A
傷患甲	25 分鐘	35 分鐘	否
傷患乙	45 分鐘	35 分鐘	是

本研究認為醫院等後線長度並沒有一定的容量限制，接續剛才的例子討論，對於傷患甲來說，因為無法被指派至醫院 A，所以傷患甲會認為醫院 A 的等候

線僅能容納 2 名傷患；但對傷患乙而言，因為可以被指派至醫院 A，所以會認為醫院 A 的等候線至少可以容納 3 名病患，因此醫院的系統容量並無一固定的值，故本研究將醫院的系統容量皆設為無限大，此假設不代表醫院可容納無限多傷患，傷患是否能進入醫院系統是由傷患的剩餘黃金時間與系統的等候時間做為判斷依據。

重度醫院

圖 4-2 為傷患進入急診室後主要會歷經五大步驟：檢傷、掛號、醫師看診、護理處置、醫師重評。本研究假設急診室內的檢傷結果與在檢傷點的檢傷結果一致。重度醫院的內部環境較為複雜，中傷與重傷傷患有不同的就醫流程，中傷傷患進入急診室後會先歷經掛號才接受醫生看診；不同於中傷病患，重傷病患會先略過掛號的步驟直接進行醫師看診，但不論中傷或重傷病患都需要經過醫師看診，在急診室內醫護人員無分類的情況下，醫師必須決定病患看診的優先順序，若採取重傷先服務的原則，中傷必須等待所有重傷病患服務完畢才能接受醫師看診，可能會因為等待時間過長而導致病情惡化、不易康復。在同時考慮重傷病患的急迫性及中傷病患的康復率的條件下，本研究認為醫生應以重傷病患為主，但每隔一段時間必須替一位中傷病患看診，例如：每看五名重傷病患就需看一名中傷病患或是每隔二十分鐘需看一名中傷病患，為了呈現上述行為，我們將重度醫院的掛號處及醫生看診處各別視為一個排隊系統，因此重度醫院內會包含兩個排隊系統。

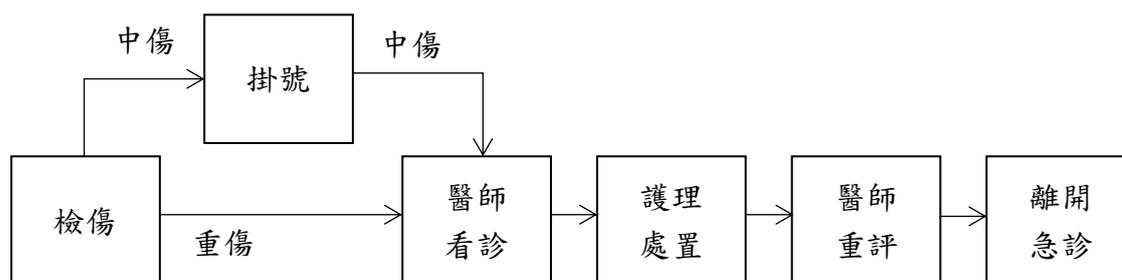


圖 4-2 重度醫院急診室之傷患服務流程

重度醫院-掛號處

因為重傷病患略過掛號步驟直接進行醫生看診，所以在掛號處的等候系統中僅有中傷病患。 λ_{2-1} 為救護車從檢傷集結點將中傷病患送至該重度醫院以及從一般醫院轉院至重度醫院的中傷病患到達率，中傷病患離開掛號系統後會直接進入下個系統(醫師看診)，因此多久安插一名中傷病患到看診系統即為服務率 μ_{2-1} 。因為一次只安插一名中傷病患，所以服務員數目 s_{2-1} 視為一名，掛號處的等後原則為先到先服務，即先到達掛號處的中傷病患會優先接受醫師看診，沒有限制醫院的系統容量，傷患是否能進入該醫院由剩餘的黃金時間決定。

重度醫院-醫師看診處

在醫師看診處的等後系統中，到達率 λ_{2-2} 包含了救護車從傷患集結點送至該重度醫院的重傷病患、從一般醫院轉院至重度醫院的重傷傷患、從中度醫院轉院至重度醫院的重傷傷患以及從掛號處來的中傷病患， μ_{2-2} 為醫師看診的服務率，服務員數目 s_{2-2} 為急診室內的醫生數目。在醫師看診處，重傷病患的服務原則為先到先服務，一旦中傷病患進入系統就必須接受服務，即中傷病患在醫師看診處有優先權(non-preemptive priority)。醫院系統容量無限大，傷患是否能進入該醫院由剩餘的黃金時間決定。

中度醫院

圖 4-2 為中度醫院急診室內的傷患服務流程圖。在隨機後送與輪流後送的情況下，重度傷患可能會被指派至中度醫院，詳細內容可見 3.3 小節的送醫策略。本研究假設急診室內的檢傷結果與在檢傷點的檢傷結果一致，若檢傷結果為重傷則必須等待轉院；若檢傷結果為中傷則進入醫療系統等候看診。中傷病患在急診室內接受醫療服務的流程中，本研究認為內醫師看診處為瓶頸之所在，因此中度醫院的醫療服務排隊系統會以醫生看診處表示。中度醫院內會包含兩個

排隊系統：轉院等候處與醫師看診處。

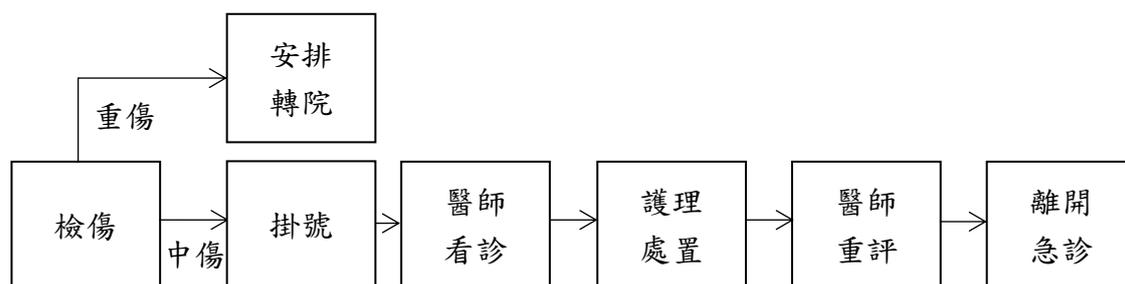


圖 4-3 中度醫院之傷患服務流程

中度醫院-醫師看診處

λ_{3-1} 為檢傷點指派至該醫院之中傷病患到達率以及從一般醫院轉院至中度醫院的中傷傷患到達率，並將急診室內的醫生數目視為服務員數目 s_{3-1} ， μ_{3-1} 表示醫生之服務率。因為在檢傷點做傷患指派時已將醫院內部現況納入考量，若在急診室內又採取非先到先服務的等候原則，在檢傷點的指派原則會失去意義，因此傷患在中度醫院的內等候原則為先到先服務。醫院系統容量無限大，傷患是否能進入該醫院由剩餘的黃金時間決定。

中度醫院-轉院等候處

中度醫院等候系統內 λ_{3-2} 為檢傷點指派至該醫院之重傷病患到達率，服務員數目 s_{3-2} 為該醫院可使用的救護車數量， μ_{3-2} 表示救護車之服務率。傷患等候原則可能為先到先服務或重傷優先。醫院系統容量無限大，傷患是否能進行轉院由到達醫院時剩餘的黃金時間決定。

一般醫院-轉院等候處

一般醫院等候系統內 λ_2 為檢傷點指派至該醫院之重傷及中傷病患到達率，服務員數目 s_2 為該醫院可使用的救護車數量， μ_2 表示救護車之服務率。傷患等候原則可能為先到先服務或重傷優先。醫院系統容量無限大，傷患是否能進行轉院由到達醫院時剩餘的黃金時間決定。

建議臨時醫療站

臨時醫療站為本研究設訂的虛擬接收點，目的為接收中重度醫院容納不下之傷病患。本研究將這些系統容納不下的傷病患集結至一虛擬點，若中央緊急應變中心欲建立醫臨時野戰醫院，以提供更多的醫療服務，則虛擬接收點內的傷病患數目可做為設立野戰醫院或臨時醫療站規模大小的參考。

然而在大量傷病患的情況下可能會有多個檢傷點及多家醫院，圖 4-4 為在兩個檢傷點、兩家中度醫院、兩家重度醫院、一個臨時醫療站、重度醫院急診室內醫護人員無分類情況下，將部分資訊簡化的排隊網路。



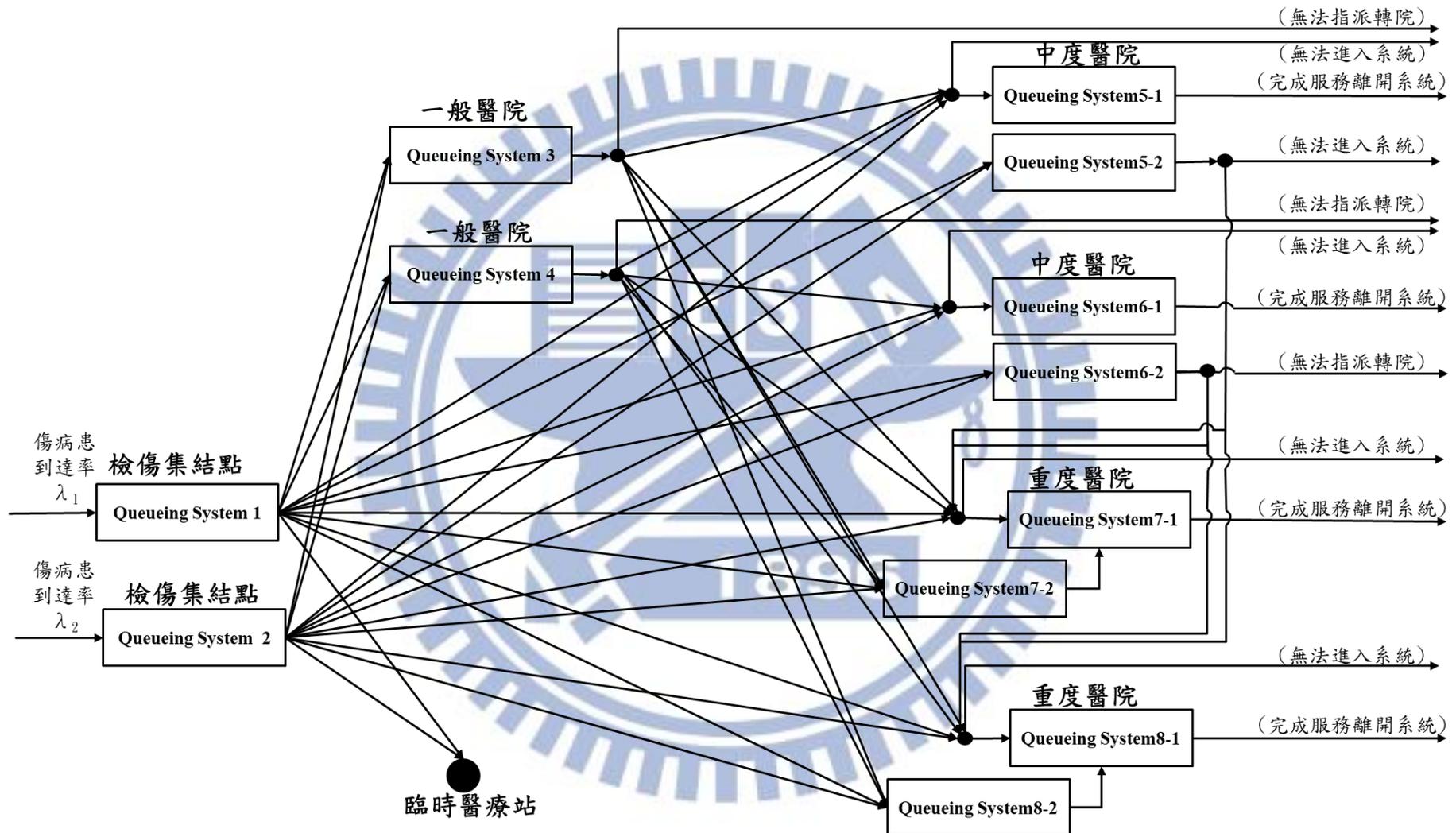


圖 4-4 排隊網路(檢傷點、一般醫院、中度醫院、重度醫院數目皆為 2、重度醫院急診室內醫護人員無分類)

4.2 重度醫院急診室內醫護人員無分類

圖 4-5 為一個檢傷點、一家重度醫院、一家中度醫院、重度醫院急診室內醫護人員有分類情況下的排隊網路模型，此模型共包含六個排隊系統：

Queueing System Type 1 代表的是檢傷集結點；

Queueing System Type 2 代表的是一般醫院的轉院等候處；

Queueing System Type 3-1 代表的是中度醫院的醫生看診處；

Queueing System Type 3-2 代表的是中度醫院的轉院等候處；

Queueing System Type 4-1 代表的是重度醫院的重傷病患看診處；

Queueing System Type 4-2 代表的是重度醫院的中傷病患看診處。

此排隊網路與重度醫院急診室內醫護人員無分類的排隊網路的差別僅在於重度醫院，此類別之重度醫院包含兩個排隊系統，一個負責處理中傷病患，另一個則負責處理重傷病患，因此在檢傷集結的傷患可以根據不同的傷重程度被送至不同醫院，在非隨機後送及輪流後送的指派原則下，中傷傷患可以被送至中度醫院的看診處（Queueing System 3-1）或是重度醫院負責處理中傷病患的看診處（Queueing System 4-2），重傷傷患僅能被送至重度醫院負責處理重傷病患的看診處（Queueing System 4-1）。

圖 4-6 為在兩個檢傷點、兩家中度醫院、兩家重度醫院、一個臨時醫療站、重度醫院急診室內醫護人員無分類情況下的排隊網路。

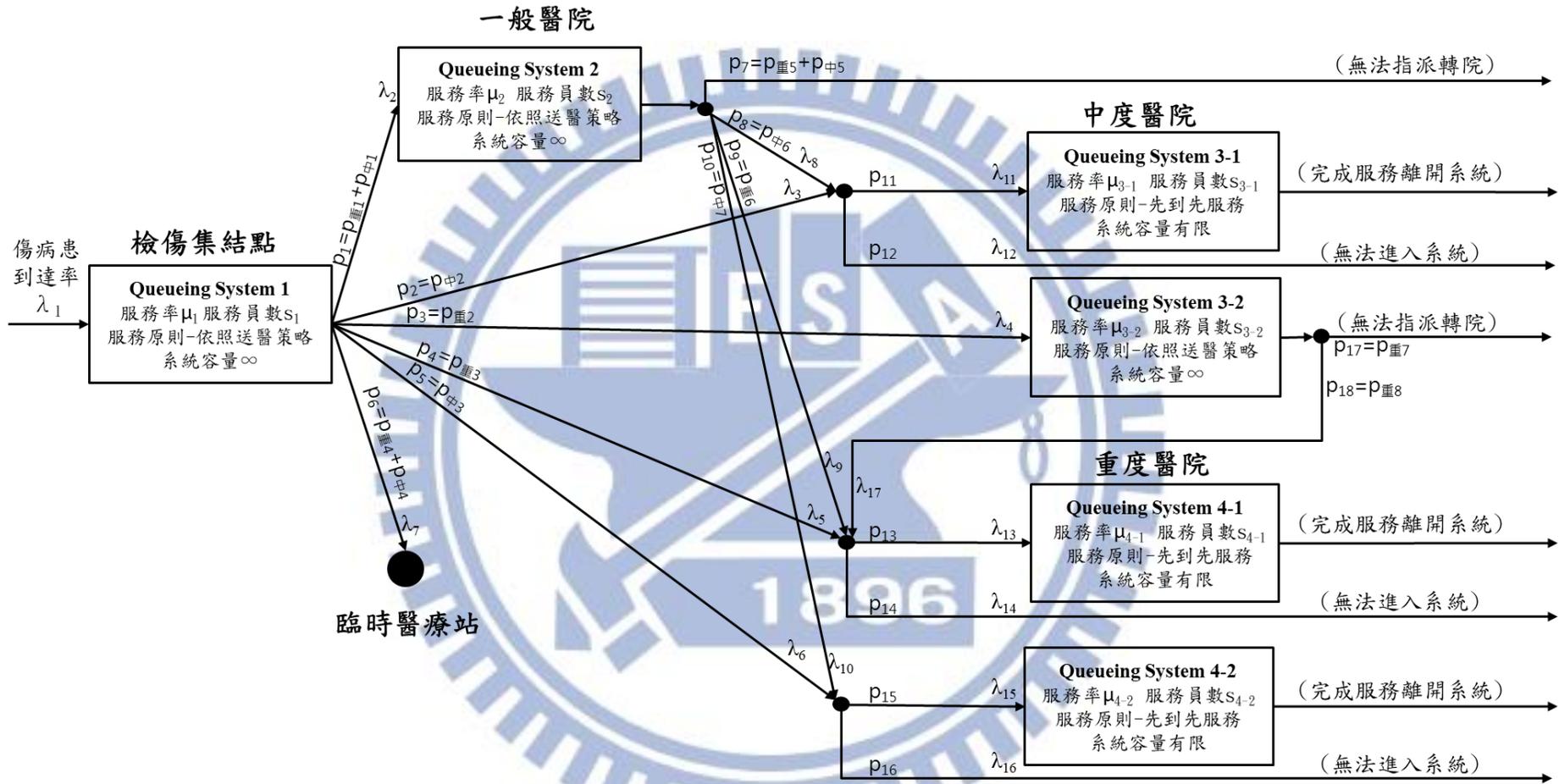


圖 4-5 排隊網路(檢傷點、中度醫院、重度醫院數目皆為 1、重度醫院急診室內醫護人員有分類)

$p_1 \sim p_6$: 傷病患後送至重度醫院、中度醫院、一般醫院、建議臨時醫療站之比例(模擬結果)

$$\sum_{i=1}^6 p_i = 1$$

$p_7 \sim p_{10}$: 傷病患從一般醫院轉院至重度醫院和中度醫院與無法指派轉院之比例(模擬結果)

$$\sum_{i=7}^{10} p_i = 1$$

$p_{11} \sim p_{12}$: 中傷病患進入中度醫院之等候系統、無法進入系統比例(模擬結果)

$$\sum_{i=11}^{12} p_i = 1$$

$p_{13} \sim p_{14}$: 重傷病患進入重度醫院之等候系統、無法進入系統比例(模擬結果)

$$\sum_{i=13}^{14} p_i = 1$$

$p_{15} \sim p_{16}$: 中傷病患進入重度醫院之等候系統、無法進入系統比例(模擬結果)

$$\sum_{i=15}^{16} p_i = 1$$

$p_{17} \sim p_{18}$: 重傷病患從中度醫院轉院至重度醫院、無法指派轉院之比例(模擬結果)

$$\sum_{i=17}^{18} p_i = 1$$

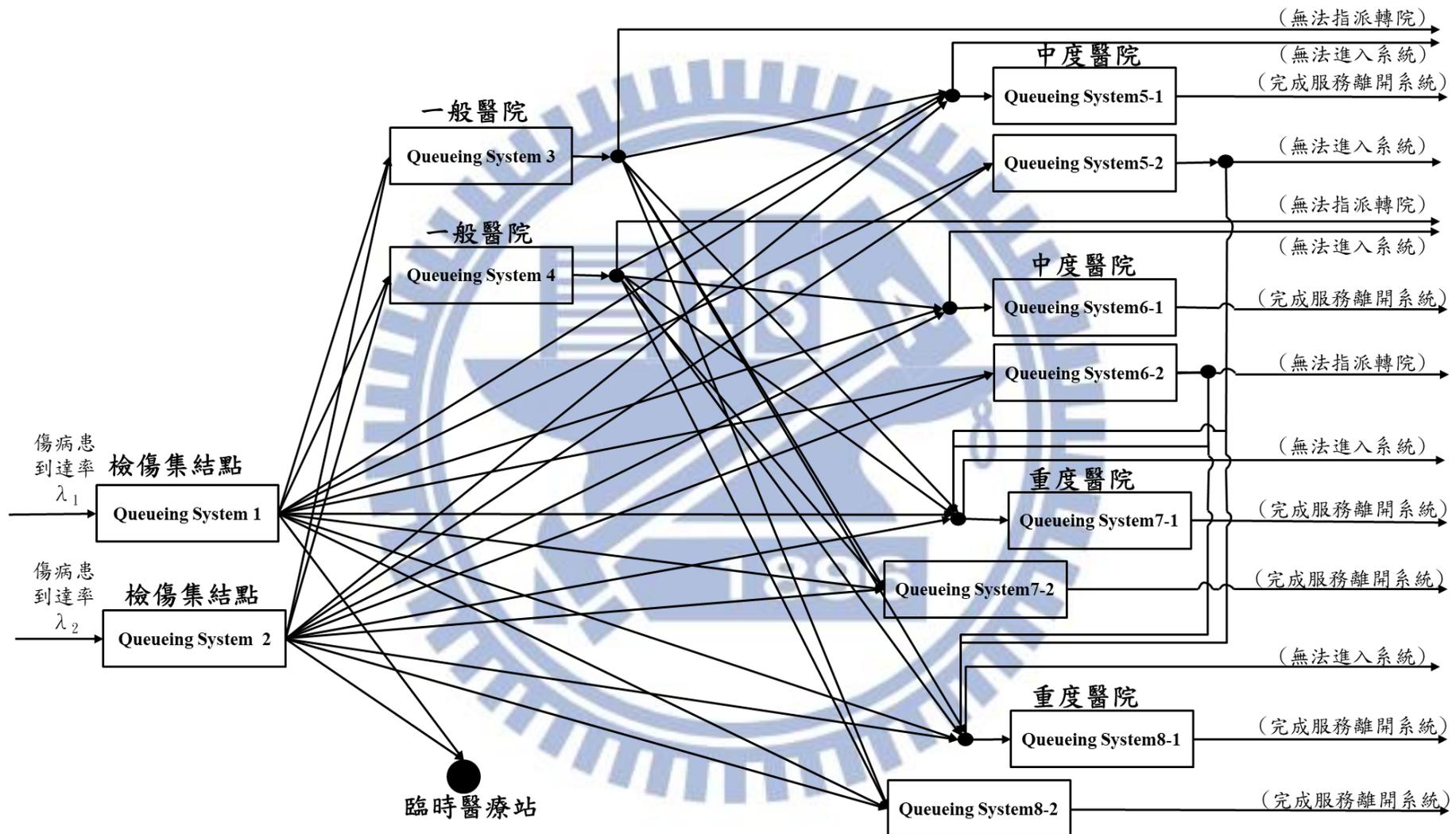


圖 4-6 排隊網路(檢傷點、中度醫院、重度醫院數目皆為 2、重度醫院急診室內醫護人員有分類)

第五章 模擬方法

5.1 排隊系統模擬架構

由於本研究之排隊網路架構複雜，為開放式排隊網路(open queueing network)，醫院等候系統的傷患到達率會受到檢傷點等候系統之服務率影響，同時又必須考慮不可插斷式的優先服務原則(non-preemptive priority discipline)，為非穩態排隊系統(non-stationary or transient queueing system)內的狀態，在此情況下難以用特定的函數(closed form)表示系統內的等候狀態，因此本研究利用模擬方法模擬現實情境，並比較不同送醫策略，圖 5-1 為本研究模擬方法所需的輸入與輸出資料。

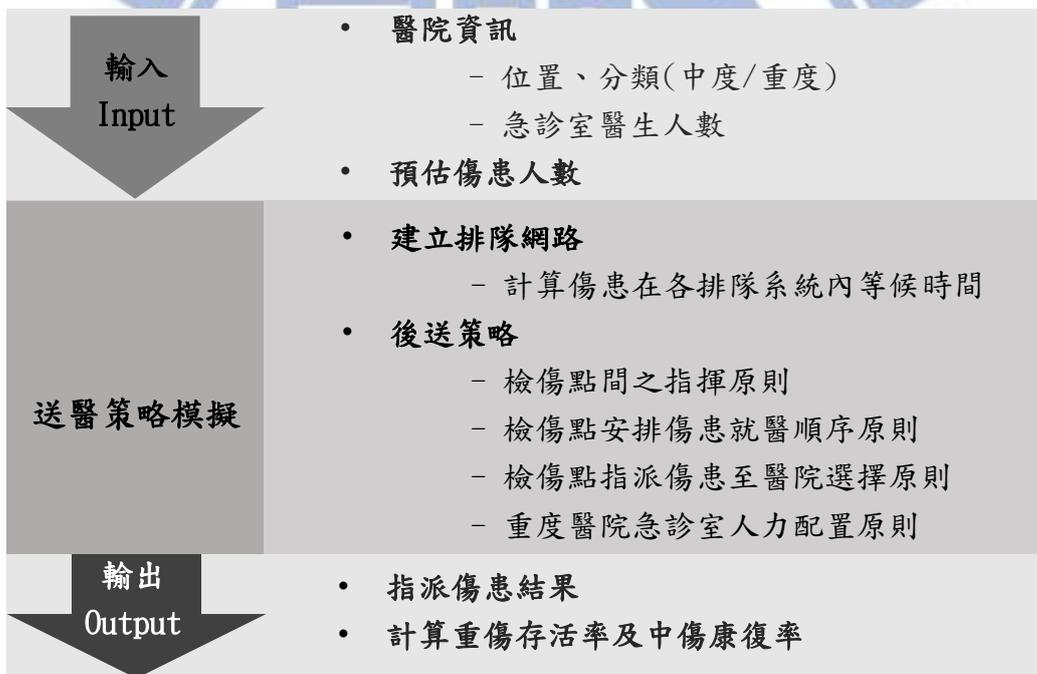


圖 5-1 送醫策略模擬輸入輸出圖

在建構排隊網路模擬之前必須事先知道各醫院資訊以及該次事故預估的傷患人數。醫院的資訊包含：醫院位置、醫院分類和急診室內醫生人數，醫院位置資訊用來計算救護車從檢傷點到醫院的行駛時間；需得知醫院的分類以確保傷患得到確適的醫療服務，中度醫院僅能接受中傷病患，重度醫院可以接受中度及重度傷患；最後需要知道各醫院之急診室醫生人數，醫生人數越多，救護

能量越大。在進行模擬之前還需知道預估的傷亡人數，可以直接給定一數值，或由該地區的人口數目及災害規模預估傷患人數。

本研究送醫策略之背景環境是建構在排隊網路上，排隊網路之細節於第四章已進行說明。後送管制員可根據傷患在排隊系統內的等候時間去推估剩餘的黃金時間，做為是否可後送至該家醫院之判斷標準。後送的策略包含四個不同的層次：檢傷點間之指揮原則、檢傷點傷患就醫順序原則、檢傷點指派傷患至醫院選擇原則、重度醫院急診室內人力配置原則，各原則詳細之內容可參見第三章。

不同的送醫策略會有不同的指派結果，本研究針對中傷及重傷病患給予不同的衡量指標，中傷病患以康復率衡量，重傷病患以存活率衡量。根據康復率及存活率值比較不同策略下的模擬結果。

5.2 排隊系統模擬流程

本研究採用離散事件模擬 (discrete event simulation)，共包含 16 個事件 (events)，可由事件圖表 (event graph) 得知個事件之間的先後關係，圖 5-2 為重度醫院急診室內醫護人員無分類的模擬事件圖表 (event graph)。

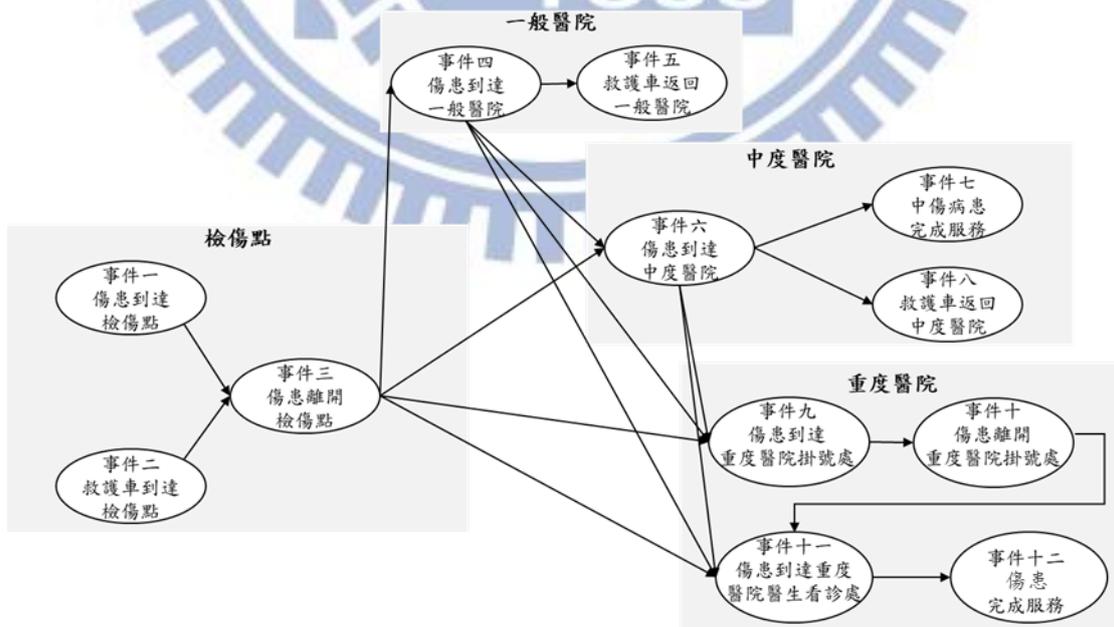


圖 5-2 重度醫院急診室內醫護人員無分類的模擬事件圖表 (event graph)

圖 5-3 為重度醫院急診室內醫護人員有分類的模擬事件圖表 (event graph)，兩者的差別在於重度醫院內所包含的事件不同。

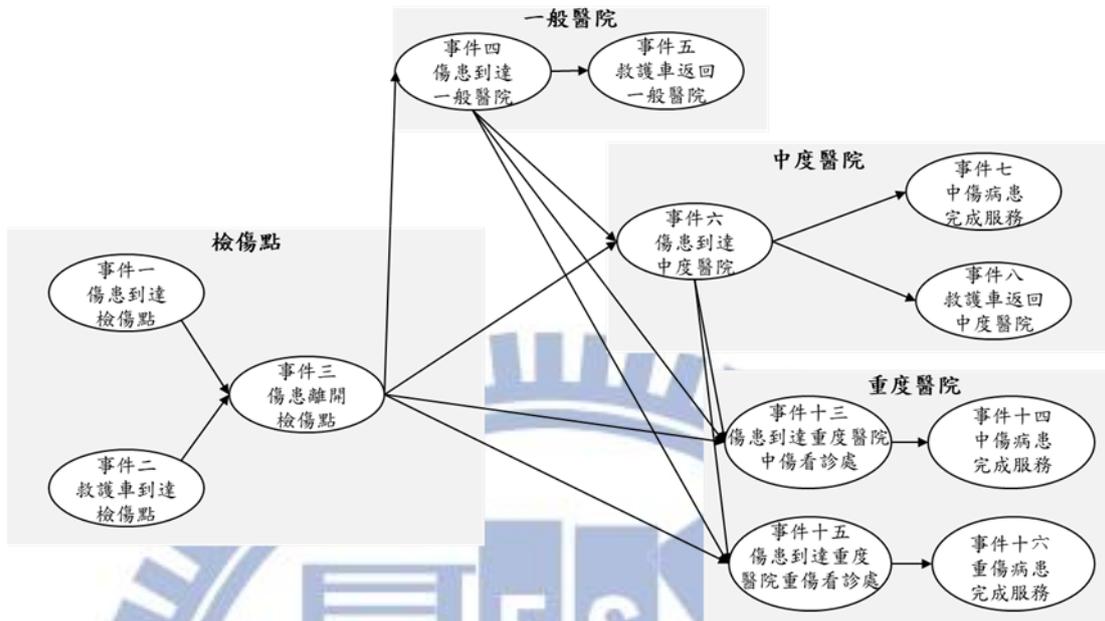


圖 5-3 重度醫院急診室內醫護人員有分類的模擬事件圖表 (event graph)

檢傷集結點有三個事件：傷患到達檢傷點、救護車到達檢傷點、傷患離開檢傷點。傷患到達檢傷點後，若有空閒的救護車則可進行指派，離開醫院；若無空閒的救護車則根據等候原則依序排隊。本研究將救護車視為服務員 (server)，由於救護車必須由各處調派至檢傷點，剛爆發事故時尚未有救護車抵達，因此所有救護車的初始狀態皆為忙碌 (busy)，救護車會陸續抵達檢傷點，若檢傷點有等待的傷患則可進行指派，離開醫院；若檢傷點沒有等待的傷患則留在檢傷點等待傷患抵達，並將救護車的狀態改為空閒 (idle) 表示隨時可進行後送。救護車據選擇醫院原則後送傷患，若所有醫院都無法進行後送，傷患會被指派至臨時醫療站。發生於檢傷點的事件流程圖由圖 5-4 所示。

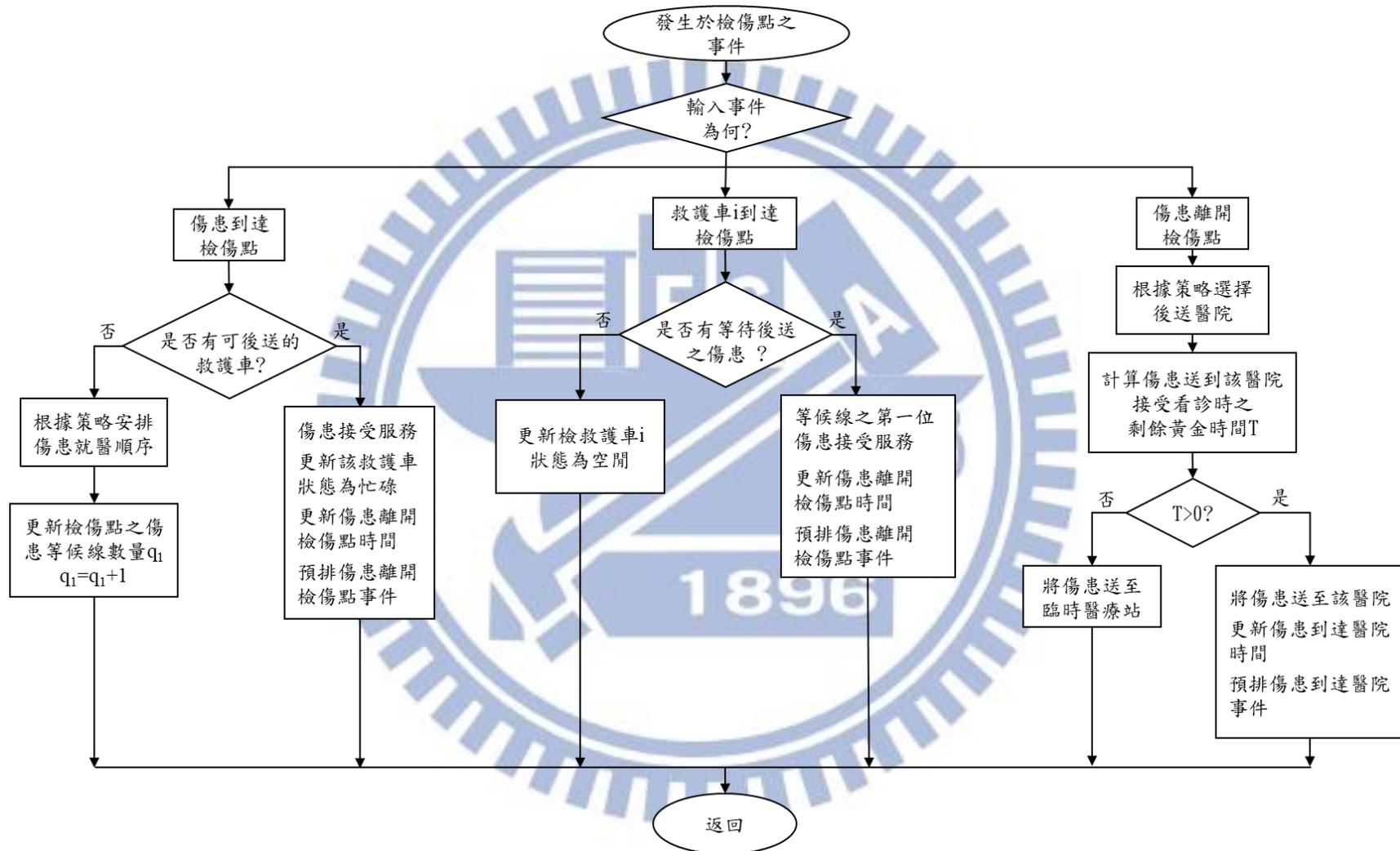


圖 5-4 檢傷點模擬流程圖

重度醫院內的事件依照重度醫院急診室內醫護人員有無分類而有不同的事件組成，如表 5-1 所示。

表 5-1 重度醫院內事件組成表

重度醫院急診室內醫護人員無分類		重度醫院急診室內醫護人員有分類	
地點	發生事件(event)	地點	發生事件(event)
掛號處	傷患到達掛號處	醫生看診處	重傷病患到達重傷看診處
	傷患離開掛號處		重傷病患完成服務離開醫院
醫生看診處	傷患到達醫生看診處	醫生看診處	中傷病患到達中傷看診處
	傷患完成服務離開醫院		中傷病患完成服務離開醫院

• 重度醫院急診室內醫護人員無分類

重度醫院的掛號處有兩個事件：傷患到達重度醫院掛號處、傷患離開重度醫院掛號處。僅有中傷病患會到達掛號處，當傷患抵達掛號處時要先判斷服務員是否空閒，若服務員的狀態為空閒，則可安排傷患離開掛號處；若服務員的狀態為忙碌，則依照先到先服務的原則依序排隊。傷患離開掛號處後，需判斷等候線裡是否有傷患，若沒有等候的傷患，則將服務員的狀態改為空閒；若有等候的傷患，則將等候線裡的第一位傷患移出等候線，並預排該傷患進入醫生看診系統之事件。發生於重度醫院掛號處的事件流程圖由圖 5-5 所示。

重度醫院的醫生看診處包含兩個事件：傷患到達重度醫院醫生看診處、傷患完成服務離開醫院。傷患抵達醫生看診處後需判斷有無空閒的服務員，若有空閒的服務員，則傷患可接受醫療服務並預排離開醫院事件，此外要將空閒服務員

的狀態改為忙碌；若服務員的狀態為忙碌，則要判斷到達傷患為中傷還是重傷，依照不同等候原則依序排隊。當傷患接受完醫療服務後，判斷等候線裡是否有傷患，若沒有等候的傷患，則將服務員的狀態改為空閒；若有等候的傷患，則將等候線裡的第一位傷患移出等候線，並預排該傷患離開醫院之事件。發生於重度醫院醫生看診處之事件流程圖由圖 5-6 所示。

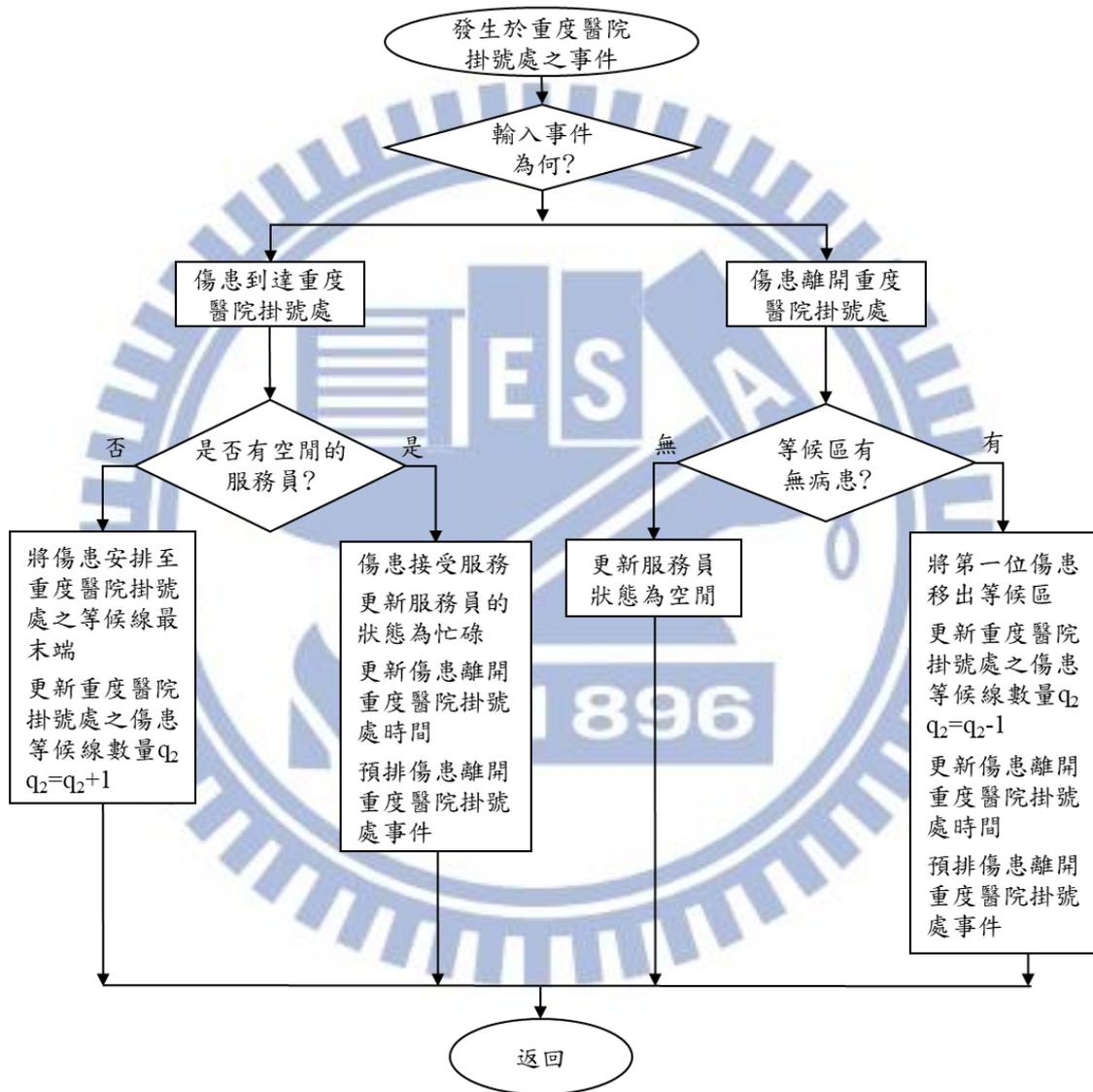


圖 5-5 重度醫院掛號處模擬流程圖

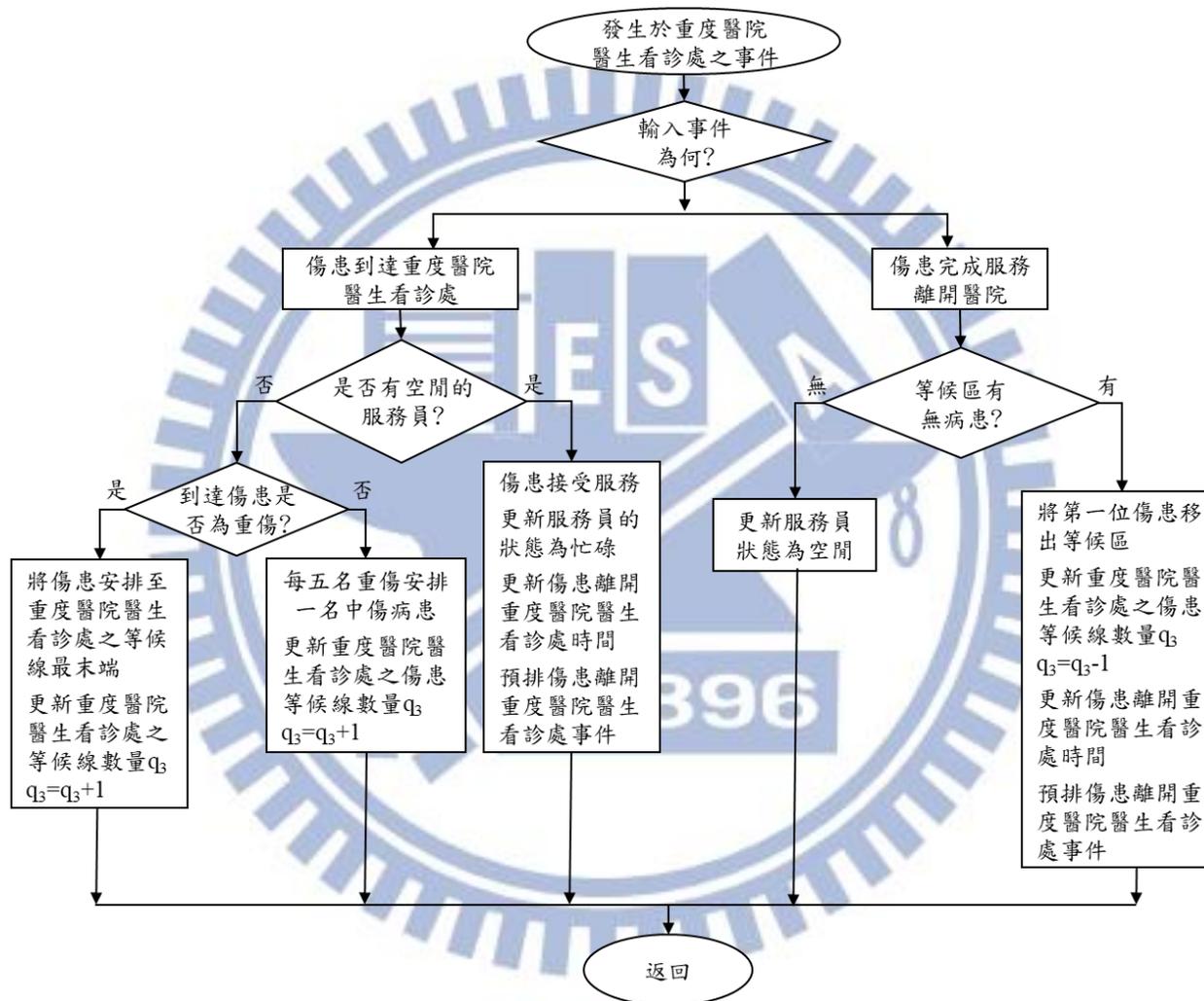


圖 5-6 重度醫院醫師看診處模擬流程圖

- 重度醫院急診室內醫護人員有分類

重度醫院包含四個事件：中傷病患到達中傷看診處、中傷病患完成服務離開醫院、重傷病患到達重傷看診處、重傷病患完成服務離開醫院。當中傷病患抵達中傷看診處後須判斷有無空閒的服務員，若有空閒的服務員，則傷患可接受醫療服務並預排離開醫院事件，此外要將空閒服務員的狀態改為忙碌；若服務員的狀態為忙碌，則排至中傷等候線之末端。同理而言，當重傷病患抵達重傷看診處後須判斷有無空閒的服務員，若有空閒的服務員，則傷患可接受醫療服務並預排離開醫院事件，此外要將空閒服務員的狀態改為忙碌；若服務員的狀態為忙碌，則排至重傷等候線之末端。當中傷病患接受完醫療服務後，判斷中傷等候線裡是否有傷患，若沒有等候的中傷病患，則將服務員的狀態改為空閒；若有等候的中傷病患，則將中傷等候線裡的第一位傷患移出等候線，並預排該傷患離開醫院之事件。當重傷病患接受完醫療服務後，判斷重傷等候線裡是否有傷患，若沒有等候的重傷病患，則將服務員的狀態改為空閒；若有等候的重傷病患，則將重傷等候線裡的第一位傷患移出等候線，並預排該傷患離開醫院之事件。重度醫院急診室內醫護人員有分類情況下的重度醫院事件流程圖由圖 5-7 所示。

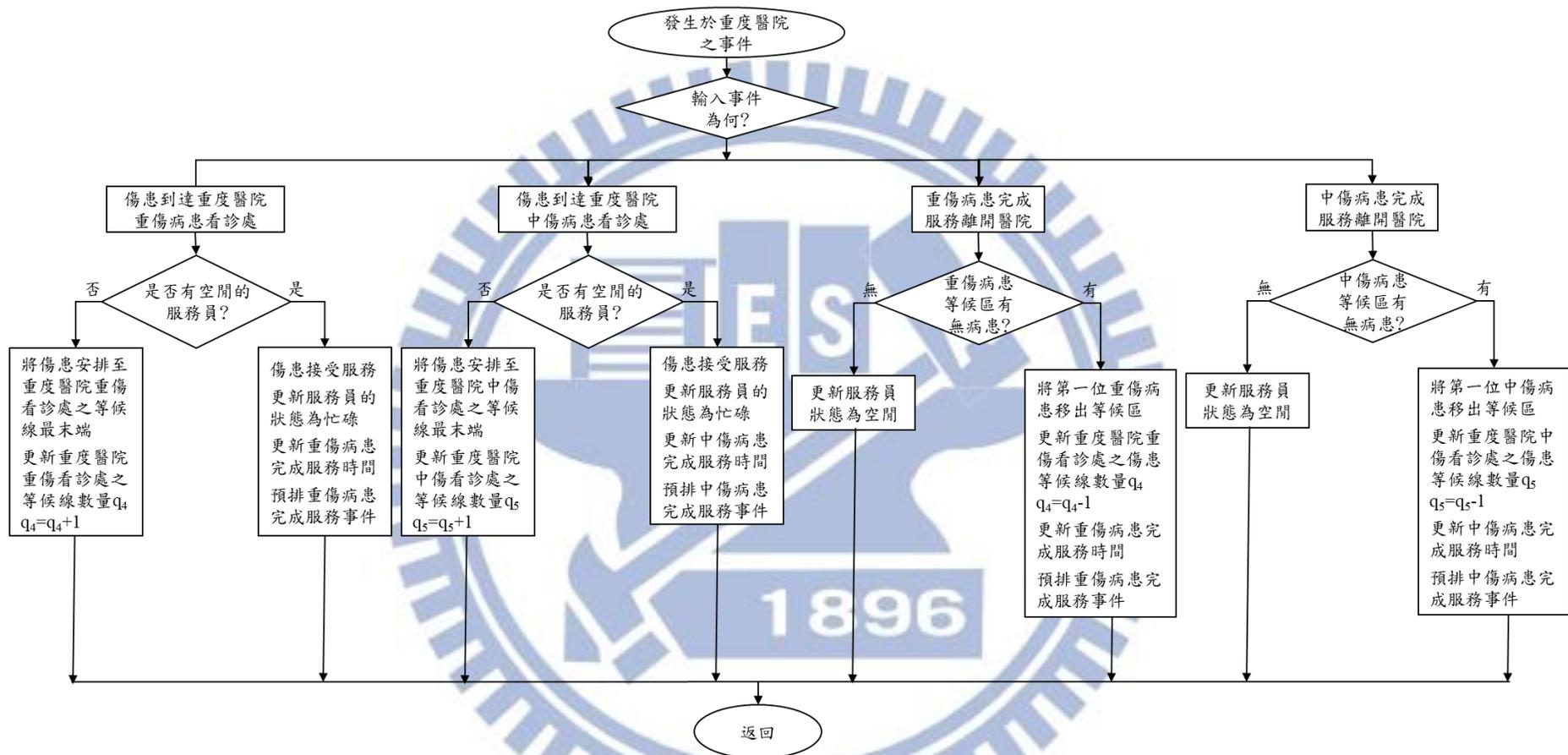


圖 5-7 重度醫院醫師看診處模擬流程圖

中度醫院包含三個事件：傷患到達中度醫院、中傷病患完成服務離開醫院、救護車返回醫院。傷患抵達醫院後需判斷傷患種類，若為重傷病患則需安排轉院，此時若有空閒的救護車則可進行轉院，並預排救護車返回醫院之事件；若無空閒的救護車則依照等候原則等待後送。確定抵達傷患為中傷病患後，判斷有無空閒的服務員，若有空閒的服務員，則傷患可接受醫療服務並預排離開醫院事件，此外要將空閒服務員的狀態改為忙碌；若服務員的狀態為忙碌，則排至看診等候線之末端。當傷患接受完醫療服務後，判斷看診等候線裡是否有傷患，若沒有等候的傷患，則將服務員的狀態改為空閒；若有等候的傷患，則將看診等候線裡的第一位傷患移出等候線，並預排該傷患離開醫院之事件。當救護車完成運送傷患轉院服務，返回醫院時須判斷待轉院等候線內是否有排隊的傷患，若沒有等候轉院的傷患，則將救護車的狀態改為空閒；若有等候轉院的傷患，則將待轉院等候線裡的第一位傷患移出等候線，並預排該傷患到達重度醫院之事件。發生於中度醫院事件流程圖由圖 5-8 所示。

一般醫院包含兩個事件：傷患到達一般醫院、救護車返回醫院。不論傷患種類為中傷或是重傷，若被指派至醫院皆須轉院，傷患抵達醫院後若有空閒的救護車則可進行轉院，並預排救護車返回醫院之事件；若無空閒的救護車則依照等候原則等待後送。當救護車完成運送傷患轉院服務，返回醫院時須判斷待轉院等候線內是否有排隊的傷患，若沒有等候轉院的傷患，則將救護車的狀態改為空閒；若有等候轉院的傷患，則將待轉院等候線裡的第一位傷患移出等候線，並預排該傷患到達重度醫院之事件。發生於一般醫院事件流程圖由圖 5-9 所示。

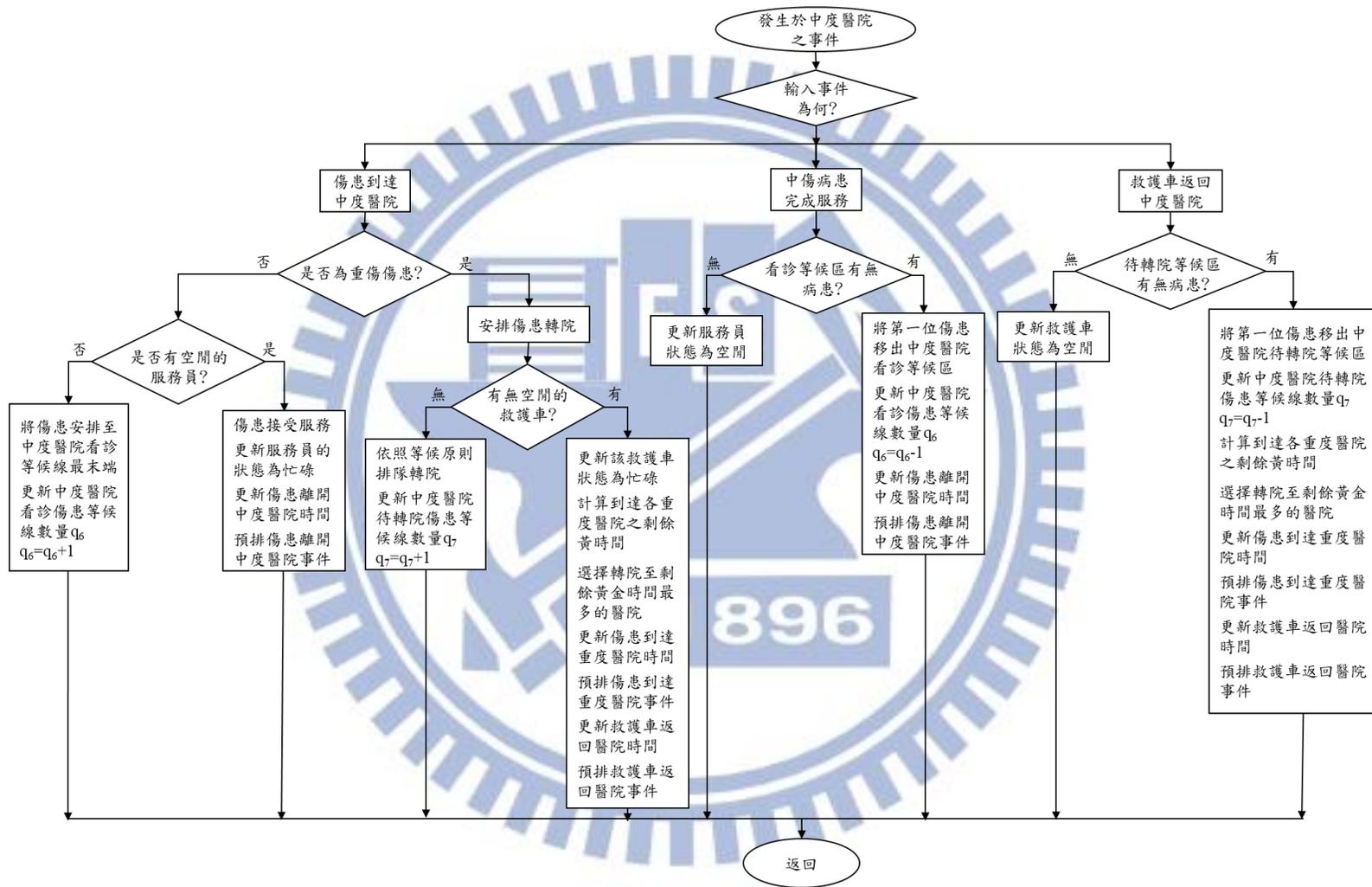


圖 5-8 中度醫院模擬流程圖

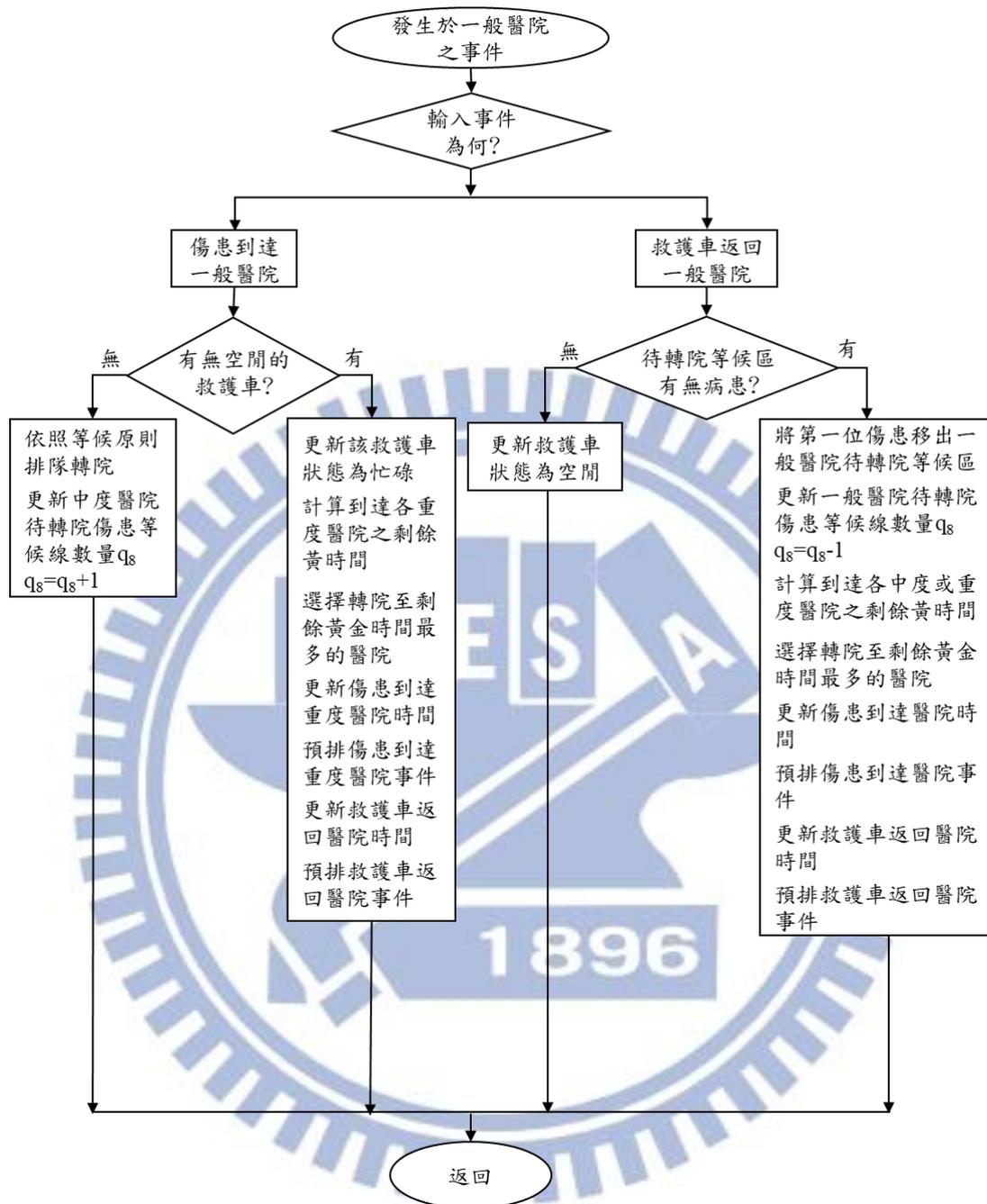


圖 5-9 一般醫院模擬流程圖

模擬流程如圖 5-3 所示。

模擬一開始需要將系統初始化並輸入資訊，接著判斷最先發生的事件為何，根據不同的事件更新模擬系統的狀態，當達到停止狀態時則輸出結果並停止模擬

依據母體平均值區間估計理論，當樣本數目越大，區間的寬度就越窄，對母體平均值之估計就越準確，所需的模擬次數由式子(5.1)所示。本研究採 90%的信心水準， $\varepsilon=0.1$ ，每策略共模擬 30 次。

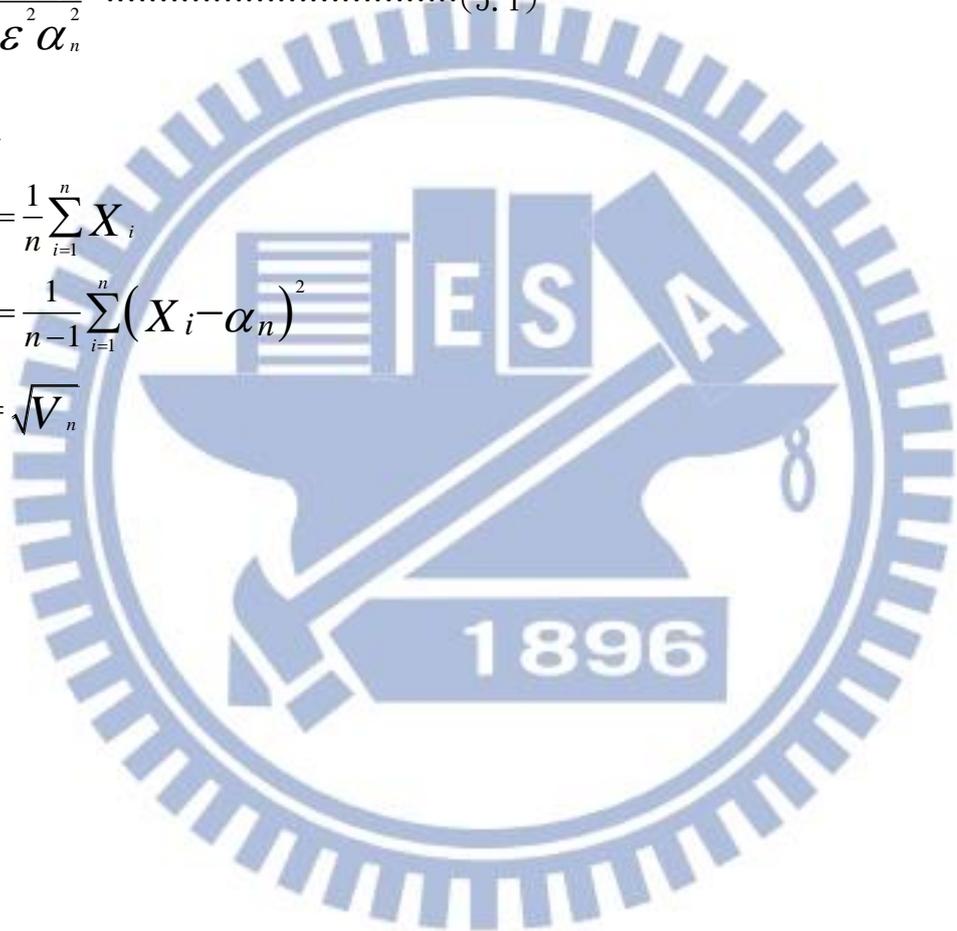
$$n \geq \frac{V_n Z_{\delta}^2}{\varepsilon^2 \alpha_n} \dots\dots\dots(5.1)$$

其中

$$\alpha_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$V_n = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \alpha_n)^2$$

$$s_n = \sqrt{V_n}$$



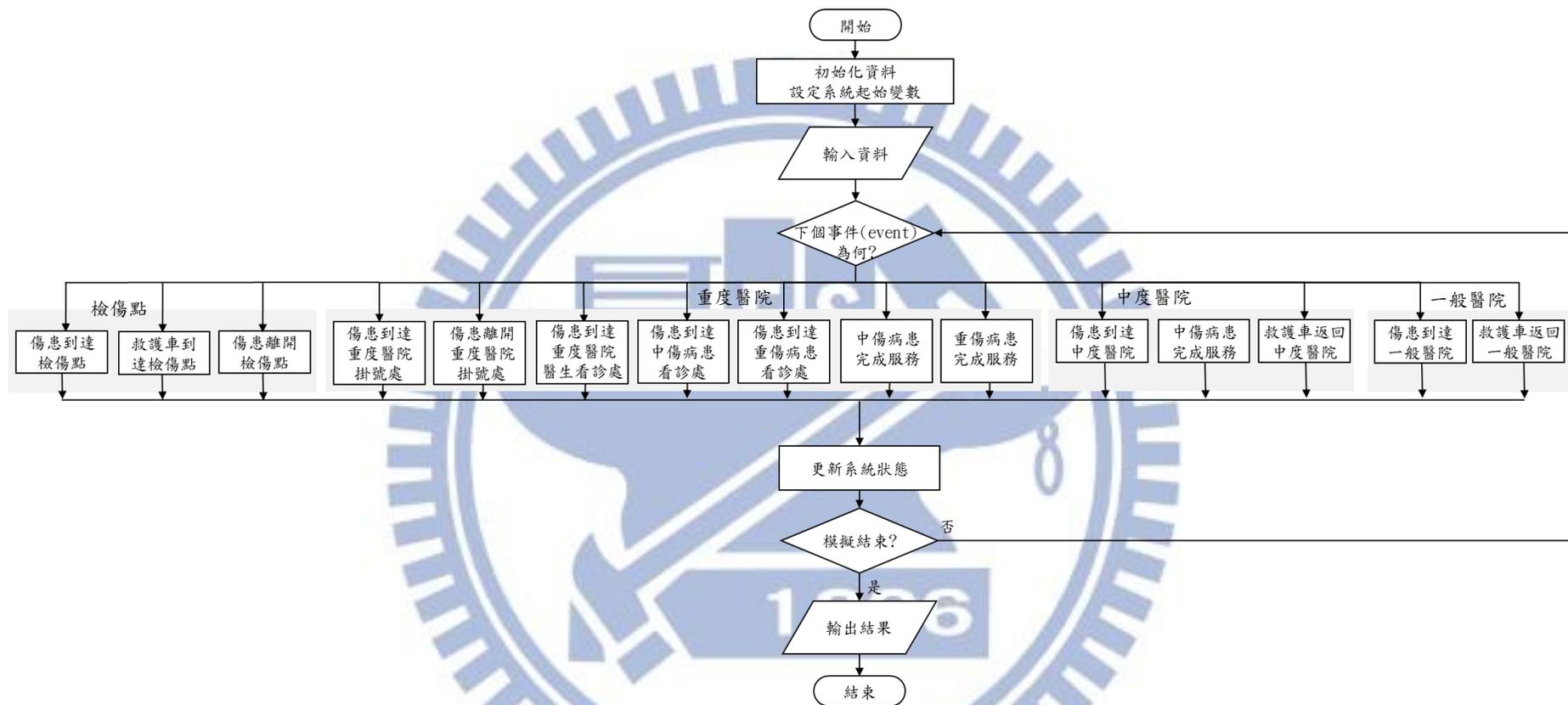


圖 5-10 模擬流程圖

5.3 實證分析

本研究以 2016 年 2 月 6 日之美濃地震做為實證資料，該次地震芮氏規模 6.6，為近年來造成傷亡人數最多之地震，該次地震造成臺南市永康金龍大樓倒塌，117 人罹難，受傷住院人數共計 501 人。表 5-2 為臺南各醫院於該次地震之就醫人數統計表。

表 5-2 美濃地震臺南各醫院就醫人數統計表

醫院	醫院分類	就醫人數
奇美醫療財團法人奇美醫院	重度醫院	107
國立成功大學醫學院附設醫院	重度醫院	93
臺南市立醫院	中度醫院	74
台灣基督長老教會新樓醫療財團法人 台南新樓醫院	中度醫院	40
臺南市立安南醫院	中度醫院	39
奇美醫療財團法人柳營奇美醫院	中度醫院	24
衛生福利部台南醫院	中度醫院	20
郭綜合醫院	中度醫院	18
台灣基督長老教會新樓醫療財團法人 麻豆新樓醫院	中度醫院	17
衛生福利部台南醫院新化分院	一般醫院	38
高雄榮民總醫院臺南分院	一般醫院	23
奇美醫療財團法人佳里奇美醫院	一般醫院	8

來源：臺南市政府災害防救辦公室

5.3.1 模擬環境設定

檢傷集結點模擬環境設定

- 檢傷點數量：2 個
- 傷患總人數：167 名
- 傷患到達率 $\sim\exp(9.3)$
- 到達檢傷點之救護車數量：167 輛
- 救護車到達率 $\sim\exp(9.3)$

由台南市消防局公告的「0206 地震災害應變處置專案報告」中可以得知該次地震共有兩個檢傷點，分別位於維冠大樓之北面及東面，實際位置由圖 5-11 所示。該地震導致受傷住院人數共計 501 人，其中大多為輕傷病患，但本研究僅考慮重傷及中傷的送醫策略，扣除輕傷病患後，地震當日就醫的中傷與重傷病患共 167 名，其中重傷人數 28 名、中傷人數 139 人。



圖 5-11 檢傷點位置圖

來源：臺南市政府災害防救辦公室

由於無法得知各傷患確切抵達檢傷點時間，因此本研究利用傷患抵達醫院的時間往前推估傷患抵達檢傷點之到達時間，圖 5-12 為地震事發當日每小時抵達檢傷點之推估人數，再將該資料進行單一樣本機率分配檢定，所得結果為該資料服從指數分配，檢定結果由表 5-3 所示。發生大量傷病患事故後，救護車紛紛抵達檢傷點進行支援，然而所需派遣的救護車數量即為檢傷點的傷病患數量，若派遣太多救護車則會有資源閒置的情形產生，因此本研究將救護車數量設定為與檢傷點之傷患數量相同，救護車的到達率也設定為與傷患到達率相同的分配。

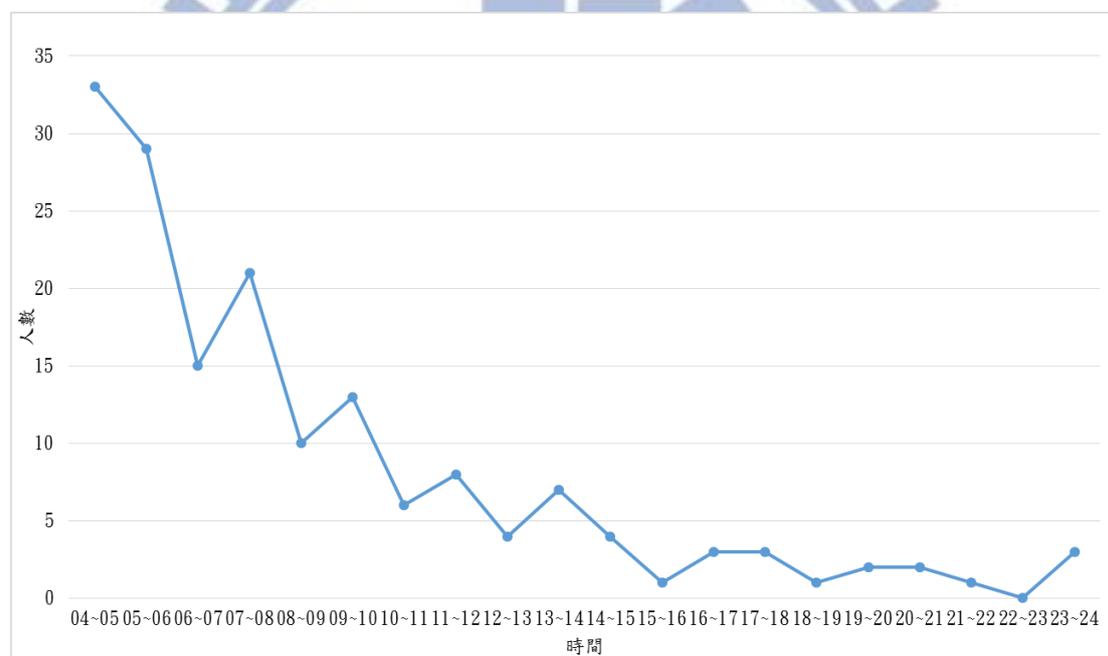


圖 5-12 每小時抵達檢傷點之估計傷患數

表 5-3 傷患到達檢傷點資料分配檢定結果

虛無假設：母體分配為指數分配			
變數名稱	分配參數一 形狀參數	Kolmogorov-Smirnov D 檢定統計量	p-值
人數	9.3	0.1467	0.78279
檢定結果 P-值(0.3124) > 顯著水準 0.05，無法拒絕虛無假設			

醫院模擬環境設定

- 醫院數量：12 家(重度醫院 2 家、中度醫院 7 家、一般醫院 3 家)
- 醫院內可使用之救護車數量：中度醫院 2 輛
一般醫院 1 輛
- 救護車行駛至各醫院之行駛時間：如表 5-5 所示
- 急診室內醫生人數：如表 5-5 所示
- 急診室內醫生服務率：中傷病患~Triangular (35, 45, 50)
重傷病患~Triangular (60, 100, 140)

表 5-4 後送醫院之救護車行駛時間與急診室醫生數目表

醫院類別	醫院名稱	救護車行駛時間 (單位:分鐘)		急診室醫生 數目	醫院內 救護車 數目
		檢傷點 A	檢傷點 B		
重度	成功大學附設醫院	8	7	15	不考慮
	奇美醫院台南分院	9	8	23	
中度	台南市立安南醫院	10	9	3	2
	台南市立醫院	11	10	3	2
	基督教台南新樓醫院	11	10	2	2
	衛生福利部台南醫院	11	10	1	2
	郭綜合醫院	12	12	2	2
	基督教新樓醫院麻豆分院	17	16	2	2
	柳營奇美醫院	30	29	4	2
一般	高雄榮總台南分院	5	6	不考慮	1
	衛生福利部台南醫院 新化分院	15	15		1
	佳里奇美醫院	25	24		1

重度醫院共有兩家、中度醫院共有七家、一般醫院共有三家。救護車行駛時間是根據 google 地圖之建議行駛時間再做調整而成的。

急診室內的醫生數目是參考我國衛服部醫事服務司所提供的急診醫學科人員數，並與醫院人員確認所設定。醫生服務率的設定參考 Gul 等學者(2015)之研究，Gul 等學者利用醫院管理系統的歷史資料、現場觀察以及與醫療人員討論後，用三組不同參數的三角形分佈(triangular distribution)來表示輕傷、中傷與重傷病患的服務時間。

在隨機後送及輪流後送的策略下，會需要將傷患轉院，由於本研究假設檢傷點後送傷患的救護車和各醫院運送轉院傷患的救護車相互獨立作業，因此需要考慮醫院內可使用的救護車數量，本研究參考台北市救護車資料，將中度醫院可使用的救護車數量設為兩輛，一般醫院可使用的救護車數量設為一輛。

本研究模擬結果之衡量指標參考 Mills 等人(2013)提出的存活率函數，重傷的衡量指標為存活率，中傷的衡量指標為康復率。

$$\text{重傷衡量指標 (KPI}_I\text{)}: \sum_{i \in \Omega_I} \frac{0.81}{\left(\frac{t_i}{9}\right)^{2.41} + 1}$$

$$\text{中傷衡量指標 (KPI}_D\text{)}: \sum_{i \in \Omega_D} \frac{0.81}{\left(\frac{t_i}{160}\right)^{2.41} + 1}$$

t_i ：病患 i 在從檢傷後經過時間 t 接受到醫療服務。

Ω_I ：所有重傷病患集合。

Ω_D ：所有中傷病患集合。

上述內容是根據美濃地震所建構的模擬環境，模擬的總後送人數為 167 人，本研究欲探討當總傷患人數提升時，對於送醫策略結果是否有改變，因此參考 1999 年 9 月 21 日的集集大地震的資訊，該次地震芮氏規模 7.3，是臺灣自第二世界大戰以來發生過震度最強的淺層地震，人員傷亡慘重，表 5-5 為集集大地震當天搶救之人數。

表 5-5 集集大地震每 4 小時之搶救人數表

日期(時間)		人數
1999. 9. 21	01:47	501
	06:00	1, 412
	10:00	128
	14:00	69
	18:00	32
	22:00	2
	24:00	0
總計人數		2144

資料來源：南投縣政府（2001），英勇投入—921 大地震救災總報告

本研究欲將將模擬的傷患人數提升至與集集大地震相同規模，由於搶救的傷患當中有一定的比例為輕傷病患，因此本研究參考美濃地震時的中重傷比例，訂定總後送人數 800 人之例子。本研究共研擬兩個模擬情境，由表 5-6 所示

表 5-6 各情境之後送人數表

	總後送人數	重傷人數	中傷人數
情境一	167 人	28 人	139 人
情境二	800 人	134 人	666 人

5.3.1 情境一之模擬結果(167人)

本小節討論總後送人數 167 人之模擬結果，共考慮 64 種送醫策略，策略詳細內容可參照 3.3 小節。後續會分別針對中傷病患、重傷病患、同時考慮中傷與重傷病患以上三種情況進行探討。

• 中傷病患之模擬結果

總後送人數 167 人當中有 139 人是中傷，中傷病患之衡量指標為康復率，圖 5-13 為中傷病患在各策略下的模擬結果，根據模擬結果，我們找出最好及最差的策略，結果如表 5-7 所示。

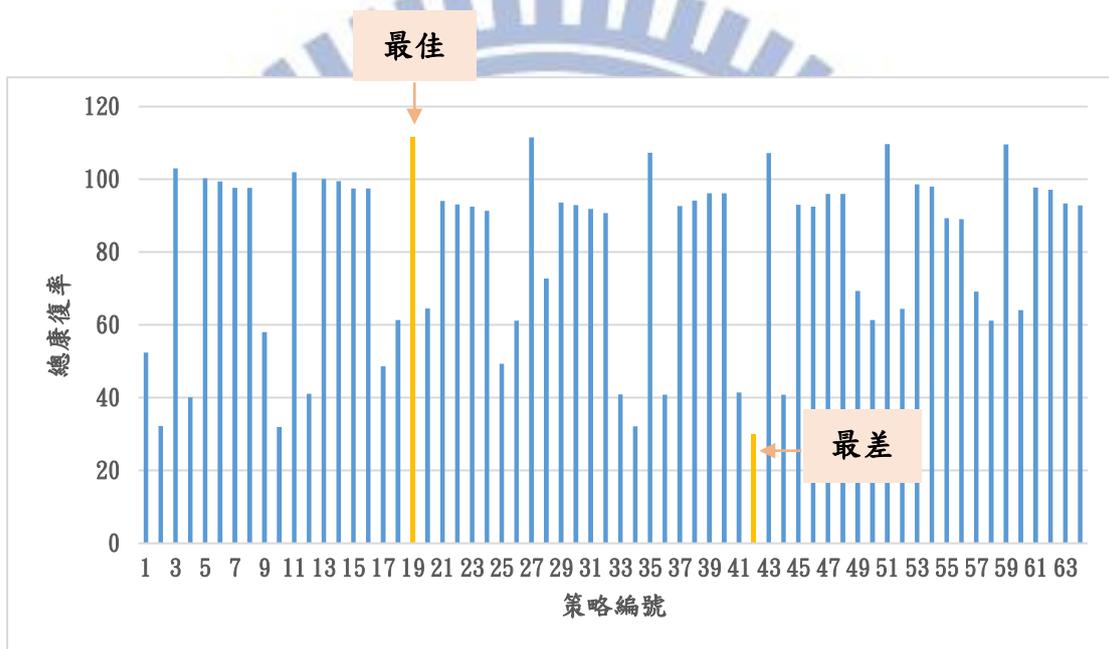


圖 5-13 中傷病患各策略之模擬結果 (情境一)

表 5-7 中傷病患最佳與最差策略內容表 (情境一)

最差	策略 42	檢傷點分開派遣、 檢傷點之重傷傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達各醫院之行駛時間由長到短後送傷患、 重度醫院急診室內重傷與中傷傷患分開處理
最佳	策略 19	檢傷點統一派遣、 先抵達檢傷點之傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間由長而短後送傷患、 重度醫院急診室內重傷與中傷傷患合併處理

因為最差的策略 42 會將傷患從距離最遠的醫院開始送起，所以由表 5-8 之比較表可看出策略 42 的傷患都集中於離檢傷點最遠的醫院，其他醫院屬於閒置的狀態。最好的策略 19 則會將傷患分散送至各醫院，由於距離最近的兩家重度醫院救護能量較大，所以可以容納較多病人。最好的策略跟最差的策略相比，最好的策略 19 的就醫中傷人數比最差的策略 42 多了 66 人，總康復率提升了 81.74(約 273.56%)。由上述的比較可以看出：在各醫院均有足夠救護能量的情況下，傷患分散就醫的結果較好。

表 5-8 中傷病患最佳與最差策略之數值比較表 (情境一)

醫院距離	醫院類別	醫院名稱	中傷病患就醫人數	
			策略 19 (最佳策略)	策略 42 (最差策略)
近 ↓ 遠	重度醫院	成功大學附設醫院	53	0
		奇美醫院台南分院	53	0
	中度醫院	台南市立安南醫院	9	0
		台南市立醫院	8	0
		基督教台南新樓醫院	5	0
		衛生福利部台南醫院	3	0
		郭綜合醫院	4	3
		基督教新樓醫院麻豆分院	4	17
		柳營奇美醫院	0	53
總就醫中傷人數			139 人	73 人
總康復率值			111.62	29.88

策略 19 是對中傷病患而言最好的送醫策略，該策略在檢傷點的指揮原則為統一調度，然而檢傷點統一調度在實際操作上尚有一定的困難度，因此本研究欲探討若將檢傷點的指揮原則改為分開派遣，其他原則不變的條件下 (策略 3)，結果之差異為何。以下為策略 3 的派遣原則：

策略 3—

檢傷點分開派遣、

先抵達檢傷點之傷患優先接受救護車送醫服務、

救護車根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間由長而短後送傷患、

重度醫院急診室內重傷與中傷傷患合併處理。

比較結果如表 5-9 所示，在統一調度的情況下，距離較近的兩家重度醫院可接

收較多的中傷病患，並平均分散於兩家重度醫院；在分開調度的情況下，兩家重度醫院可接收的中傷病患較少且不平均，原本在策略 19 被送至重度醫院的傷患在策略 3 被分散至其他中度醫院，由於各醫院都有足夠的醫療能量，所以沒有產生傷患無法就醫的情形，雖然總就醫的中傷人數不變，但總康復率會比統一調度減少 8.58(約 7.69%)。

表 5-9 中傷病患策略 3 與策略 19 數值比較表 (情境一)

醫院距離	醫院類別	醫院名稱	中傷病患就醫人數	
			策略 3 (分開調度)	策略 19 (統一派遣)
近 ↓ 遠	重度醫院	成功大學附設醫院	34	53
		奇美醫院台南分院	52	53
	中度醫院	台南市立安南醫院	14	9
		台南市立醫院	13	8
		基督教台南新樓醫院	8	5
		衛生福利部台南醫院	4	3
		郭綜合醫院	7	4
		基督教新樓醫院麻豆分院	6	4
		柳營奇美醫院	1	0
總就醫中傷人數			139 人	139 人
總康復率值			103.04	111.62

我們可由模擬結果看出策略 19 為最佳的策略，但有其他策略的結果的表現亦非常良好，數值與策略 19 非常相近 (例如：策略 27、策略 51、策略 59)，這些策略的共同特點為：救護車根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間由長而短後送傷患。

• **重傷病患之模擬結果**

總後送人數 167 人當中有 28 人是重傷，重傷病患之衡量指標為存活率，圖 5-14 為重傷病患在各策略下的模擬結果，根據模擬結果，我們找出最好及最差的策略結果如表 5-10 所示。

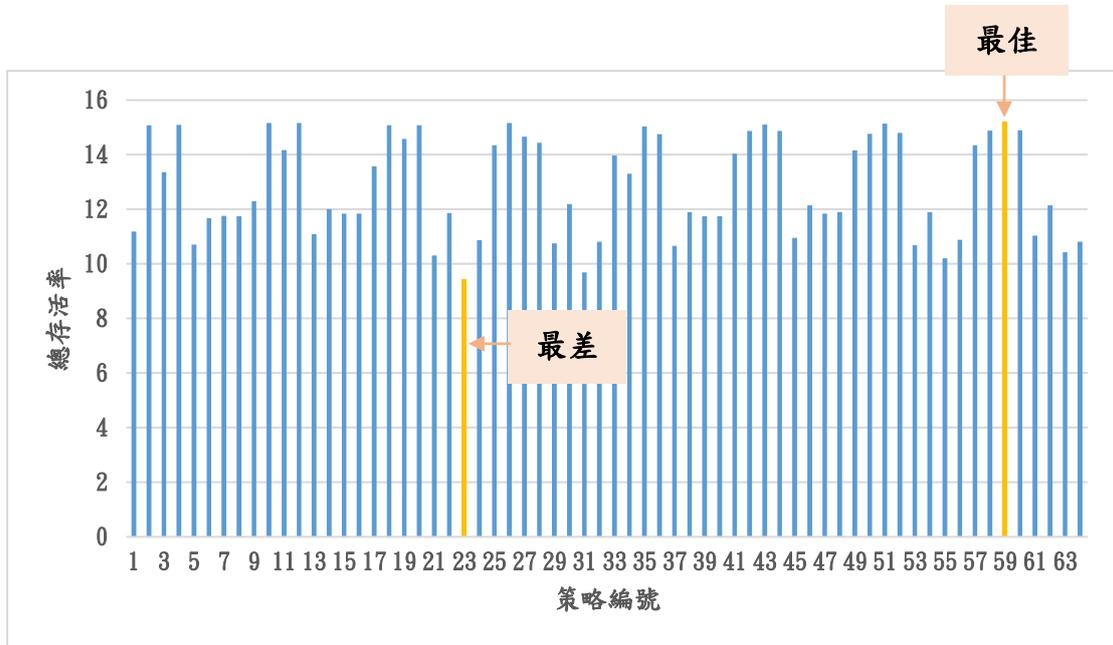


圖 5-14 重傷病患各策略之模擬結果 (情境一)

表 5-10 重傷病患最佳與最差策略內容表 (情境一)

最差	策略 23	檢傷點統一派遣、 先抵達檢傷點之傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車將傷患輪流後送至醫院、 等待轉院之傷患先到先服務、 急診室內重傷與中傷傷患合併處理
最佳	策略 59	檢傷點統一派遣、 檢傷點之重傷傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間由長而短後送傷患、 急診室內重傷與中傷傷患分開處理

最差的策略 23 會將傷患輪流後送至各醫院，然而所有醫院當中僅有兩家重度醫院，所以大部分的重傷病患必須轉院，兩策略之結果比較由表 5-11 所示。最佳的策略跟最差的策略相比，最佳的策略 59 之就醫重傷人數比最差的策略 23 多了 7 人，總康復率提升了 5.76(約 61%)。

表 5-11 重傷病患最佳與最差策略之數值比較表（情境一）

醫院距離	醫院類別	醫院名稱	重傷病患就醫人數	
			策略 59 (最好策略)	策略 23 (最差策略)
近 ↓ 遠	重度醫院	成功大學附設醫院	20	10
		奇美醫院台南分院	8	9
總就醫重傷人數			28 人	19 人
總存活率值			15.22	9.46

策略 59 是對重傷病患而言最好的送醫策略，該策略在檢傷點的指揮原則為統一調度，然而檢傷點統一調度在實際操作上尚有一定的困難度，因此本研究欲探討若將檢傷點的指揮原則改為分開派遣，其他原則不變的條件下（策略 43），結果之差異為何。以下為策略 43 的派遣原則：

策略 43 -

檢傷點分開調度、

檢傷點之重傷傷患優先接受救護車送醫服務、

救護車根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間由長而短後送傷患、

急診室內重傷與中傷傷患分開處理。

比較結果如表 5-12 所示，在統一調度的情況下，由於重傷人數不多，因此兩者結果無太大的差異，就醫的總重傷人數不變，統一調度下的存活率會比分開調度增加 0.11(約 0.73%)。

表 5-12 重傷病患策略 3 與策略 19 數值比較表（情境一）

醫院距離	醫院類別	醫院名稱	重傷病患就醫人數	
			策略 43 (分開調度)	策略 59 (統一派遣)
近 ↓ 遠	重度醫院	成功大學附設醫院	21	20
		奇美醫院台南分院	7	8
總就醫重傷人數			28 人	28 人
總存活率值			15.11	15.22

- **合併考慮重傷與中傷**

圖 5-15 為同時考慮重傷與中傷病患（共 167 人）各策略無法獲得醫療服務之人數，有兩種情況會使得傷患無法獲得醫療服務，一種是在檢傷點就發現各醫院已無法接收傷患，因此無法指派傷患至醫院；另一種情況是已經將傷患指派至特定醫院，但當救護車抵達醫院時卻發現醫院內已有多名傷患在等候，等候時間大於剩餘黃金時間。由圖 5-15 可以歸納出以下幾點特性：

1. 傷患無法獲得醫療服務皆發生於檢傷點分開派遣的情況。
因為當檢傷點統一調度時，會合併考慮各檢傷點的後送資訊及醫院內的傷患資訊，且 167 名傷患尚在醫療能力可負荷的範圍內，所以檢傷點統一調度時傷患都能獲得醫療服務。
2. 當檢傷點的指揮原則為分開調度時，最好的送醫原則都是根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間選擇後送醫院。
由圖 5-15 可以看到策略 3、策略 11、策略 35、策略 35 幾乎所有傷患都可以獲得醫療服務，這些策略的共通點為救護車根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間由長而短後送傷患。分開調度的檢傷點指揮原則跟統一派遣相比，更容易有傷患無法獲得醫療服務的形況產生，但由模擬結果發現無論在檢傷點優先後送重傷或是先到先送、無論重度醫院急診室內的醫護人員有無分類，最好的送醫原則都是根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間選擇後送醫院，並且幾乎可以讓所有傷患接受醫療服務。
3. 於檢傷點無法指派傷患的情況僅發生在隨機後送和輪流後送的指派原則。
除了隨機後送和輪流後送，其他的選擇後送醫院原則在決定後送醫院之前會根據將傷患的黃金剩餘時間和醫院內的等候時間來判斷是否可以將傷患送至該醫院，最後將傷患送至符合醫院選擇原則且到達醫院時的黃金剩餘時間大於零的醫院，若沒有任何一家醫院可接受該病患，則將傷患送至臨時醫療站，但由於 167 名傷患尚在醫療負荷範圍內，因此沒有於檢傷點無法指派傷患的情形。反之，隨機後送和輪流後送原則事先就決定要將傷患送至的醫院時，不論先前已指派多少傷患至醫院，都不會影響指派結果，因此會導致醫院已無法接收傷患但仍選擇指派傷患至該醫院的情況產生。

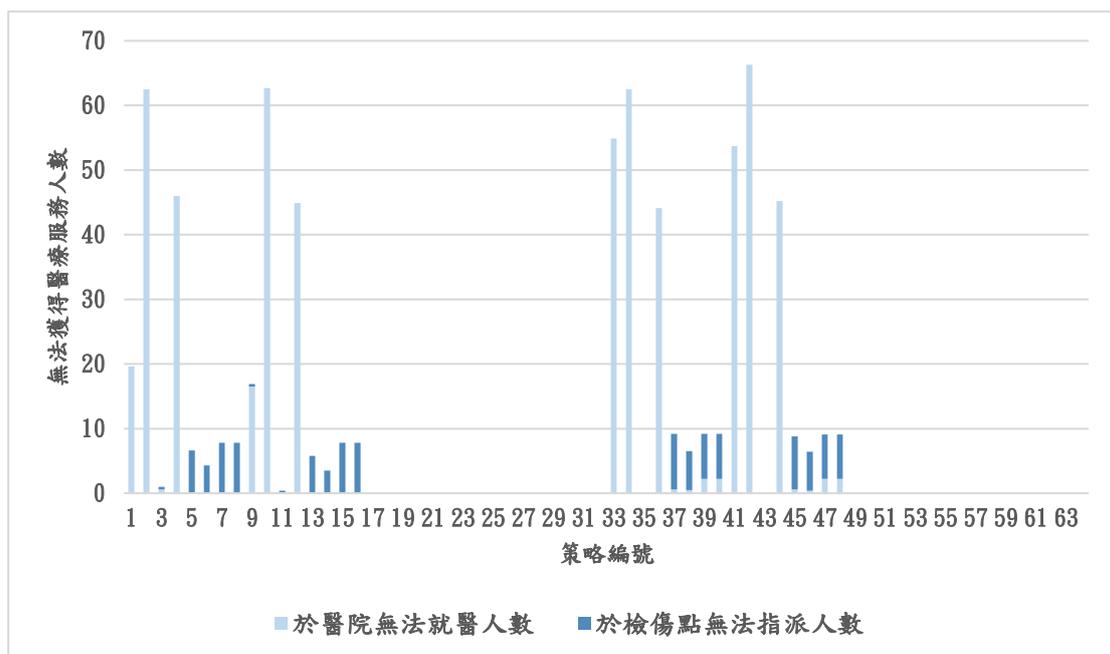


圖 5-15 各策略無法獲得醫療服務人數（情境一）

表 5-13 分別比較重傷與中傷的最佳策略內容，兩者的差別在於檢傷點的排隊原則以及重度醫院急診室內的醫護人員有無分類。在檢傷點優先後送重傷可以使得重傷病患較早接受服務對於中傷病患而言，因此對重傷病患有利；反之，重傷先送會使得中傷病患需要等待，因此先到先送對中傷病患才會是較好的策略。

在重度醫院急診室內人力配置的部分，對重傷病患而言，在重度醫院急診室內重傷與中傷病患分開處理的策略表現較好。此模擬情境的重傷總人數不多（28 人），分開處理的情況下雖然可處理重傷的醫生人數較少，但仍在可負荷範圍內甚至還有空閒的服務員，因此當重傷人數少的時候，若重度醫院急診室內的醫護人員有分類，則重傷病患幾乎可以快速地接受醫療服務，不需太多等待。雖然合併處理比起分開處理會有更多可處理重傷的醫生，但先抵達的中傷病患會占用醫療資源，反而導致重傷病患需要等待，因此在總就醫人數較少的情況下，重度醫院急診室內重傷與中傷病患分開處理對重傷病患有利，合併處理對中傷病患有利。

表 5-13 中傷與重傷最佳策略比較 (情境一)

中傷 最佳 策略	策略 19	檢傷點統一派遣、 先抵達檢傷點之傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間由長而短後送傷患、 重度醫院急診室內重傷與中傷病患合併處理
重傷 最佳 策略	策略 59	檢傷點統一派遣、 檢傷點之重傷傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間由長而短後送傷患、 重度醫院急診室內重傷與中傷病患分開處理

由上述之比較可以發現中傷與重傷的最佳策略有部分重疊之處，本研究欲探討若同時考慮中傷和重傷傷患，最佳的送醫策略為何？因此本研究對於重傷病患的總存活率和中傷病患的總康復率分別給予一權重值，兩權重值加總為 1，如式(5.2)與(5.3)所示。比較不同權重比例下的最佳策略結果，結果彙整於表 5-14。

$$\text{綜合衡量指標} = \alpha_1 \cdot \sum_{i \in \Omega_1} f_I(t_i) + \alpha_2 \cdot \sum_{i \in \Omega_D} f_D(t_i) \dots\dots\dots(5.2)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 1 \dots\dots\dots(5.3)$$

由比較結果可以歸納出以下四點特性：

1. 無論重傷和中傷的權重為何，檢傷點的指揮原則都是統一派遣，選擇醫院的原則皆是根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間。
2. 當中傷病患權重大於重傷病患時 ($\alpha_1 < \alpha_2$)，最佳策略結果與僅考慮中傷病患的最佳策略結果相同。
3. 當中傷與重傷的權重相同時，檢傷點的排隊等候原則會由先到先服務變為重傷先送。重傷病患的權重從 0.5 到 0.7 之間的最佳策略結果皆相同。
4. 當重傷的權重大於 0.8 時，重度醫院急診室內的人力配置會由合併處理重傷與中傷病患變成分開處理，此策略結果與僅考慮重度病患的最佳策略結果相同。

表 5-14 不同權重之策略結果 (情境一)

(α_1, α_2)	最佳策略結果	
(0.1,0.9)	策略 19	檢傷點統一派遣、 先抵達檢傷點之傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達醫院時之剩餘黃金時間後送傷患 重度醫院急診室內重傷與中傷傷患合併處理
(0.2,0.8)		
(0.3,0.7)		
(0.4,0.6)		
(0.5,0.5)	策略 27	檢傷點統一派遣、 檢傷點之重傷傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間後送傷患、 重度醫院急診室內重傷與中傷傷患合併處理
(0.6,0.4)		
(0.7,0.3)		
(0.8,0.2)	策略 59	檢傷點統一派遣、 檢傷點之重傷傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間後送傷患、 重度醫院急診室內重傷與中傷傷患分開處理
(0.9,0.1)		

5.3.2 情境二之模擬結果(800 人)

從上一小節的模擬結果可發現在後送人數為 167 人的情況下，所有醫院提供的醫療能量非常足夠，在某些策略下甚至有醫院是沒有接收傷患的空間狀態，因此本研究根據 921 大地震之就醫人數將後送人數增加至 800 人（中傷 666 人、重傷 134 人），探討在傷患人數倍增情況下，最佳的策略結果有無改變。後續同樣會分別針對中傷病患、重傷病患、同時考慮中傷與重傷病患以上三種情況進行討論。

- **中傷病患之模擬結果**

總後送人數 800 人當中有 666 人是中傷，中傷病患之衡量指標為康復率，圖 5-16 為中傷病患在各策略下的模擬結果，根據模擬結果，我們找出最好及最差的策略結果如表 5-15 所示。

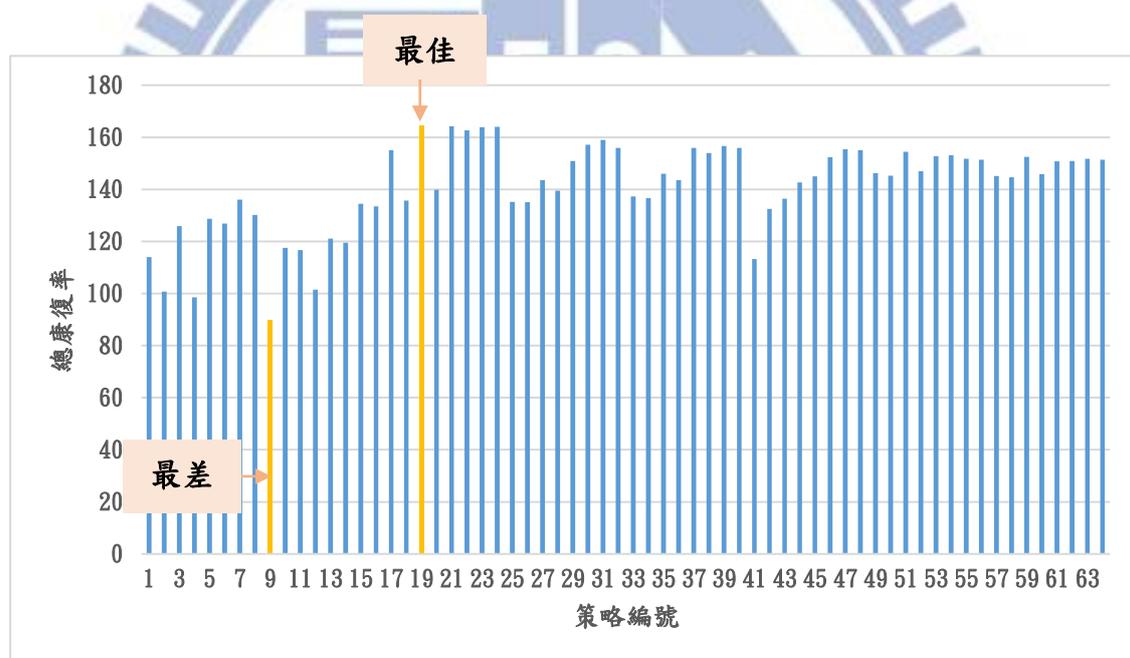


圖 5-16 中傷病患各策略之模擬結果（情境二）

表 5-15 中傷病患最佳與最差策略內容表 (情境二)

最差	策略 9	檢傷點分開派遣、 檢傷點之重傷病患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達各醫院之行駛時間由短到長後送傷患、 重度醫院急診室內重傷與中傷病患分開處理
最佳	策略 19	檢傷點統一派遣、 先抵達檢傷點之傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間由長到短後送傷患、 重度醫院急診室內重傷與中傷病患合併處理

對中傷而言，最好的結果為策略 19，與 167 人的情境結果相同。最差的結果為策略 9，該策略的檢傷點指揮原則為分開派遣，由表 5-16 可看出策略 9 在各醫院的就醫人數都少於策略 19。最好的策略跟最差的策略相比，策略 19 的總就醫中傷人數比策略 9 多了 151 人，總康復率提升了 74.51(約 83.65%)。

表 5-16 中傷病患最佳與最差策略之數值比較表 (情境二)

醫院距離	醫院類別	醫院名稱	中傷病患就醫人數	
			策略 19 (最好策略)	策略 9 (最差策略)
近 ↓ 遠	重度醫院	成功大學附設醫院	107	80
		奇美醫院台南分院	157	83
	中度醫院	台南市立安南醫院	36	30
		台南市立醫院	36	29
		基督教台南新樓醫院	24	18
		衛生福利部台南醫院	12	9
		郭綜合醫院	23	18
		基督教新樓醫院麻豆分院	23	17
		柳營奇美醫院	44	27
總就醫中傷人數			462 人	311 人
總康復率值			164.46	89.95

策略 19 是對中傷病患而言最好的送醫策略，該策略在檢傷點的指揮原則為統一調度，然而檢傷點統一調度在實際操作上尚有一定的困難度，本研究欲探討若將檢傷點的指揮原則改為分開派遣，其他原則不變的條件下 (策略 3)，結果之差異為何。以下為策略 3 的派遣原則：

策略 3—

檢傷點分開派遣、

先抵達檢傷點之傷患優先接受救護車送醫服務、

救護車根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間由長而短後送傷患、

重度醫院急診室內重傷與中傷傷患合併處理。

比較結果如表 5-17 所示，在統一調度的情況下，距離較近的兩家重度醫院可接收較多的中傷病患；在分開調度的情況下，兩家重度醫院可接收的中傷病患較少。當檢傷點的指揮原則從統一調度改成分開派遣時，總就醫的中傷人數會減少 74 人，總康復率會比統一調度減少 8.58(約 23.48%)。

表 5-17 中傷病患策略 3 與策略 19 數值比較表 (情境二)

醫院距離	醫院類別	醫院名稱	中傷病患就醫人數	
			策略 3 (分開調度)	策略 19 (統一派遣)
近 ↓ 遠	重度醫院	成功大學附設醫院	79	107
		奇美醫院台南分院	100	157
	中度醫院	台南市立安南醫院	39	36
		台南市立醫院	37	36
		基督教台南新樓醫院	25	24
		衛生福利部台南醫院	12	12
		郭綜合醫院	23	23
		基督教新樓醫院麻豆分院	23	23
		柳營奇美醫院	50	44
總就醫中傷人數			388 人	462 人
總康復率值			125.84	164.46

• 重傷病患之模擬結果

總後送人數 800 人當中有 134 人是重傷，重傷病患之衡量指標為存活率，圖 5-17 為重傷病患在各策略下的模擬結果，根據模擬結果，我們找出最好及最差的策略結果如表 5-18 所示。

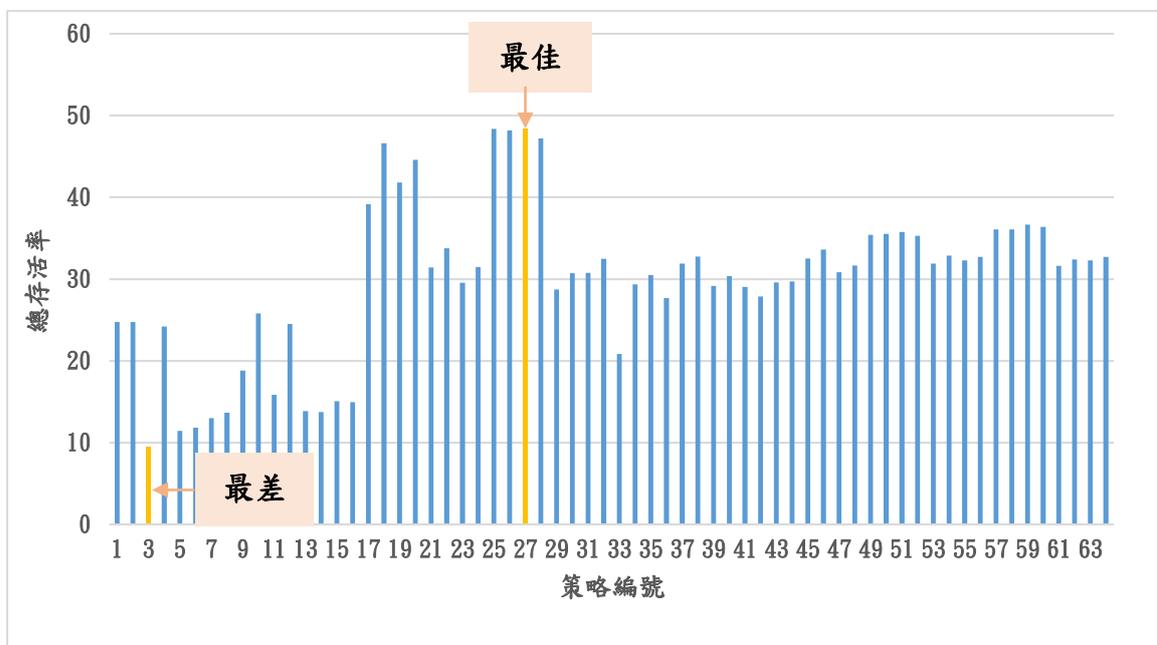


圖 5-17 重傷病患各策略之模擬結果 (情境二)

表 5-18 重傷病患最佳與最差策略內容表 (情境二)

最差	策略 3	檢傷點分開派遣、 先抵達檢傷點之傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間由長而短後送傷患、 重度醫院急診室內重傷與中傷傷患合併處理
最佳	策略 27	檢傷點統一派遣、 檢傷點之重傷傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間由長而短後送傷患、 重度醫院急診室內重傷與中傷傷患合併處理

由表 5-17 所示。最好的策略跟最差的策略相比，策略 27 的就醫重傷人數比策略 3 多了 79 人，總康復率提升了 38.92。

表 5-19 重傷病患最佳與最差策略之數值比較表（情境二）

醫院距離	醫院類別	醫院名稱	重傷病患就醫人數	
			策略 27 (最好策略)	策略 3 (最差策略)
近 ↓ 遠	重度醫院	成功大學附設醫院	49	10
		奇美醫院台南分院	52	12
總就醫重傷人數			101 人	22 人
總存活率值			48.39	9.47

策略 27 是對重傷病患而言最好的送醫策略，該策略在檢傷點的指揮原則為統一調度，然而檢傷點統一調度在實際操作上尚有一定的困難度，本研究欲探討若將檢傷點的指揮原則改為分開派遣，其他原則不變的條件下（策略 11），結果之差異為何。以下為策略 11 的派遣原則：

策略 11

檢傷點分開調度、

檢傷點之重傷傷患優先接受救護車送醫服務、

救護車根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間由長而短後送傷患、

急診室內重傷與中傷傷患合併處理

比較結果如 5-20 所示，可由結果看出，各家醫院在統一派遣的指揮原則下可接收較多重傷病患，當指揮原則從統一派遣改為分開調度，就醫的重傷總人數會減少 67 人，總存活率會減少 32.54（約 67.25%）。

表 5-20 重傷病患策略 11 與策略 27 數值比較表（情境二）

醫院距離	醫院類別	醫院名稱	重傷病患就醫人數	
			策略 11 (分開調度)	策略 27 (統一派遣)
近 ↓ 遠	重度醫院	成功大學附設醫院	20	49
		奇美醫院台南分院	14	52
總就醫重傷人數			34 人	101 人
總存活率值			15.85	48.39

- 合併考慮重傷與中傷

圖 5-18 為同時考慮重傷與中傷病患（共 800 人）各策略無法獲得醫療服務之人數，有兩種情況會使得傷患無法獲得醫療服務，一種是在檢傷點就發現醫院已無法接收傷患，因此無法指派傷患；另一種情況是已經將傷患指派至特定醫院，但當救護車抵達醫院時卻發現醫院內已有多名傷患在等候，等候時間大於剩餘黃金時間。由圖 5-18 可以歸納出以下幾點特性：

1. 無論指派原則為何，每項策略都至少有 200 名傷患無法獲得醫療服務，因此我們可以推斷 800 名的傷患已超過該地區的醫療負荷能量。
2. 傷患到達醫院後發現無法就醫的情形皆發生於檢傷點分開派遣的指揮原則。因為當檢傷點統一調度時，會合併考慮各檢傷點的後送資訊及醫院內的傷患資訊，一旦判定傷患在醫院等候時間大於剩餘黃金時間就都會將傷患送至該醫院，因此不會有到達醫院後才發現無法就醫的情況發生。
3. 隨機後送和輪流後送會有較多的無法獲得醫療服務之傷患。

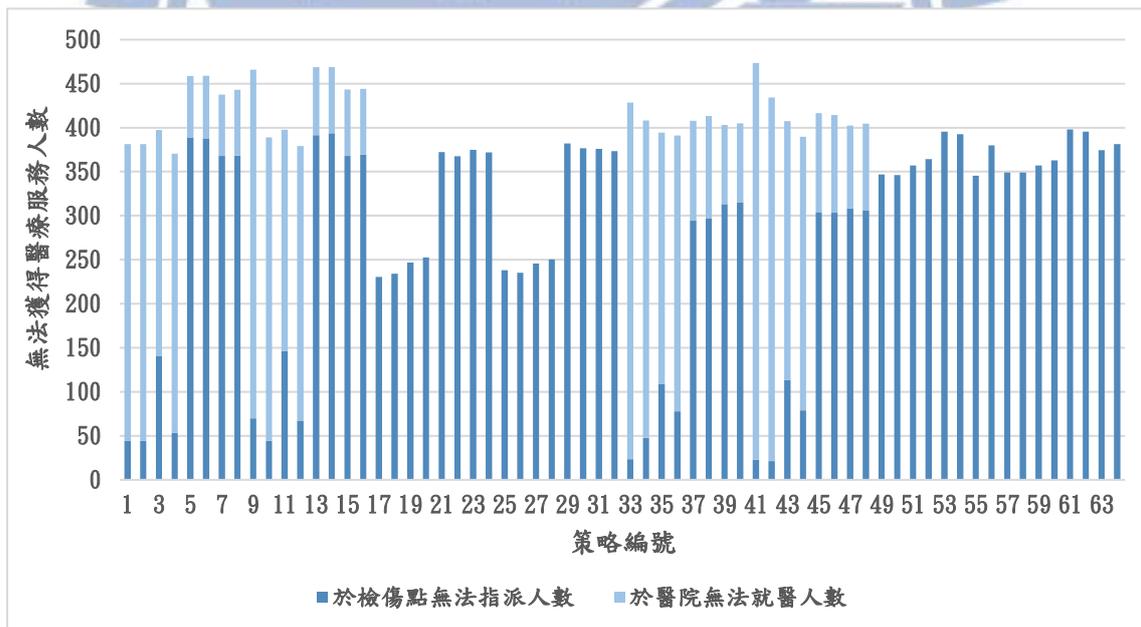


圖 5-18 各策略無法獲得醫療服務人數（情境二）

表 5-21 分別比較重傷與中傷的最佳策略內容，兩者的差別在於檢傷點的排隊原則。在檢傷點優先後送重傷可以使得重傷病患較早接受服務對於中傷病患而言，因此對重傷病患有利；反之，重傷先送會使得中傷病患需要等待，因此先到先送對中傷病患才會是較好的策略。

表 5-21 中傷與重傷最佳策略比較（情境二）

中傷 最佳 策略	策略 19	檢傷點統一派遣、 先抵達檢傷點之傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間由長而短後送傷患、 重度醫院急診室內重傷與中傷病患合併處理
重傷 最佳 策略	策略 27	檢傷點統一派遣、 檢傷點之重傷傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間由長而短後送傷患、 重度醫院急診室內重傷與中傷病患合併處理

由上述之比較可以發現中傷與重傷的最佳策略有部分重疊之處，本研究欲探討若同時考慮中傷和重傷傷患，最佳的送醫策略為何？因此本研究對於重傷病患的總存活率和中傷病患的總康復率分別給予一權重值，兩權重值加總為 1。比較不同權重比例下的最佳策略結果。

$$\text{綜合衡量指標} = \alpha_1 \cdot \sum_{i \in \Omega_I} f_I(t_i) + \alpha_2 \cdot \sum_{i \in \Omega_D} f_D(t_i) \dots\dots\dots (5.2)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 1 \dots\dots\dots (5.3)$$

可由表 5-22 看出，

1. 無論重傷和中傷的權重為何，檢傷點的指揮原則都是統一派遣，選擇醫院的原則皆是根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間，重度醫院急診室的人力配置原則皆是重傷與中傷病患合併處理。
2. 中傷病患的權重從 0.9 到 0.3 時，最佳策略結果與僅考慮中傷病患的最佳策略結果相同。
3. 當重傷的權重大於 0.7 時，重度醫院急診室內的人力配置會由合併處理重傷與中傷病患變成分開處理，此策略結果與僅考慮重度病患的最佳策略結果相同。

表 5-22 不同權重之策略結果 (情境二)

(α_1, α_2)	最佳策略結果	
(0.1,0.9)	策略 19	檢傷點統一派遣、 先抵達檢傷點之傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達醫院時之剩餘黃金時間後送傷患 重度醫院急診室內重傷與中傷病患合併處理
(0.2,0.8)		
(0.3,0.7)		
(0.4,0.6)		
(0.5,0.5)		
(0.6,0.4)		
(0.7,0.3)		
(0.8,0.2)	策略 27	檢傷點統一派遣、 檢傷點之重傷傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達醫院時之剩餘黃金時間後送傷患、 急診室內重傷與中傷病患合併處理
(0.9,0.1)		

5.3.1 小結

表 5-23 整理出重傷和中傷病患在情境一與情境二下的最佳策略結果，可由結果看出：

1. 無論是中傷或重傷，兩情境最佳結果有兩點共通之處：檢傷點的指揮原則都是統一派遣、選擇醫院的原則皆是根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間。
2. 對於中傷病患而言，無論後送人數多少，最佳的策略結果皆相同。
3. 對於重傷病患而言，重度醫院急診室內的人力配置在不同人數規模有不同的表現，在後送人數較少的時候（情境一）分開處理中傷和重傷病患的結果較好；在後送人數較多的時候（情境二）合併處理中傷和重傷病患的結果較好。

表 5-23 情境一與情境二之最佳策略比較表

	情境一 (167 人)	情境二 (800 人)
重傷最佳策略	策略 59	策略 27
	重傷與中傷病患分開處理	重傷與中傷病患合併處理
	檢傷點統一派遣、 檢傷點之重傷傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達醫院時之剩餘黃金時間後送傷患	
中傷最佳策略	策略 19	
	檢傷點統一派遣、 先抵達檢傷點之傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達醫院時之剩餘黃金時間後送傷患 重度醫院急診室內重傷與中傷病患合併處理	

為了同時考慮中傷及中傷病患，本研究利用分別給予中傷和重傷病患一權重值，表 5-24 整理出重傷和中傷病患在情境一與情境二下不同權重之策略結果，可由結果看出兩者重疊之處不大，當傷患人數增加時（情境二），策略結果會更偏向先到先服務。

表 5-24 情境一與情境二不同權重之策略結果

(α_1, α_2)	最佳策略結果	
	情境一	情境二
(0.1,0.9)	策略 19	策略 19
(0.2,0.8)		
(0.3,0.7)		
(0.4,0.6)		
(0.5,0.5)	策略 27	策略 19
(0.6,0.4)		
(0.7,0.3)		
(0.8,0.2)	策略 59	策略 27
(0.9,0.1)		

表 5-25 策略 19、27、59 之策略內容

策略編號	策略內容
策略 19	檢傷點統一派遣、 先抵達檢傷點之傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達醫院時之剩餘黃金時間後送傷患 重度醫院急診室內重傷與中傷病患合併
策略 27	檢傷點統一派遣、 檢傷點之重傷傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達醫院時之剩餘黃金時間後送傷患、 重度醫院急診室內重傷與中傷病患合併處理
策略 59	檢傷點統一派遣、 檢傷點之重傷傷患優先接受救護車送醫服務、 救護車根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間後送傷患、 重度醫院急診室內重傷與中傷傷患分開處理

第六章 結論與建議

發生大量傷病患事故時,該地區的醫療系統在短時間會湧入的大量傷患,救護派遣員必須在醫療資源有限且時間緊迫的情況下有效地指揮調度,本研究旨在探討大量傷病患事故之送醫策略,結論與建議綜整如下:

6.1 結論

1. 大量傷病患事故之排隊網路模型

在大量傷病患事故之送醫相關文獻中,大多簡化為靜態環境並以定值描述醫院容量,本研究套用排隊理論,將檢傷點與醫院轉成排隊系統,共計六種不同類型之排隊系統,並計算傷患於系統內之等待時間,提供有利之後送資訊。除了排隊系統資訊,其他相關決策因素還包含了:傷患種類、傷患數量、醫院分類、醫院數量、救護車從檢傷點到醫院的行駛時間。

2. 大量傷病患事故之策略衡量指標

以往研究大多以存活率做為目標函數,然而中傷病患通常沒有無法存活之疑慮,僅可能因為久未接受醫療服務而導致傷勢難已康復,因此將康復率做為中傷病患之衡量指標,除此之外,還將黃金時間納入考慮,無論重傷或中傷病患都必須在黃金時間內接受到醫療服務。

3. 大量傷病患事故之送醫策略

本研究將送醫策略概分為四個大決策點:檢傷點間的指揮原則、檢傷點傷患等待就醫的排隊原則、檢傷點指派傷患至醫院選擇原則、重度醫院急診室內的人力配置原則,共提出 64 種不同的送醫策略。由模擬結果可知:

- (1) 無論災害規模大小、無論傷患種類,最好的結果都是檢傷點間統一派遣並且根據傷患到達醫院時剩餘黃金時間選擇後送醫院。
- (2) 同時考路中傷和重傷病患時,調整兩者的權重會得到不同的結果,因此派遣員必須在中傷和重傷之間進行權衡。
- (3) 不同規模大小的災害策略結果會不同,因此派遣單位需要確切掌握災害訊息以及各醫院的醫療資訊才能做出合適的決策。

6.2 未來研究方向與建議

與大量傷病患事故相關的研究範圍涵蓋得非常廣，本研究主要探討送醫策略之擬定，下列為對後續研究之方向建議：

1. 設定不同的大量傷病患事故環境

不同的大量傷病患事故種類會有不同的特性，例如：當氣爆發生時，所有傷患幾乎都在同一個時間點產生；當地震發生時，傷患不會集中在同一個時間點，而是會陸陸續續產生。後續之研究可以針對更多情境進行模擬，例如：不同中重傷比例、不同檢傷點數目與距離、不同傷患到達率等等。

2. 將醫療支援行為納入考量

當發生大量傷病患事故時，通常會有醫療支援發生，醫療支援可能包含以下幾種情形：救護小組至檢傷點給予傷患緊急救護、救護小組至臨時醫療站給予初步治療、醫院內不同部門間的醫療支援、不同醫院的救護人員給予跨院支援。因此後續研究可將醫療支援行為納入考慮，更貼近實際狀況。

3. 考慮救護車之調度派遣工作

救護車在大量傷病患事件當中扮演非常重要的角色，會在消防機關、衛生機關、醫療機構和檢傷集檢點之間往返，救護車除了要負責大量傷病患事故的緊急後送，也有日常的救護工作，因此需要了解如何有效地調派救護車。

4. 醫院急診室內的醫療資源分配

平時醫院就有急診傷患，當發生大量傷病患事故時，如何妥善分配急診室內的人力為相當重要的議題。

參考文獻

1. Bose, S. K. (2013). *An introduction to queueing systems*. Springer Science & Business Media.
2. Chen, W. K., Cheng, Y. C., Ng, K. C., Hung, J. J., & Chuang, C. M. (2001). Were there enough physicians in an emergency department in the affected area after a major earthquake? An analysis of the Taiwan Chi-Chi earthquake in 1999. *Annals of emergency medicine*, 38(5), 556-561.
3. Christie, P. M. J., & Levary, R. R. (1998). The use of simulation in planning the transportation of patients to hospitals following a disaster. *Journal of medical systems*, 22(5), 289-300.
4. Cowley, R. A. (1975). A total emergency medical system for the State of Maryland. *Maryland state medical journal*, 24(7), 37-45.
5. Dean, M. D., & Nair, S. K. (2014). Mass-casualty triage: Distribution of victims to multiple hospitals using the SAVE model. *European journal of operational research*, 238(1), 363-373.
6. Gul, M., & Guneri, A. F. (2015). A discrete event simulation model of an emergency department network for earthquake conditions. In *Modeling, Simulation, and Applied Optimization (ICMSAO), 2015 6th International Conference on* (pp. 1-6). IEEE.
7. Kotwal, R. S., Howard, J. T., Orman, J. A., Tarpey, B. W., Bailey, J. A., Champion, H. R., ... & Gross, K. R. (2016). The effect of a golden hour policy on the morbidity and mortality of combat casualties. *JAMA surgery*, 151(1), 15-24.
8. Levi, L., Michaelson, M., Admi, H., Bregman, D., & Bar-Nahor, R. (2002). National strategy for mass casualty situations and its effects on the hospital. *Prehospital and disaster medicine*, 17(01), 12-16.
9. Mills, A. F., Argon, N. T., & Ziya, S. (2013). Resource-based patient prioritization in mass-casualty incidents. *Manufacturing & service operations management*, 15(3), 361-377.
10. Palmer, A. & Hebdon, J. (2015). *London Resilience Partnership Mass Casualty Plan, Version 3.2*.
11. Park, J. O. (2010), Epidemiological characteristics and resource utilization of mass casualty incidents and disaster in Korea. Ewha Womans University Ph.D. thesis.

12. Repoussis, P. P., Paraskevopoulos, D. C., Vazacopoulos, A., & Hupert, N. (2016). Optimizing Emergency Preparedness and Resource Utilization in Mass-Casualty Incidents. *European journal of operational research*.
13. Sacco, W. J., Navin, D. M., Fiedler, K. E., Waddell, I. I., Robert, K., Long, W. B., & Buckman, R. F. (2005). Precise Formulation and Evidence-based Application of Resource-constrained Triage. *Academic emergency medicine*, 12(8), 759-770.
14. Shapira, S. C., & Shemer, J. (2002). Medical management of terrorist attacks. *The Israel medical association journal: IMAJ*, 4(7), 489-492.
15. Sosna, J., Sella, T., Shaham, D., Shapira, S. C., Rivkind, A., Bloom, A. I., & Libson, E. (2005). Facing the New Threats of Terrorism: Radiologists' Perspectives Based on Experience in Israel 1. *Radiology*, 237(1), 28-36.
16. Sung, I., & Lee, T. (2016). Optimal allocation of emergency medical resources in a mass casualty incident: Patient prioritization by column generation. *European journal of operational research*, 252(2), 623-634.
17. Williams, J., Nocera, M., & Casteel, C. (2008). The effectiveness of disaster training for health care workers: a systematic review. *Annals of emergency medicine*, 52(3), 211-222.
18. 行政院統計處 (1999)。921 震災勞動情勢分析新聞稿。
19. 林志豪(2010)。災難來了怎麼辦? 災難應變 SOP。臺北市：貓頭鷹。
20. 衛生福利部(2016)。急救責任醫院分區名單。
21. 臺南市政府災害防救辦公室(2016)。臺南 0206 地震維冠金龍大樓救災復原經驗分享。
22. 臺南市政府消防局(2016)。臺南市政府消防局執行 0206 地震災害應變處置專案報告。