

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

地震災區交通之評估與決策分析(二)

The Evaluation and Decision Analysis for the Transportation of Earthquake
Disaster Area (2)

永續發展式的災區重建：921 災區重發展之研究—子計畫四

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC90-2621-Z-009-001

執行期間：90年8月1日至91年7月31日

計畫主持人：馮正民教授

共同主持人：林楨家助理教授

研究人員：王在莒

溫杰炤

處理方式：可立即對外提供參考

執行單位：國立交通大學交通運輸研究所

中華民國 九十一年 七月

摘要

為協助交通運輸部門在地震災害發生後，能迅速地掌握災情，並有效地作出各項救災與復原工作之決策或規劃，本研究計畫以二年時間逐步完成地震災區交通評估指標(第 1 年)以及決策規劃模型構建(第 2 年)。前者已於 89 年度(89 年 8 月 1 日~90 年 7 月 31 日)執行完成，目的在掌握需要的災損資訊，並評量救災與復原工作之績效；後者則在 90 年度執行，目的在協助決策者進行各項救災與復原工作之分析與規劃。本年度共完成災區物流系統、道路搶修任務排程以及交通管制等三部分的規劃分析模式，其中物流系統部分並進行 921 集集大地震災區實例研究，以確認模式之可行性並累積應用經驗，研究成果可提供相關權責單位作為救災與復原工作之參考。

關鍵詞：地震災害、振災物流、道路搶修任務排程、交通管制、數學規劃。

Abstract

There are two parts in this study. The first part, which was executed last year, was to construct the transport evaluation indices for the earthquake disaster area. Part of the constructed indices has been used to understand the disaster conditions as quick as possible, and the other indices can be used to evaluate the performance of rescue and recovery tasks. The second part executed this year was to construct the decision model, which can be used to enhance the efficiency and quality of the analysis and planning for the rescue and recovery tasks. Three models were developed: relief distribution, road repair scheduling, and traffic regulation. In addition, the application (and also experiences) of the relief distribution model was proved feasible by case studies in the 921-earthquake disaster area, and the conclusions of case studies could be recommended to the related administrations.

Key words: earthquake disaster, relief distribution, road repair scheduling, traffic regulation, mathematical programming.

目 錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
目 錄.....	iii
第一章 緒論	
1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 研究對象與範疇.....	2
1.3 研究內容.....	2
1.4 研究方法.....	4
第二章 震災物流系統規劃模式	
2.1 文獻回顧.....	5
2.2 模式構想.....	8
2.3 模式構建.....	20
2.4 實例研究.....	36
2.5 小結.....	51
第三章 道路搶修任務排程規劃	
3.1 文獻回顧.....	53
3.2 模式構想.....	57
3.3 模式構建.....	59
3.4 小結.....	61
第四章 災區交通管制規劃	
4.1 地震災區交通管制課題探討.....	61
4.2 模式構建.....	66
第五章 結論.....	80
參考文獻.....	80

第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

民國 88 年 921 集集大地震的教訓告訴我們，對於地震災害，災後的應變、處置以及復原亦是永續發展的重要課題，它的重要性與避免或預防災害發生相當；因此，永續發展課題應由原來以「平時」或「避災」之情境或目標，進一步擴展至「有災」情境之處置。

在震災發生之後，交通運輸部門擔負了重要的角色，因為一切救災、維生、疏散或復原工作，均須藉由交通運輸部門的協助來進行。而交通運輸部門除了儲運、疏散與管制等作為之外，尚須對受損設施進行搶修與復原，以利各項救災工作之進行；因此，如何在急迫的時間之內，面對廣大的災區與災損，就眾多工作進行合理有效的決策，便成為相當重要的課題。

合理有效的決策首賴對災損情況的掌握，然而過去對災損情況的描述方式，常常無法滿足交通運輸部門的需要；例如：著重於對個別運輸設施災損的統計，無法說明該設施對救災或復原的重要性與影響力，亦即尚須搭配地區發展特性之資訊，方能有效進行決策判斷。因此，建立符合交通運輸部門需要的災損指標，是相當重要的課題。另外，衡量交通運輸部門在救災與復原作為之績效，不僅可評估國內災後復原工作之效率，同時也說明災區復原繼續發展的速度與能力；因此，本研究蒙 貴會支持，在 89 年度(89 年 8 月 1 日到 90 年 7 月 31 日)進行建立救災與復原績效之評估指標的工作，作為對 921 震災救災工作績效檢討之依據，以及設定未來改進之目標。

掌握災情並設定績效目標之後，接著就得非常有效且合理地作出許多關鍵性的決策，諸如：如何進行救援物資儲運規劃與管理？如何規劃道路搶修任務排程？如何規劃災區交通管制措施？等時間緊迫但較為複雜之課題；因此，如能構建一套有效的分析工具，輔助救災人員在有限的時間內作出最佳決策，對災區緊急處置以及復原工作將會有相當大的助益。這個決策分析工具必須不僅能在災前即妥善規劃各項工作，同時在災後尚須能就實際災損情況作即時之分析，更新工作規劃內容。

基於以上說明，為能降低地震災區之損失，並於災後迅速有效地復原，維持災區之永續發展，本研究(第二年度)之目的如下：

1. 分別建立地震災區救援物資集散據點與輸運路線規劃、道路搶修任務排程規劃以及災區交通管制措施規劃等三種分析模式。
2. 對 921 震災災區進行實例研究，以驗證模式之可行性，並供災後復原決策及未來災時搶救決策之參考。

1.2 研究對象與範疇

就以下三點說明研究對象及其範圍：

1. 在時間範疇上，本研究以災後之緊急決策規劃為主。交通決策系統應包括事前之模擬規劃與事後之即時規劃，因此本研究除偏重災後之決策規劃外，仍會探討災前防災計畫中關於災後決策運作機制規劃的部分。
2. 交通決策支援系統應包含各類子系統，本年度將以較複雜且決策時間緊迫之救援物資配送規劃、道路搶修任務排程規劃、災區交通管制規劃三個子系統為對象，如圖 1 所示。
3. 為符合搶救之時效性，本研究所建立之模式強調在滿足實務使用需要上，重點在於災後即時資訊之蒐集，配合電腦與資料庫以簡化模式運算，迅速反應以進行即時的決策規劃，因此模式與演算法之複雜度將會在實務需求與實用效率之間求其平衡。

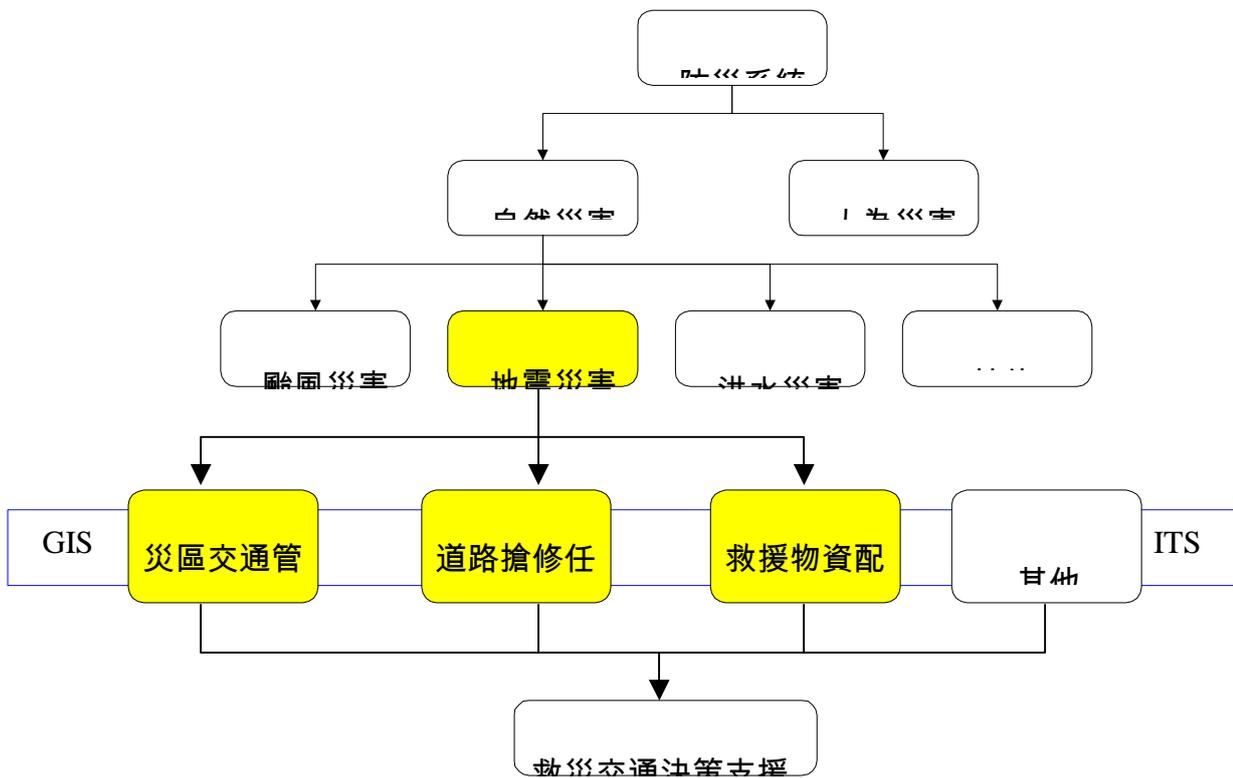


圖 1 救災決策支援系統組成與研究範疇

1.3 研究內容

第二年度研究流程如圖 2 所示，各項工作說明如下：

1. 定義與規範問題

包括研究動機與目的之界定、研究範圍之劃定以及研究內容與方法之擬定。

2. 收集評析相關文獻

蒐集國內外相關防災計畫之研究，瞭解防災救災系統所應具備功能，並參考國外相關系統設計，以作為構建救災交通決策模式之參考。

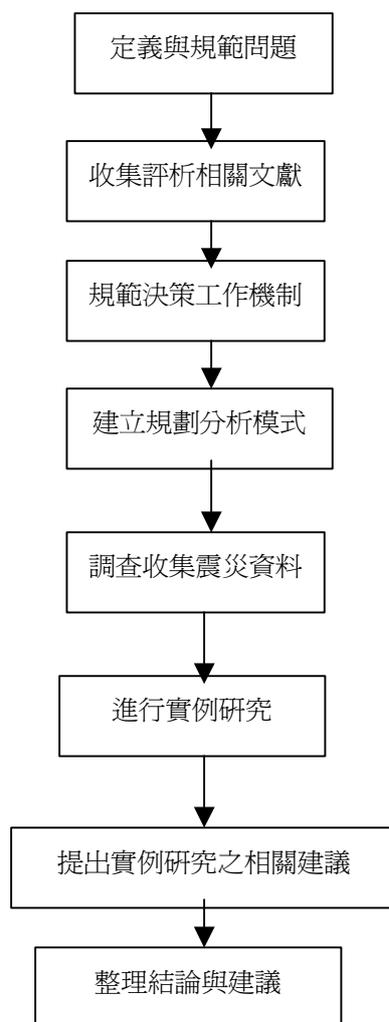


圖 2 第二年度研究流程

3. 規範決策工作機制

由相關防災計畫與實際救災經驗探討救災交通決策規劃之運作機制，並研究災後資訊蒐集方法，以釐清模式構建之運作情境與假設條件。

4. 建立規劃分析模式

以數學規劃方法分別構建救援物資集散據點與輸運路線規劃、道路搶修任務排程規劃、災區交通管制規劃三項分析模式。

5. 調查收集震災資料

針對 921 震災災區，調查蒐集所構建分析模式所需輸入資料，以瞭解 921 震災之狀況，並作為後續實例分析之基礎。

6.進行實例研究

針對救援物資集散據點與輸運路線規劃，以 921 災區作為實例分析對象，試驗模式之可行性、合理性與實用性。

7.提出實例研究之相關建議

整理實例研究的分析結果，提供作為防救災與復建等相關權責單位的參考建議。

8.整理結論與建議

彙整兩個年度之研究成果，提供防救災與復建相關規劃單位之參考。另外在研究之不足處提出後續發展建議，期使此系統能在未來更趨完善。

1.4 研究方法

本研究預定採用以下方法進行各項工作：

1. 文獻評析法

對所收集相關研究文獻資料進行評析，作為決策工作機制與規劃分析模式建立之基礎。

2. 腦力激盪法

透過研究成員之分析討論以及與專家學者之訪談，歸納演繹決策工作機制與規劃分析模式各項目之建立。

3. 數學規劃法

以數學規劃方法構建各項分析模式，進行規範性的分析。

4. 實例研究法

選定實際案例進行分析，除驗證模式之可行性與實用性外，並就分析結果提出建議事項供相關單位參考。

5. 實地調查法

為進行規劃分析模式之構建與實例分析，必須進行實地調查工作。調查內容將包括所建立模式各項輸入資料或參數。

第二章 震災物流系統規劃模式

2.1 文獻回顧

震災物流之特性與組成有別於一般物流系統，國內外相關之研究較少，以實際地震災害中之物流系統相關調查報告居多，但也留下許多經驗供做參考。

1. 震災物流實際調查

IATSS (International association of traffic and safety sciences) (1998) 曾針對日本 1995 年 1 月 17 日所發生阪神・淡路大地震後之交通特性做實際調查，其中針對緊急救援物資之配送進行深入探討，調查災後不同時期的救援物資每日到達數量與到達時間、分布救援物資配送之運作方式、救援物資之分類（共分主副食品、飲料、調味料、食器、衛生用品、燃料、衣服、醫藥、電池、事務用品、車輛等）需求比率、輸送方式、各配送路徑之運輸與路線選擇之主要原因。調查結果發現災後不同時期之物資配送模式不同，而物資種類的需求程度也有所不同，醫藥、電池、燃料由初期的高比率漸漸下降，主副食品、飲料、衛生用品與衣服之需求比率漸漸增加。在配送路線方面，各路段隨著道路搶修而使得平均運輸速度提升，配送路線亦隨著交通改善而有所不同。針對各項課題與調查結果，該研究針對六大方面提出相關改善建議：(1)災區之車輛進出管制制度、(2)緊急物資配送系統與據點選擇計畫、(3)道路情報蒐集與提供體制、(4)替代之運具與配合輸送方式、(5)災民與物資需求地點與數量之資訊蒐集、以及(6)避難所之物資管理。

根據各國經驗，震災物流系統常面臨之主要問題可以分為行政與配送單位兩方面，分述如下：

(1) 行政方面的問題

- 因交通阻塞而使得初期物資經常在深夜才到達物資集散據點或避難所，且需派遣人力配合物資搬運，造成管理的困難。
- 大量物資同時到達使集散中心運作困難。
- 大量物資之庫存造成管理困難。
- 配送據點區位是否適當？是否因建物倒塌、土壤或海岸區液化等而有安全上的顧慮？所在區位之交通狀況是否良好？
- 災後資訊混亂且通信系統中斷，難以確認需求點位置與需求量。
- 災後交通設施受損且交通狀況混亂，導致物流系統運作效率不佳。
- 各行政區之指揮權責劃分不夠明確。

(2) 配送單位方面

- 車輛緊急徵召與指揮之作業混亂。
- 道路交通狀況之資料蒐集不易。

- 長時間運作且工作負荷量大造成作業人員與設備之沉重負擔。

這些問題也可以在我國 921 震災之救災工作經驗中得到驗證，根據國家地震工程研究中心(2000)與內政部建築研究所(1999)於 921 震災災後實地進行之調查，可以發現主要問題為：

- (1)因為以往我國沒有大型災害經驗，因此在防災規劃上，未體認大型開放空間及物質物資儲存場所對於震災防救之重要性。物資集散據點由於並無事先規劃，因此災後便以靠近救災指揮中心之公共場所為據點，也因此發生管理失序、交通阻滯現象。地震發生後，各地救援物資蜂擁而入，反而耗損更多人力去管理，而救災指揮中心也無法有效地分送給災民，更可能因此拖垮整個救災指揮系統。
- (2)大部份車輛皆使用同一熟知道路進入災區造成擁擠，或大量車輛集中至同一個救災指揮中心，形成卸貨作業延滯，或出現中途放棄目的地的現象。因為交通阻斷資訊不全且媒體報導缺乏交通阻斷資訊，使物資運送路徑選擇困難。另一方面媒體報導不均而形成資訊分佈不均，以致資源分佈不均之現象，例如對外發佈之主要物資轉運中心為南投市之體育場，因此大部份物資均進入此地，造成管理困難。由地理位置來看，應增加救災物資轉運中心之數量。
- (3)經由本次災害發現，災區救援無法自足，必須仰賴外界救援，但因災區緊急聯外道路及聯外橋樑因經過斷層帶破壞嚴重，造成救援機具及救援人員無法在最佳的救援時間（災後72小時）內進入災區，延緩後續受困人員搶救時效及物資運補工作，由於各災區緊急聯外道路多數嚴重破壞，多數仰賴直昇機運補救援物資。其中以東勢、中寮、集集、竹山情形最為嚴重。當時係暫以修築臨時便道或以直昇機運補，有必要事先規劃可靠的替代性道路，或規劃大型開放空間作為直昇機起降之外援據點。

2. 震災物流系統之決策模式

關於物流系統的決策模式在國內外已有相當多相關研究，其中也包括同時處理物流中心區位與配送路線的研究，例如蔡輝昇(1985)與陳春益(1994)都提出同時考量配送路線與物流中心區位的決策模式。但在震災物流系統的決策模式設計方面，相關的文獻則相對較少，例如 Haghani and Oh(1996)與鄭欣蓉(2000)。

鄭欣蓉(2000)利用數學規劃法提出震災物流系統之決策模式，並比較分析賑災物流與一般物流之特性，將一般物流系統與賑災配送系統之差異區分如表 1 所示。該研究以區位-分派問題與模糊多目標規劃構建最適物資配送模式，並以 921 災區之簡化資料作為個案分析以驗證模式之可行性，提出三點主要建議：(1)為提高配送模式之實用價值，需結合決策支援系統；(2)政策應主動規劃，於災前選取適當避難所、物資供給與轉運據點候選地點；(3)可引進基因演算法提昇大量資料求解之演算效率。

表 1 賑災物流系統與一般物流系統之差異

	一般物流系統	賑災物流系統
系統目標	利潤最大	兼顧公平與效率
角色對應	工廠	物資收集點
	物流中心	物資轉運站
	顧客	物資需求點
設施特性	常設性	臨時性
	實質性	可以是虛擬的點
規劃時程	長期-區位 中期-車隊規模 短期-排程	具急迫性，在最短時間內 即要做出不壞的決策
演算效率與最佳化之權衡	較重視最佳化	較重視演算效率
區位-配送模式設計	往返式配送 巡迴式配送	往返式配送

資料來源：鄭欣蓉(2000)。

另外 Fiedrich (2000) 提出救災活動之資源規劃決策模式，指出救災工作的主要目標是使要使損害與傷亡最小化，而救災活動最重要的關鍵點在於資源之最佳規劃配置，因此架構一個動態最適規劃模式，規劃不同分區與任務下之最適資源規劃。該研究的構想是可利用資源的有效運用可以改善救災行動的效率，救災決策者必需尋找一個最適資源規劃，但因為物資的時間、數量、品質是限制因素，且同時接收與處理大量資訊之困難度高，會使得問題難以處理，所以可以利用電腦決策支援系統輔助處理，但該文主要是提出可以計算最適資源規劃的數量模式。研究中也指出根據救災工作任務之不同，可以將救災工作劃分為三類可以減少傷亡的主要工作：(1) 搜尋與救援 (search and rescue work)，例如：搶救倒塌建築物內的災民；(2) 穩定 (stabilizing work)，防止二次災害擴大傷亡，例如搶修壞損的水壩、撲滅火災；(3) 緊急搶修 (immediate rehabilitation)，搶修修復運輸系統生命線，提升災區內外聯繫之可及性，例如：使災區傷者能迅速送往醫院。根據救災工作性質不同，可以劃分為三種作業區域，再根據物資特性與時間因素，架構出最適資源配置模式。

3. 其他震災物流相關研究

其他關於震災物流系統之研究尚有：劉怡萱(1999)利用地理資訊系統之網路分析功能，具體地模擬出高架道路、引道等三維的立體路段，以及時變性路段、轉向限制與道路封閉等情形，使都會區之路網模擬更符合實際道路狀況。並利用地理資訊系統求解物資配送問題，以空間級數之分析方法將目標區域做適當分區，同時求解分區之最佳配送路線，且以圖面顯示及統計表格的輸出，方便救災物資配送人員更能掌握救災之相關資訊，以提升救災工作之效率。

黃淑媛(2000)建置「全球資訊網 (World Wide Web, WWW)」救災物資管理系統，系統的架構建立整合國內相關防救災計畫研究所得之資訊，以協助救災物資的管理，更進一步希望將此系統納入災害管理決策支援系統中，使整個災害管理系統更臻完備。

4. 評析

地震所帶來的災害除了一次災害外，還有二次災害、三次災害，為防止災害所造成損失與傷亡擴大，應即時採取救災行動，依搶救對象與目的之不同，可以區分為：搜尋與救援、穩定與搶修。災害依時間推演，從地震發生、混亂、緊急避難、緊急搶修，一直到社會復甦，於此同時有許多救災活動持續進行，如何協調各救災單位齊心合作是救災體系的重點。救災工作是防災體系與計畫的重要一環，如何能在第一時間發揮救災系統的應變能力，可以有效減少傷亡。震災物流系統亦應於事前妥善規劃，並於災後緊急應變，有效滿足災民之需求。

由國內外防救災體系之相關文章可以發現救災工作最重要的是指揮系統的有效運作，在災區電信通訊設施受損的情況下，如何蒐集資訊與傳達命令，便是一重要課題，這也是我國目前在防災體制上待改進之處。有效的物流系統有賴於完整充分的資訊，例如物資供需資料、轉運據點位置、道路即時路況等，除了要在通訊系統上加強外，亦可輔以 ITS 與 GIS，使物流系統之運作更順暢。災後物資、轉運點與路況等之資料量龐大，難以由人工作出迅速正確的規劃與決策，必須仰賴電腦輔助處理資料與運算，並配合 GIS 系統圖形輸出，並以此為後續建立震災物流決策支援系統之主要部分。

回顧國內外震災相關文章後，可以發現多半著重於地質、土木與結構工程方面，日本阪神・在淡路大地震與我國 921 震災陸續發生後，震災交通方面相關研究增加許多，但關於震災物流系統的研究仍然很少。震災物流系統之決策模式是救災物流工作的核心，有合理且易於使用的決策模式，配合資料之收集，便能在災後迅速進行救援物資之配送。

目前我國三級體系中各級單位雖規定定期舉行防災會報，但在執行與成效上卻不甚理想，災害防救中心與緊急應變小組也是根據三級制體系設立，但經費分配與權責劃分上仍待改進，未來有必要重新檢討防救災體系之設計，簡化防災組織之層級，並設立直屬中央之專責機構，負責統籌防災規劃與災後緊急救援之調度。指揮權限與決策統一後，由各單位配合執行，震災物流系統更能發揮效率，節省運輸時間的損耗與成本浪費。

2.2 模式構想

2.2.1 震災物流系統之組成

物流系統之組成應包含物資供給與需求點、物流據點、配送方式等部分，而震災物流與一般物流系統有所不同，根據震災物流之需要，在組成上應包含：

1. 決策單位

防救災工作所牽涉部門廣泛，會造成彼此間協調困難且帶來管理上的問題，尤其台灣目前並無直屬中央的防救災專責機構，救災工作多由各級地方政府主導，由中央與軍方負責配合與協調，因此未來可能需要於中央成立專責機構統籌防災規劃與災後緊急搶救事宜，以統一指揮體系，發揮救災效率，並事前規劃完善的防災計畫。

2. 災情資訊

為發揮救災工作的效率，應充分掌握災情資訊，例如：道路損壞狀況、建築物損壞狀況，災區旅運需求，醫療用品、緊急物資與民生物資之需求狀況與分布、物流據點可用區位等，掌握這些資訊可讓物流系統之運作更有效率且適當滿足災民之需求。為了充分掌握資訊，災前應設計緊急調查計畫與調查手冊，讓各單位可在災後依照權責緊急調查，以掌握資訊並回報救災工作決策單位，進行有效的救災工作規劃。

3. 物流據點

震災物流系統的組成在物流據點上可以分為幾個主要部分，包括物資供應點、區域性大型轉運中心、地區性配送中心、物資需求點等節點，另外還包含各節點間之運輸路線與物資流量，如圖 3 所示。

(1) 物資供應點

物資之供應點是指非災區之其他都市的物資集中點與配送據點，應由各縣市政府在其轄區內設置據點集中各方捐助的救災物資，以避免各人自行送入災區而造成交通上之負擔。民眾捐助之物資集中收取後進行分類，由各縣市向內政部匯報可供應物資之種類與數量，再由軍方或中央緊急徵召車輛，並根據需求運至災區各個區域性轉運中心。

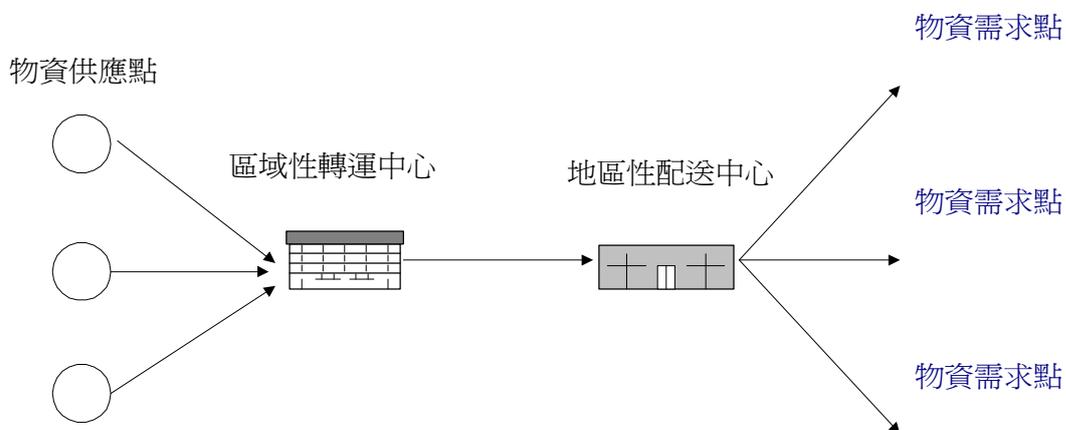


圖 3 震災物流系統示意圖

若是來自海外國家之外援，因為透過海空運抵台灣，則以港口或機場所在位置作為物資供應點，納入物流系統之考量中，與國內救援物資合併規劃出最佳的物資輸送方式。

(2)區域性轉運中心

災區各縣市政府於災後緊急選定大型開放空間或廣場作為區域性轉運中心可行區位，並依據可用人力與物資轉運流量，設置一處或多處大型轉運中心，統整由各地所送來之物資，再進一步轉送至各個鄉鎮市公所所選定的地區性配送中心，再由配送中心配送至災民集中處（即物資需求點），適時、適地、適量地滿足災民之需求。

為了顧及轉運中心附近之需求點可直接由轉運中心配送，減少再透過配送中心配送所耗損之時間，轉運中心亦應具有配送功能以服務鄰近之需求點。

(3)地區性配送中心

救援物資由區域性大型轉運中心轉送至各地區之配送中心後，再由這些配送中心統整各需求點之物資需求種類與數量，將物資送到各個物資需求點。

(4)物資需求點

災後物資之需求點主要為災民聚集之場所，以各鄉鎮公所成立之避難所與災民集中於小型開放空間而私設之避難場所為主要物資需求點，但是這些需求點的聯外交通狀況不盡相同，先將聯外交通未受影響或有替代道路可達之需求點輸入決策模式，規劃最佳物資輸送方式。較偏遠或災後交通中斷而造成車輛難以進入之地區的需求點，則應直接由直昇機輸送，避免救災工作之延誤，以提昇物流系統的效率與公平性。較緊急需要的物品，如醫藥用品、手電筒、電池或燃料等，亦應由直昇機緊急送至各需求點。因此整體震災物流配送體系應如圖 4 所示，依照交通狀況與物資種類分為直昇機運送或車輛運送，配送系統可能為兩層或三層之輸送架構。

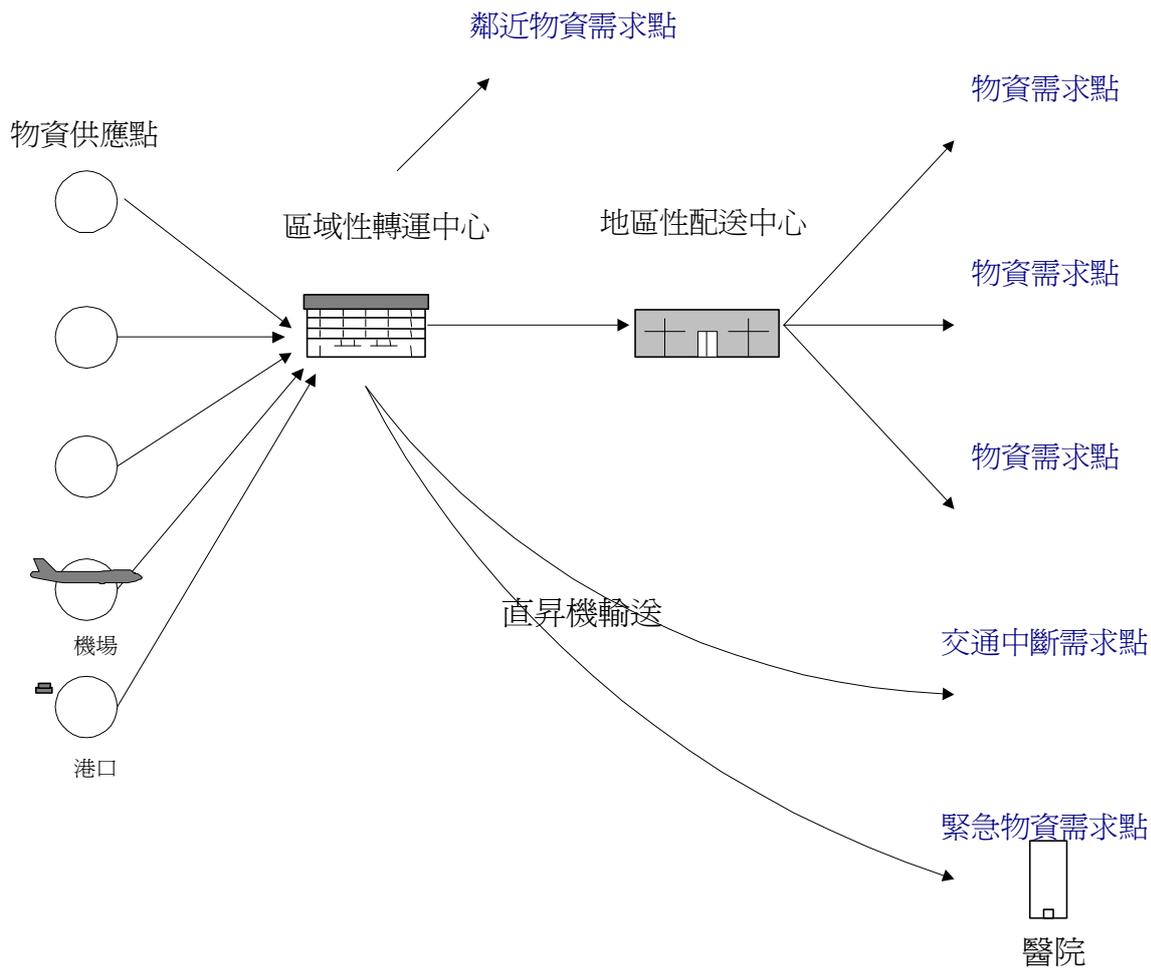


圖 4 物資配送方式示意圖

4.運輸路線

物流據點與運輸路線之選擇有相互影響的關係，在規劃物流據點時應充分考量交通路線與災後道路損壞狀況，區位之選擇以節省運輸時間為主，次要考量物資裝卸與庫存管理之方便性。

災後交通狀況異於平時，如何蒐集道路損壞資訊以決定最佳運輸路線是震災物流另一重要決策，路線選擇也以節省運輸時間為主，另外要考量輸送的安全與可靠度，避免因二次災害或餘震發生而影響物資輸送，或是危害運輸人員生命安全。

5.通訊系統

災後另一項難題是強烈地震可能嚴重損壞電信通訊系統，造成訊息傳遞困難的問題，而通訊系統是災情資訊傳遞與救災指揮工作的重要部分，所以必須於災前規劃緊急通訊方式，例如由軍方深入災區各處以無線電回報災情。

6.緊急運輸車輛

災後物資之大量需求可能是公家單位與軍方可調度車輛所無法負擔的，故民間車輛之緊急徵召是必要的，救災決策單位應於災前向監理處掌握民間車輛資料，於災後緊急徵用卡車與大型車輛配合物資之運輸。也可以參考國外做法，與民間物流公司或便利商店簽訂合約，由這些民間單位災後配合物資之輸送與發放，救災工作結束後再由政府負擔相關費用。

7. 災前計畫

正因為物資配送方式之不同且牽涉部門眾多，而救災工作首重時效性，故必須事前妥善規劃震災物流系統與災後緊急配送計畫，以期災後迅速應變，各單位之工作權責也能明確劃分，減低災後混亂時期所造成之救災工作延誤。

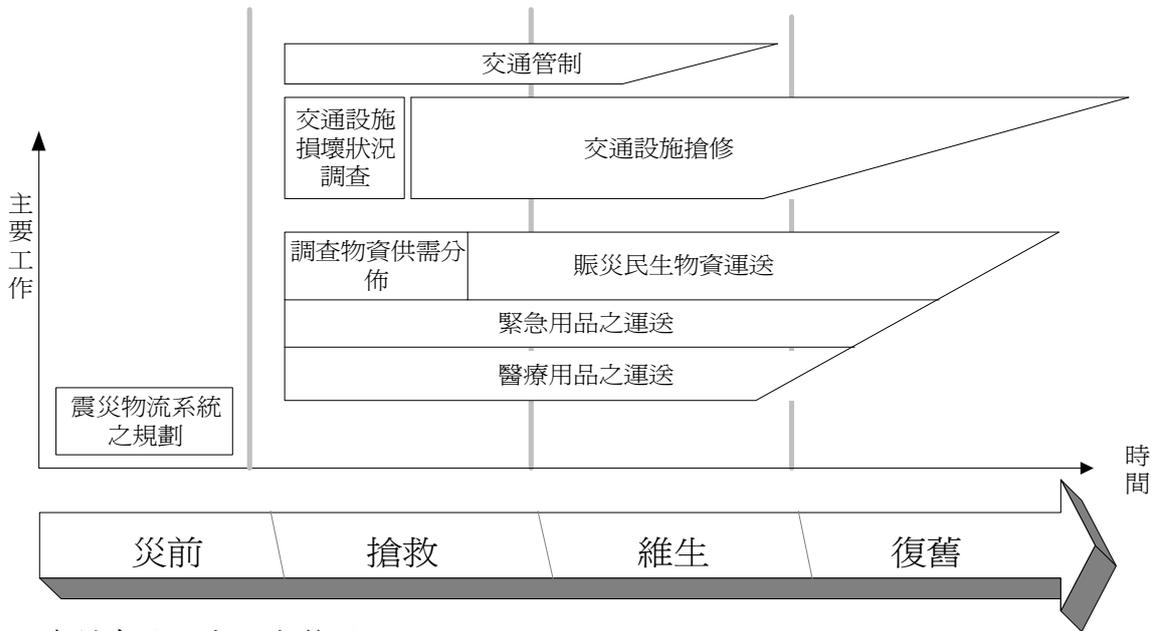
本研究將針對物流據點區位選擇為主，構建決策模式，並配合決策單位、災情調查與災前規劃等部分，提出震災物流系統之雛形與決策模式，以求解最佳之區位設置與各據點間之物資流量。於區位決策模式外，再設計路線選擇之決策模式，規劃最佳之配送路線與運輸車次需求，以提供決策者車輛調度之參考。

2.2.2 震災物流系統之運作

防災物流在各時期有不同之重點工作，各時期之物資需求比例也不盡相同，為配合災後交通狀況，物流系統之運作也應配合各時期交通管理措施，並以交通管理之決策與實際交通狀況作為物流系統的重要參考，以期物資運輸車輛能配合交通管制，並根據實際道路受損狀況與各路段災後行駛速率規劃最佳輸送方式。若某些地區因交通受損嚴重，則應考慮以直昇機緊急運送物資進行補給，但直昇機運載容量有限，仍然需靠緊急搶通重要道路以進行車輛輸送為主要物資運輸方式。

災後各時期之物資需求種類與比例各不相同，如圖 5 所示，災後初期以醫療用品（如藥品、繃帶、紗布等）與緊急物資（如手電筒、電池、燃料等）為主，隨著救災工作的進行，民生物資（如食物、飲水、衣物、衛生用品等）的需求比例會漸漸升高，因此震災物流系統應依照各期物資需求種類與數量進行調度，並分期規劃物資輸送方式。

震災物流系統之運作與各時期防救災工作之配合如圖 6 所示，災前應配合防災計畫規劃最可靠物流據點區位，評估各程度地震對物流系統之影響，並規劃物資據點區位，進行設施硬體改善與交通設施強化，在選定物流據點儲備適量醫療用品、緊急物資與民生用品。另外還要妥善規劃震災物流系統之運作體系，明訂指揮權限與相關各單位工作權責，並不斷進行演習，找出震災物流體系之缺點進行改善。



資料來源：本研究整理

圖 5 震災各時期物流工作示意



資料來源：本研究整理

圖 6 震災各時期物流系統與其他系統之工作配合

當震災發生後應緊急進行災情調查計畫，其中包括人員傷亡、交通設施受損狀況、災後旅運需求、物資供給與需求分布、物流據點可用區位、避難所位置與收容災民人數，各單位可用人力等相關資訊之收集，如圖 7 所示，將這些資訊經過救災指揮中心之統整，各救災系統分別利用這些資訊進行救災工作之決策與調度。

當各項資訊逐漸掌握後，應由交通管理系統根據各路段災後可用容量，分別給予各種車輛之進出權限，進行交通量之增量指派，以符合各路段車輛行駛速度之要求，並已指派結果作為交通管制計畫之參考進行管制。在交通管制、交通量指派與各路段速率等相關工作決定後，利用各路段車流速率，預估各節點間之可能運輸時間，作為物流系統決策模式所需之時間參數。

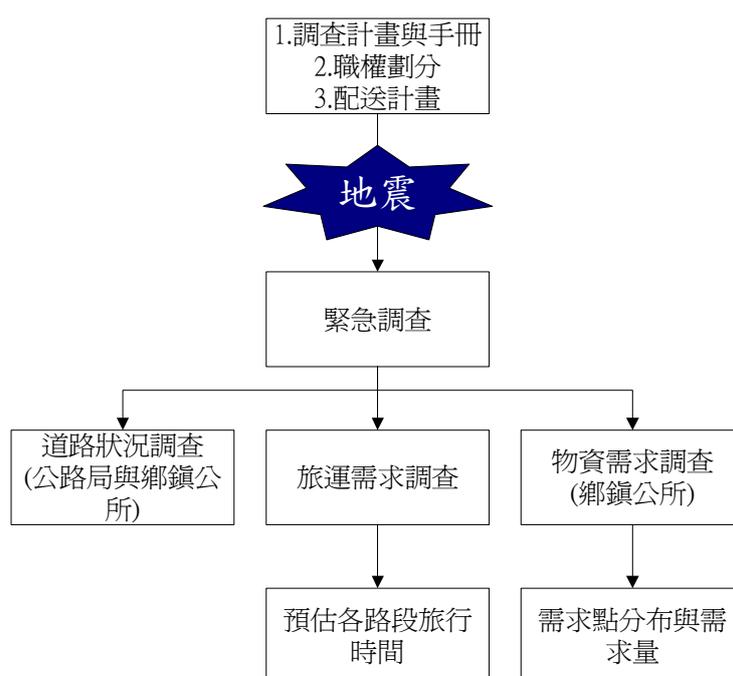


圖 7 各單位緊急調查示意圖

在災後搶救時期，為講求時效性，在進行物資需求調查前，應先緊急以直昇機運送足量之醫藥用品與緊急物資至各鄉鎮。在搶救時期同時進行各項物資需求之調查，並調查災前規劃之物流據點受損程度，根據交通狀況選出物流據點可行區位。在災區外之其他縣市則進行儲備物資之調度與民眾捐贈物資之收集，並徵召民間車輛作為緊急運輸車輛。

在相關資訊掌握後，便開始物流系統之運作與動員，首先先確定需求點是否因交通中斷或聯外道路受損而影響可能運輸時間，如圖 8 所示，將需要直昇機運輸之需求點由直昇機載運各項物資進行補給，其餘需求點則利用道路運輸，輸入震災物流系統決策模式，規劃物資配送計畫，進行各項物資之配送。

交通設施在維生與復舊時期不斷搶修完成，交通狀況漸漸恢復，震災物流系

統之配送計畫亦應配合調整，若有較佳之區位與配送方式時，根據調整配送計畫可能之成本與所需時間，決定是否進行調整。若區位與配送方式之調整對物流系統運作效率沒有太大影響，則暫不調整配送計畫，避免對人員與車輛調度造成影響。

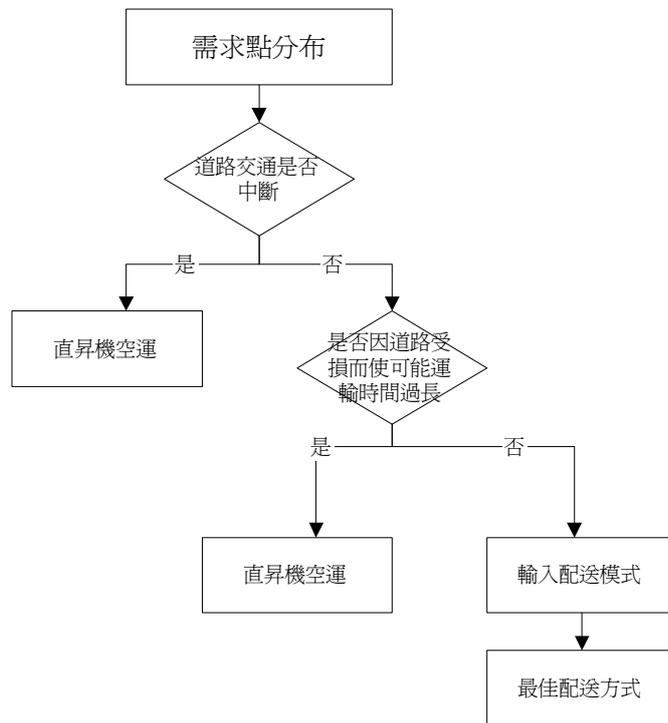


圖 8 各需求點運輸方式選擇示意圖

2.2.3 區位選擇模式構想

震災物流系統之決策模式第一部份為物流據點區位選擇決策，包括區域性大型轉運中心與地區性配送中心之區位選擇，並在模式中同時求解各據點間物資流量，根據國內目前區位選擇之決策機制與參考國外運作經驗，以下分別說明國內目前決策機制與未來理想的運作機制。

1. 目前決策機制

在區位選擇方面，地區性決策者是鄉鎮首長，而區域性決策則由縣市首長負責，因此應該是兩階段的規劃問題。這兩階段的規劃決策會互相影響，上階問題應是縣市政府對區域性大型物資集散中心區位之決策，下階問題應是鄉鎮公所對地區性物資配送中心區位之決策，上階問題對區域性大型物資集散中心區位選擇會影響下階問題的決策，而下階問題中對物資配送中心區位選擇也會影響上階問題的決策，如圖 9。在模式中當區位決定後，亦應一併算出各據點間之物資流量，且流量均衡後要滿足各需求點災民之需求。

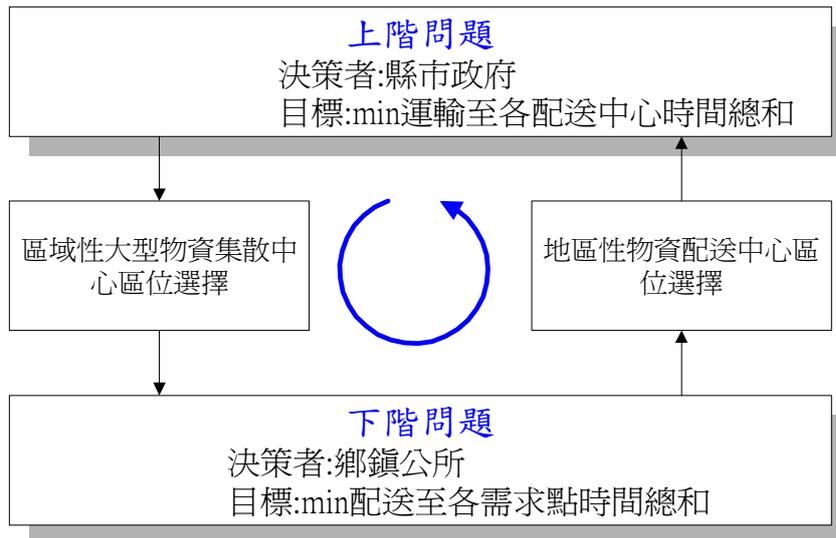


圖 9 二階規劃示意圖

因為救災首重時效性，規劃目標應是使總配送時間最小化，各路段災後交通狀況不同，旅行時間也不盡相同，若以旅行距離估算時間會有所誤差，為求結果正確且符合實際應以災後緊急調查所得之旅次需求配合交通管制進行交通量指派，預估可能旅行時間，作為模式在災後迅速反應所需時間參數。

上階問題之目標函數為物資由各供應點送出，經轉運中心轉運後，送往各配送中心之總運輸時間最小化，決策變數為區域性大型轉運中心之區位選擇；下階問題之目標函數為物資由各轉運中心送出，經過配送中心進行配送，送往各需求點之總運輸時間最小化，決策變數為地區性配送中心之區位選擇，如圖 10。

2.理想決策機制

在區位選擇之決策方面，理想的決策機制應設計為單一決策者之一階規劃，可以減少二階模式求解的困難，且結果也較目前運作方式之二階規劃為佳。這也反應未來台灣應效法歐美與日本，成立負責防救災工作之專責機構，直屬於中央，於重大災害發生時統籌規劃救災工作，統一指揮權限，各級地方政府則負責配合與管理。若震災物流系統之指揮權限統一，重大決策之決定可以統一，則模式將變為一階，是較目前更為理想的決策模式，如圖 11 所示。

一階規劃將所有區位選擇同時考量並進行決策，在於尋找全域最佳解，求解結果應為最佳之決策。而二階規劃因為決策者不同，不同決策者考量的條件亦不相同，所以為了雙方之妥協，求解結果可能是次佳解或更次之的解。本研究將在第五章之實例分析中比較兩種決策模式之結果，驗證一階規劃的結果是否較佳。

上階問題
決策變數

下階問題
決策變數

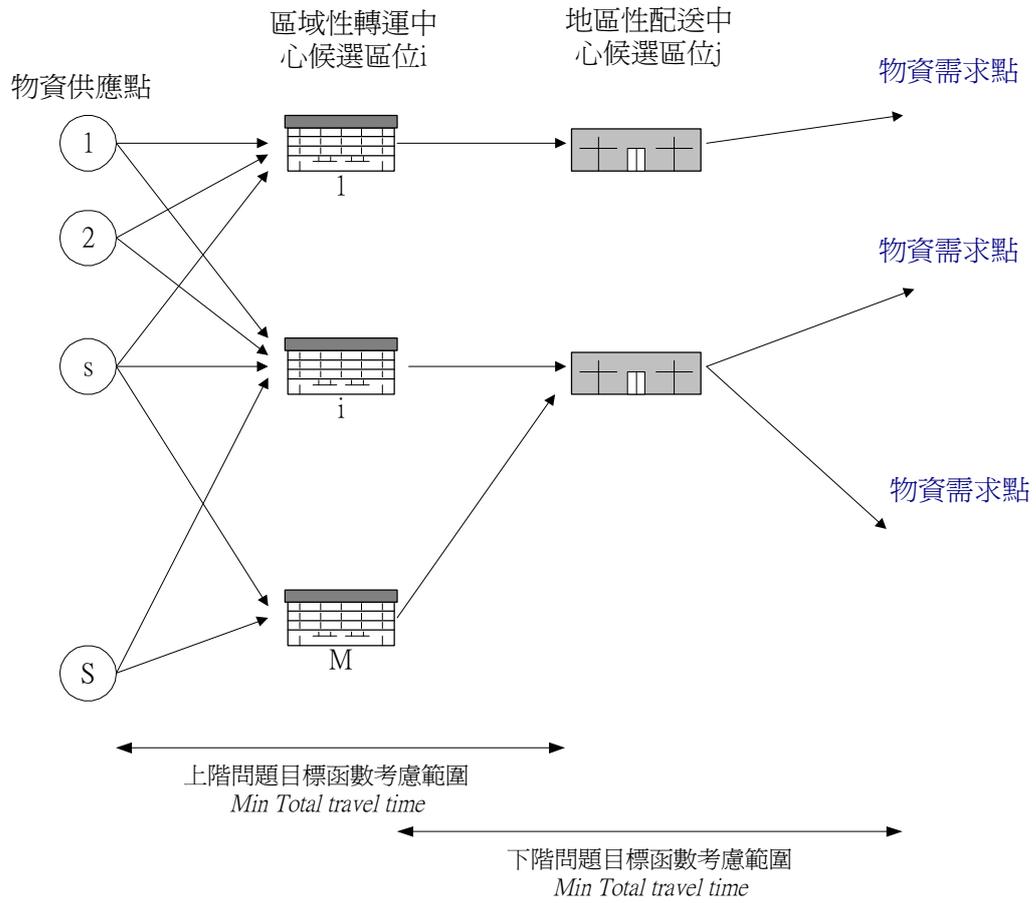


圖 10 二階規劃物流系統示意圖

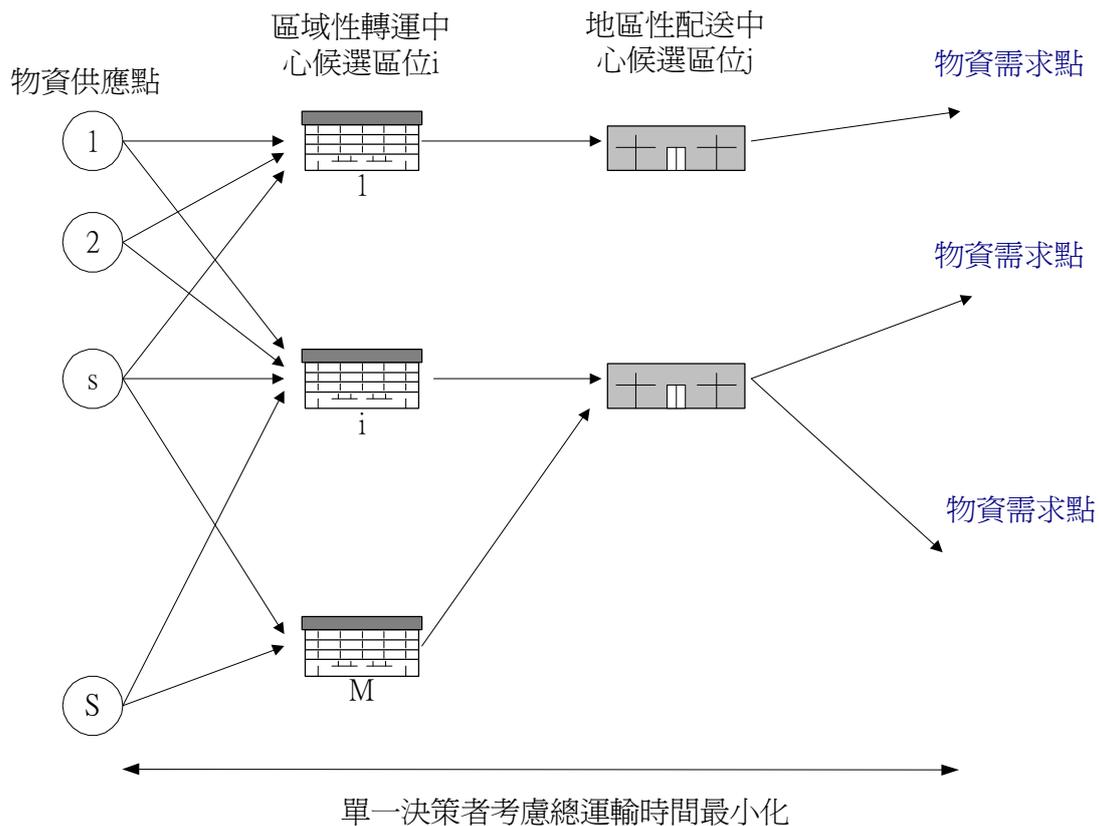


圖 11 一階規劃物流系統示意圖

2.2.4 配送路線選擇決策模式構想

在配送路線選擇之決策模式方面，因為各地區可能設置一個或多個配送中心，若不限制每一需求點僅能為一配送中心服務，則問題與決策模式可能為單一場站多車輛類型或多場站多車輛類型。但因物流據點區位與物資流量已於第一階段決策中決定，若有某一需求點同時為兩配送中心服務，進行不同物資之配送時，可以將該需求點視為不同之兩點，分別在兩配送中心之 VRP 模式中求解，如此一來模式仍維持為單一場站問題，求解效率可大為提高。

如圖 12-I 所示，若有一需求點 A，分別受兩配送中心服務，自配送中心 1 得到食物 100 單位之補給，並自配送中心 2 得到飲水之 50 單位之補給，可以將需求點 A 視為兩個不同節點 A'與 A"（如圖 12-II），分別輸入兩個配送中心之路線選擇模式，分別求解 A'在配送中心 1 之路線選擇結果與 A"在配送中心 2 之路線選擇結果，如圖 12-III 所示，但 A'與 A"所代表的仍是需求點 A，結果如圖 13 所示。這樣的操作方式可以將模式簡化為針對每一配送中心之單一場站多車輛 VRP 問題，求解過程較為簡單。

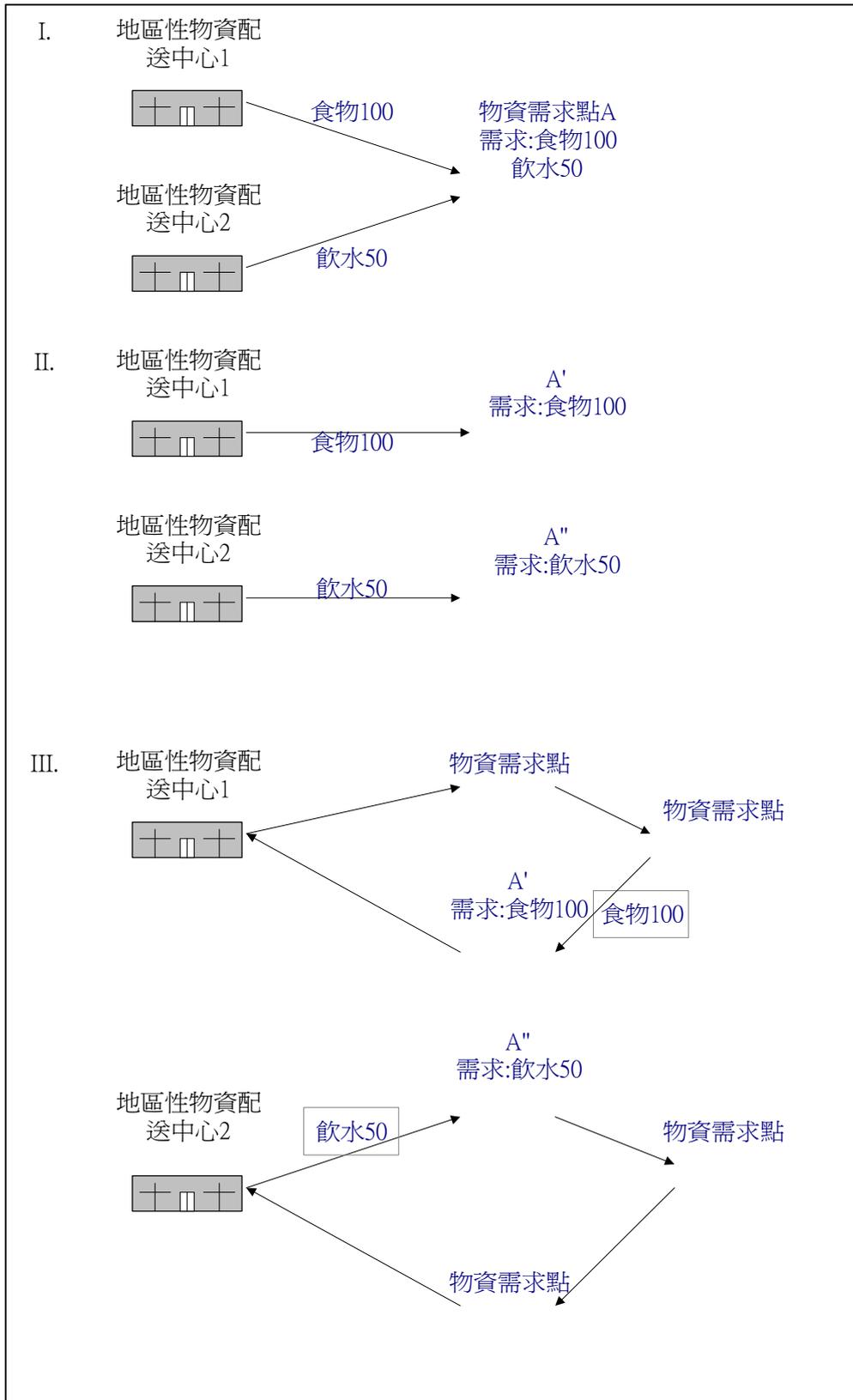


圖 12 單一場站問題示意圖

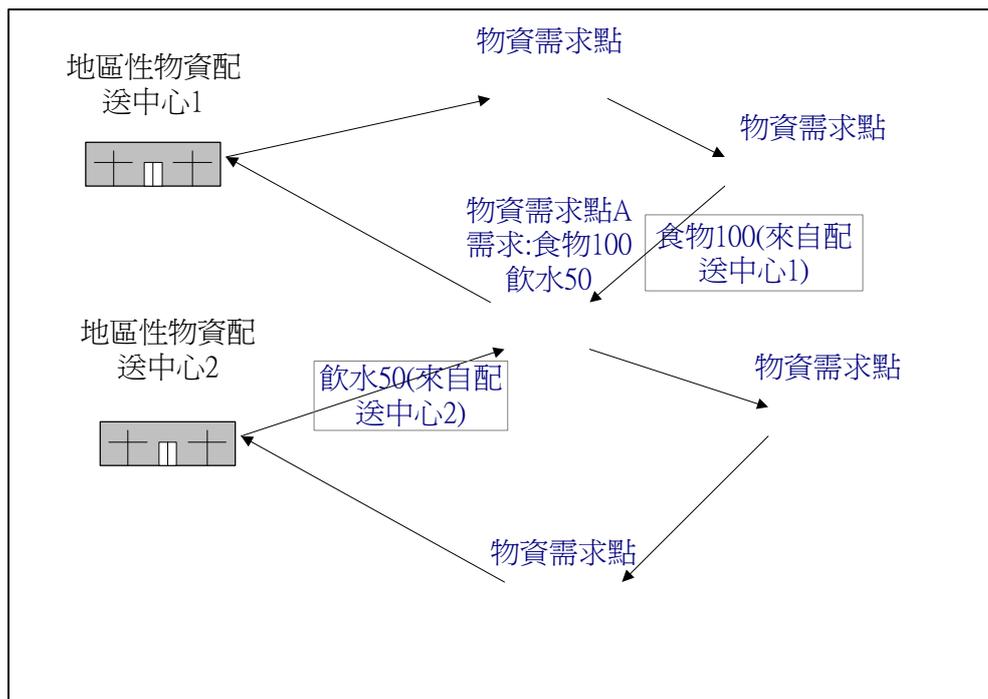


圖 13 單一場站問題求解結果示意圖

因為震災物資配送多為大量式運送，單一需求點所需要物資數量可能需要多部車輛之運輸才能滿足，或是車輛有限下需要往返數個車次才能運輸完畢，因此若將需求量直接帶入路線選擇模式中，可能出現包含單趟往返車次之結果。為節省運算時間應先將各需求點之需求量除以每部車輛之裝載容量，所得商數為需要單趟往返次數，運輸路線則為配送中心與該需求點間運輸時間最短之路徑；餘數則為修正後需求量，表示單一車輛裝載物資後仍有空間可供服務另一需求點，需考慮與其他需求點於同一車次中一起配送之情形。將修正後需求量代入第二階段決策模式進行各配送中心之路線選擇決策，如此可以避免浪費時間於運算單趟往返車次，且可降低模式之複雜度。

例如某一需求點需要某種物資 2000 單位，而車輛之裝載容量為 300 單位，則需至少 7 個車次 ($2000/300=6.66$) 才能服務完成，但第 7 個車次運送該需求點所需 200 單位物資時，有多餘空間 100 單位 ($300-200=100$) 可以服務其餘需求點，則應考慮同時服務多個需求點時之路線選擇，需將該需求點最後所餘之需求量 200 代入路線選擇模式，與其他需求點共同決策，尋找是否具有一車次同時服務多個需求點之機會，以節省往返於配送中心之運輸時間，進一步提昇運輸效率。

2.3 模式構建

2.3.1 區位分析模式

因為災後難以預估交通復建進度與各時期實際需求，若採用動態模式則需事先確定各時期各路段之旅行時間與各需求點需求量等參數，這些參數很難在災後第一時間蒐集完成，若事先預估亦難以確保正確性，甚至可能因參數預估錯誤而導致決策錯誤。

本研究擬採用靜態模式進行分期規劃，在規劃第一時期之運輸方式前，需蒐集交通阻斷狀況、災區旅運需求與交通管制狀況預估短時期內每一路段之可能旅行時間；並根據鄉鎮公所回報之各避難所收容人數預估緊急或民生物資需求，緊急進行物資之調度與運送；在醫療用品方面則根據各大醫療據點之回報，以直昇機緊急補給藥品等醫療物資。在第一時期規劃完成並進行運輸時，同時蒐集第二時期之相關資訊，例如更新各路段旅行時間、路段搶通資訊、各需求點之實際物資需求種類與數量或新增需求點等資訊，以更新的數據作為新一期決策模式之參數，進行第二時期之規劃。在每一時期物流系統運作同時，為下一期規劃所需參數，進行各項資料之調查與更新，可以使模式結果貼近實際狀況，也比較符合實務做法。

但是靜態模式難以處理物流據點之庫存問題，因為必須在動態環境下才能考慮庫存，因此本研究暫不考慮庫存問題與動態環境，假設物流據點不具備或可暫不考量庫存功能，期許於後續研究中逐步改進。

以下將介紹在某一特定時期物流據點區位選擇決策模式之構建，並於模式中同時求解各據點間物資流量。

1. 符號定義

在構建模式前先針對所使用符號做一說明，分別針對決策變數與所需參數進行符號之解釋，而決策變數正是決策模式所求解的結果，參數則是模式求解所需之已知資訊。

(1) 決策變數

模式決策變數定義如下：

RLC_i (regional logistics center 區域性轉運中心)：

$$RLC_i \begin{cases} =1, & \text{區域性轉運中心設立在位置 } i \text{ 上;} \\ =0, & \text{區域性轉運中心不設立在位置 } i \text{ 上;} \end{cases}$$

LLC_j (local logistics center 地區性配送中心)：

$$LLC_j \begin{cases} =1, & \text{配送中心設立在位置 } j \text{ 上;} \\ =0, & \text{配送中心不設立在位置 } j \text{ 上;} \end{cases}$$

IF_{sil} (inbound flow)：由外部物資供應點 s 送至轉運中心 i 之物資 l 流量；

OF_{ijl} (outbound flow)：由轉運中心 i 送至物資配送中心 j 之物資 l 流量；

DF_{jkl} (distributional flow)：由物資配送中心 j 送至需求點 k 之物資 l 流量。

以上決策變數間的關係示意如圖 14。

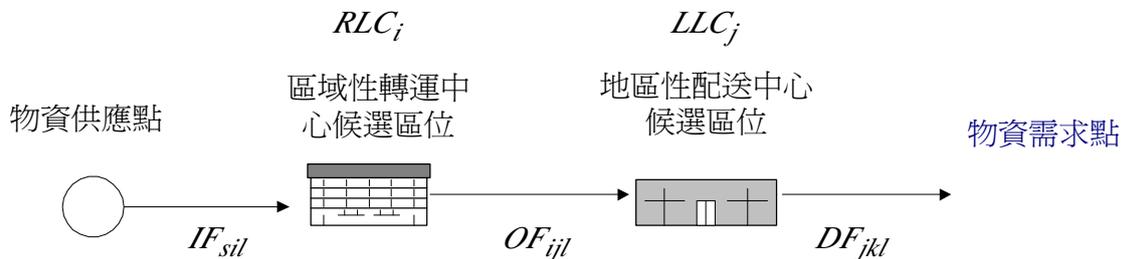


圖 14 變數說明示意圖

(2) 參數

應輸入模式之參數定義如下：

S_{sl} ：外部物資供應點 s 可提供物資 l 數量；

D_{kl} ：物資需求點 k 需要物資 l 數量；

ITT_{si} (inbound travel time)：由物資供應點 s 送至轉運中心 i 之旅行時間；

OTT_{ij} (outbound travel time)：由轉運中心 i 送至配送中心 j 之旅行時間；

DTT_{jk} (distribution travel time)：由配送中心 j 至需求點 k 之旅行時間。

上述參數之間的關係示意如圖 15。

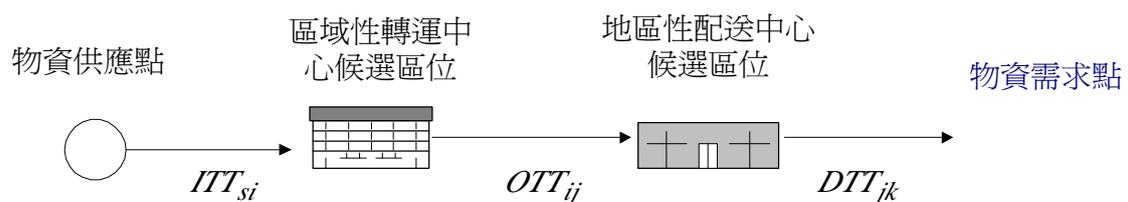


圖 15 參數說明示意圖

其它應輸入模式之參數定義如下：

- B_1 : 區域性轉運中心營運之人力限制；
- B_2 : 地區性配送中心營運之人力限制；
- RFC_i : 轉運中心 i 之設施營運所需人力；
- LFC_j : 配送中心 j 之設施營運所需人力；
- RUB_i : 轉運中心 i 運量規模之上限；
- RLB_i : 轉運中心 i 運量規模之下限；
- LUB_j : 配送中心 j 運量規模之上限；
- LLB_j : 配送中心 j 運量規模之下限；
- A_{jk} : 需求點 k 是否在配送中心可能設置位置 j 之服務範圍內；
- $A_{jk}=1$, j 可以服務到 k
 (需求點 k 在配送中心可能設置位置 j 之服務範圍內)；
- $A_{jk}=0$, j 不能服務到 k
 (需求點 k 不在配送中心可能設置位置 j 之服務範圍內)。

2. 一階規劃決策模式

當指揮體系統一時，轉運中心與配送中心區位之決策者相同，震災物流系統之模式為一階規劃。在做區位選擇的同時，各節點間物資流量需符合各需求點之需求，在決定最佳區位時會同步算出各據點間之最佳流量。

(1) 目標函數

震災發生後，各項救援物資之輸送具有急迫性，必須適時、適量、適當地點以滿足災民需求，運輸成本相對上較不重要，運送時間越縮短越能提昇震災物流系統之效率，故本模式設計為總運輸時間最小之單目標規劃，目標函數如下：

$$\text{Min } F = \sum_s \sum_i ITT_{si} \sum_l IF_{sil} + \sum_i \sum_j OTT_{ij} \sum_l OF_{ijl} + \sum_j \sum_k DTT_{jk} \sum_l DF_{jkl}$$

(2) 限制式

➤ 限制式 1

使轉運中心 i 物資 l 流入數量總和等於流出數量總和：

$$\sum_s IF_{sil} = \sum_j OF_{ijl}, \forall i, l$$

➤ 限制式 2

使配送中心 j 物資 l 流入數量總和等於流出數量總和：

$$\sum_i OF_{ijl} = \sum_k DF_{jkl}, \forall j, l$$

➤ 限制式 3

所有配送中心送至需求點 k 之物資 l 數量總和等於其總需求：

$$\sum_j DF_{jkl} = D_{kl}, \forall k, l$$

由限制式 1~3 可以使物資由供應點運輸至需求點間各段流量在每一據點流進與流出都達成均衡，且最後由配送中心送至各個需求點之流量恰好滿足需求。因為不限制單一需求點僅能受一個配送中心服務，在限制式 3 中可能發生單一需求點同時受一個以上的配送中心服務的情形，為顧及物資配送效率而暫不設相關限制，允許同一地區同時有一個以上配送中心可服務相同需求點。

➤ 限制式 4

物資供應點 s 所提供物資 l 總數必須小於 s 之最大供應量，以免產生某物資供給點之供給量超過實際物資擁有數量的偏誤：

$$\sum_i IF_{sil} \leq S_{sl}, \forall s, l$$

➤ 限制式 5

為避免設置過多轉運中心，造成人力不足而發生管理困難，限制每一轉運中心為維持設施運作有最小人力需求，使維持所有轉運中心運作所需人力總數不能超過縣市政府可用人力 B_1 ：

$$\sum_i RLC_i \times RFC_i \leq B_1$$

➤ 限制式 6

為避免同一地區設置過多配送中心，造成人力不足以維持運作，而造成管理困難，限制每一配送中心為維持設施運作有最小人力需求，使維持所有配送中心運作所需人力總數不能超過鄉鎮公所可用人力 B_2 ：

$$\sum_j LLC_j \times LFC_j \leq B_2$$

限制式 5 與限制式 6 避免物流據點之設施數目過多，因人手不足而造成管理與運作之困難，避免模式為運輸效率而廣設物流據點，且使設施數目之限制符合各級單位可用人力。一般物流系統以設施成本與預算限制做為考量設施設置數目之主要因素，或以直接限制設施數目方式處理，都不符合震災救災工作效率第一而成本為次要考量之特性，故本研究修改為以可用人力作為考量因素，後續更可以通過每一物流據點之物資流量衡量所需人力，使人力需求之預估更切合實際。

➤ 限制式 7

因為各轉運中心之設施面積有限，無法容納過多物資與車輛，為避免過多流量集中於某一轉運中心，根據每個可能區位之設施面積衡量最大負荷

量，限制各轉運中心流量必須在最大負荷量 RUB_i 以下，若 RLC_i 等於 1 代表轉運中心設置於位置 i ，則表示流量必須在 RUB_i 以下，若 RLC_i 等於 0 代表轉運中心不設置於位置 i ，則表示流量為 0：

$$\sum_s \sum_l IF_{sil} \leq RLC_i \times RUB_i, \forall i$$

➤ 限制式 8

因為各配送中心之設施面積有限，無法容納過多物資與車輛，為避免過多流量集中於某一配送中心，根據每個可能區位之設施面積衡量最大負荷量，限制各轉運中心流量必須在最大負荷量 LUB_j 以下，若 LLC_j 等於 1 代表配送中心設置於位置 j ，則表示流量必須在 LUB_j 以下，若 LLC_j 等於 0 代表配送中心不設置於位置 j ，則表示流量為 0：

$$\sum_k \sum_l DF_{jkl} \leq LLC_j \times LUB_j, \forall j$$

➤ 限制式 9

為避免人力資源之浪費，限制各轉運中心流量在最小規模 RLB_i 以上才可以設置，若 RLC_i 等於 1，則表示流量必須在 RLB_i 以上，若 RLC_i 等於 0，則表示流量為 0：

$$\sum_s \sum_l IF_{sil} \geq RLC_i \times RLB_i, \forall i$$

➤ 限制式 10

限制各配送中心流量在最小規模 LLB_j 以上才可以設置，若 LLC_j 等於 1，則表示流量必須在 LLB_j 以上，若 LLC_j 等於 0，則表示流量為 0：

$$\sum_k \sum_l DF_{jkl} \geq LLC_j \times LLB_j, \forall j$$

限制式 7~10 使經過每一物流據點之流量具有上下限，因為每處設施所能容納物資容量都因設施規模而存在上限，為避免人力浪費也給予最小規模，物資流量在最小規模下則不在該處設置物流據點。

➤ 限制式 11

為避免在沒有流量的地點設置轉運中心，設計限制式如下：其中 M 表示任意之極大實數，如： 10^{10} 。當 RLC_i 為 0 時，則流量必為 0，若 RLC_i 為 1，流量需小於 M ，等於無流量限制。

$$\left(\sum_s \sum_l IF_{sil} \right) - RLC_i \times M \leq 0, \forall i$$

➤ 限制式 12

為避免設置轉運中心的地點沒有流量，設計限制式如下，其中 m 為任意之極小實數，如： 10^{-10} 。當 RLC_i 為 0 時，對流量並無限制，若 RLC_i 為 1，流量需大於 m ，相當於流量需大於 0，也就是必有流量存在。

$$\left(\sum_s \sum_l IF_{sil} \right) - RLC_i \times m \geq 0, \forall i$$

限制式 11 與限制式 12 之組合限制轉運中心之設置必伴隨物資流量經過該地點，若該地點物資流量為 0 則不能設置轉運中心。

➤ 限制式 13

為避免在沒有流量的地點設置配送中心，設計限制式如下：其中 M 表示任意之大實數，如： 10^{10} 。當 LLC_j 為 0 時，則流量必為 0，若 LLC_j 為 1，流量需小於 M ，等於無流量限制。

$$\left(\sum_k \sum_l DF_{jkl} \right) - LLC_j \times M \leq 0, \forall j$$

➤ 限制式 14

為避免設置配送中心的地點沒有流量，設計限制式如下，其中 m 為任意之小實數，如： 10^{-10} 。當 LLC_j 為 0 時，對流量並無限制，若 LLC_j 為 1，流量需大於 m ，相當於流量需大於 0，也就是必有流量存在。

$$\left(\sum_k \sum_l DF_{jkl} \right) - LLC_j \times m \geq 0, \forall j$$

限制式 13 與限制式 14 之組合限制配送中心之設置必伴隨物資流量經過該地點，若該地點物資流量為 0 則不能設置配送中心。

➤ 限制式 15

為避免較偏遠需求點附近沒有配送中心，或配送中心集中在需求量高的地區而忽略需求量小的區域，以參數 A_{jk} 限制配送中心之服務範圍，當需求點 k 在配送中心 j 之行政區域或最大服務距離內，設 A_{jk} 為 1，當需求點 k 在配送中心 j 之行政區域或最大服務距離外，設 A_{jk} 為 0。限制式之意義為限制配送中心 j 可以服務需求點 k 時， j 至 k 間才能有流量 DF_{jkl} ：

$$\left(\sum_l DF_{jkl} \right) - A_{jk} \times M \leq 0, \forall j, k$$

(3) 模式

配合以上變數與參數符號說明、模式目標函數與限制式之設定，完整模式如下：

$$\text{Min } F = \sum_s \sum_i \text{ITT}_{si} \sum_l \text{IF}_{sil} + \sum_i \sum_j \text{OTT}_{ij} \sum_l \text{OF}_{ijl} + \sum_j \sum_k \text{DTT}_{jk} \sum_l \text{DF}_{jkl}$$

s.t.

$$(1) \sum_s \text{IF}_{sil} = \sum_j \text{OF}_{ijl}, \forall i, l$$

$$(2) \sum_i \text{OF}_{ijl} = \sum_k \text{DF}_{jkl}, \forall j, l$$

$$(3) \sum_j \text{DF}_{jkl} = D_{kl}, \forall k, l$$

$$(4) \sum_i \text{IF}_{sil} \leq S_{sl}, \forall s, l$$

$$(5) \sum_i \text{RLC}_i \times \text{RFC}_i \leq B_1$$

$$(6) \sum_j \text{LLC}_j \times \text{LFC}_j \leq B_2$$

$$(7) \sum_s \sum_l \text{IF}_{sil} \geq \text{RLC}_i \times \text{RLB}_i, \forall i$$

$$(8) \sum_k \sum_l \text{DF}_{jkl} \geq \text{LLC}_j \times \text{LLB}_j, \forall j$$

$$(9) \sum_s \sum_l \text{IF}_{sil} \leq \text{RLC}_i \times \text{RUB}_i, \forall i$$

$$(10) \sum_k \sum_l \text{DF}_{jkl} \leq \text{LLC}_j \times \text{LUB}_j, \forall j$$

$$(11) \left(\sum_s \sum_l \text{IF}_{sil} \right) - \text{RLC}_i \times M \leq 0, \forall i$$

$$(12) \left(\sum_s \sum_l \text{IF}_{sil} \right) - \text{RLC}_i \times m \geq 0, \forall i$$

$$(13) \left(\sum_k \sum_l \text{DF}_{jkl} \right) - \text{LLC}_j \times M \leq 0, \forall j$$

$$(14) \left(\sum_k \sum_l \text{DF}_{jkl} \right) - \text{LLC}_j \times m \geq 0, \forall j$$

$$(15) \left(\sum_l \text{DF}_{jkl} \right) - A_{jk} \times M \leq 0, \forall j, k$$

$$\text{IF}_{sil} \geq 0, \text{OF}_{ijl} \geq 0, \text{DF}_{jkl} \geq 0, \text{RLC}_i \in \{0,1\}, \text{LLC}_j \in \{0,1\}, \forall s, i, j, k, l$$

3. 二階規劃決策模式

依照目前台灣震災物流系統之運作現況，轉運中心與配送中心之區位選擇決策者不同，各區位分別由縣市政府與鄉鎮公所決定，此時模式成為二階規劃問題。上階問題之決策者為縣市首長，負責決定轉運中心之區位選擇；下階問題之

決策者為鄉鎮首長，負責決定各地區配送中心之區位選擇。各自之目標函數也分別不同。上階問題之目標函數為物資由各供應點送出，經轉運中心轉運後，送往各配送中心之總運輸時間最小化；下階問題之目標函數為物資由各轉運中心送出，經過配送中心進行配送，送往各需求點之總運輸時間最小化。

上階問題與下階問題之關係如圖 16，上階問題之轉運中心區位選擇結果會輸入下階問題作為已知參數，下階問題之配送中心區位選擇結果會輸入上階問題作為已知參數，在雙方對區位選擇收斂至一致解時，流量也會趨近一致，即為二階規劃之結果。

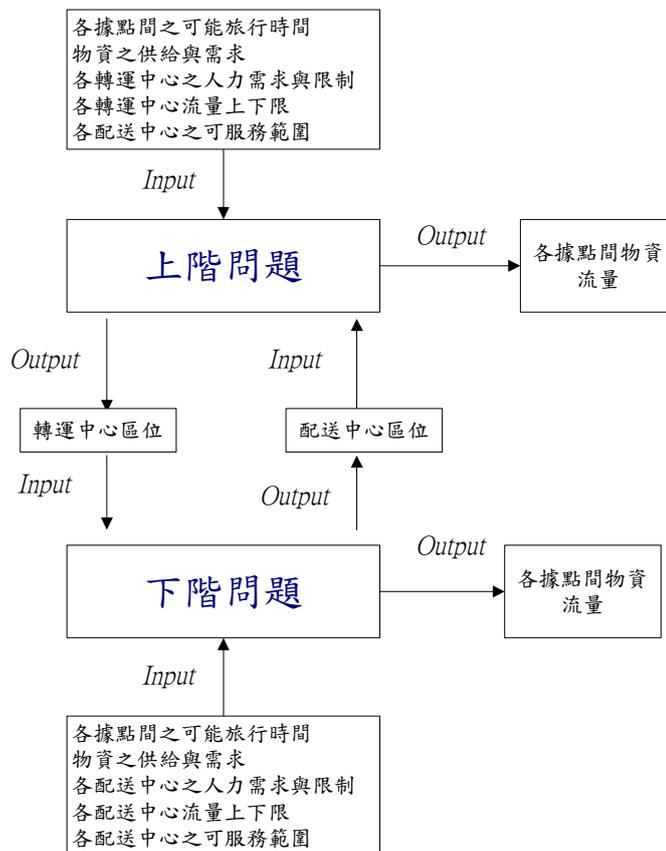


圖 16 二階規劃關係圖

(1) 上階問題：

為兼顧流量均衡，流量之限制式仍是限制由物資供應點經過轉運中心，再經過配送中心配送至需求點，各據點間之流量均衡後要滿足各需求點之需要。決策變數為轉運中心區位選擇。目標函數為物資由各供應點送出，經轉運中心轉運後，送往各配送中心之總運輸時間最小化。但模式中 LLC_j 為下階問題之結果，為已知參數，故取消對配送中心人力需求之限制式與配送中心流量上下限之限制式。上階問題之決策模式構建如下：

$$\text{Min } F_1 = \sum_s \sum_i ITT_{si} \sum_l IF_{sil} + \sum_i \sum_j OTT_{ij} \sum_l OF_{ijl}$$

s.t.

$$(1) \sum_s IF_{sil} = \sum_j OF_{ijl}, \forall i, l$$

$$(2) \sum_i OF_{ijl} = \sum_k DF_{jkl}, \forall j, l$$

$$(3) \sum_j DF_{jkl} = D_{kl}, \forall k, l$$

$$(4) \sum_i IF_{sil} \leq S_{sl}, \forall s, l$$

$$(5) \sum_i RLC_i RFC_i \leq B_1$$

$$(6) \sum_s \sum_l IF_{sil} \geq RLC_i \times RLB_i, \forall i$$

$$(7) \sum_s \sum_l IF_{sil} \leq RLC_i \times RUB_i, \forall i$$

$$(8) \left(\sum_s \sum_l IF_{sil} \right) - RLC_i \times M \leq 0, \forall i$$

$$(9) \left(\sum_s \sum_l IF_{sil} \right) - RLC_i \times m \geq 0, \forall i$$

$$(10) \left(\sum_k \sum_l DF_{jkl} \right) - LLC_j \times M \leq 0, \forall j$$

$$(11) \left(\sum_k \sum_l DF_{jkl} \right) - LLC_j \times m \geq 0, \forall j$$

$$(12) \left(\sum_l DF_{jkl} \right) - A_{jk} \times M \leq 0, \forall j, k$$

$$IF_{sil} \geq 0, OF_{ijl} \geq 0, DF_{jkl} \geq 0, RLC_i \in \{0,1\}, \forall s, i, j, k, l$$

(2) 下階問題：

為兼顧流量均衡，流量之限制式仍是限制由物資供應點經過轉運中心，再經過配送中心配送至需求點，各據點間之流量均衡後要滿足各需求點之需要。決策變數為轉運中心區位選擇。目標函數為物資由各轉運中心送出，經配送中心配送後，送往各需求點之總運輸時間最小化。但模式中 RLC_j 為上階問題之結果，為已知參數，故取消對轉運中心人力需求之限制式與轉運中心流量上下限之限制式。下階問題之決策模式構建如下：

$$\text{Min } F_2 = \sum_i \sum_j OTT_{ij} \sum_l OF_{ijl} + \sum_j \sum_k DTT_{jk} \sum_l DF_{jkl}$$

s.t.

$$(1) \sum_s IF_{sil} = \sum_j OF_{ijl}, \forall i, l$$

$$(2) \sum_i OF_{ijl} = \sum_k DF_{jkl}, \forall j, l$$

$$(3) \sum_j DF_{jkl} = D_{kl}, \forall k, l$$

$$(4) \sum_i IF_{sil} \leq S_{sl}, \forall s, l$$

$$(5) \sum_j LLC_j LFC_j \leq B_2$$

$$(6) \sum_k \sum_l DF_{jkl} \geq LLC_j \times LLB_j, \forall j$$

$$(7) \sum_k \sum_l DF_{jkl} \leq LLC_j \times LUB_j, \forall j$$

$$(8) \left(\sum_s \sum_l IF_{sil} \right) - RLC_i \times M \leq 0, \forall i$$

$$(9) \left(\sum_s \sum_l IF_{sil} \right) - RLC_i \times m \geq 0, \forall i$$

$$(10) \left(\sum_k \sum_l DF_{jkl} \right) - LLC_j \times M \leq 0, \forall j$$

$$(11) \left(\sum_k \sum_l DF_{jkl} \right) - LLC_j \times m \geq 0, \forall j$$

$$(12) \left(\sum_l DF_{jkl} \right) - A_{jk} \times M \leq 0, \forall j, k$$

$$IF_{sil} \geq 0, OF_{ijl} \geq 0, DF_{jkl} \geq 0, LLC_j \in \{0,1\}, \forall s, i, j, k, l$$

經過以上模式之設定，上階問題與下階問題之關係如圖 17，可以由圖中看出上下階問題中各變數、參數輸入與輸出之關係。上階問題所需參數為各節點間運輸時間 (ITT, OTT)、物資供給與需求 (D, S)、設置各轉運中心所需考慮之人力限制 (RFC)、可運用人力總數 (B_j)、流量之上下限 (RUB, RLB)、各配送中心之服務範圍限制 (A)，另外需輸入下階問題所求得之配送中心區位，將所有數據輸入上階模式後所得結果為轉運中心區位選擇 (RLC) 與各節點間物資流量 (IF, OF, DF)。

下階問題所需參數為各節點間運輸時間 (OTT, DTT)、物資供給與需求 (D, S)、設置各配送中心所需考慮之人力限制 (LFC)、可運用人力總數 (B_2)、

流量之上下限 (LUB, LLB)、各配送中心之服務範圍限制 (A)，另外需輸入上階問題所求得之轉運中心區位，將所有數據輸入下階模式後所得結果為配送中心區位選擇 (LLC) 與各節點間物資流量 (IF, OF, DF)。

上下階問題間之反覆運算後，當轉運中心區位選擇 (RLC) 與配送中心區位選擇 (LLC) 在上下階都得相同結果時收斂至一致解，並求出各節點間之流量 (IF, OF, DF)。決定後之區位即為震災物流系統之決策結果，模式中也是一併算出各節點間之最佳流量，作為決策者調度物資之參考。

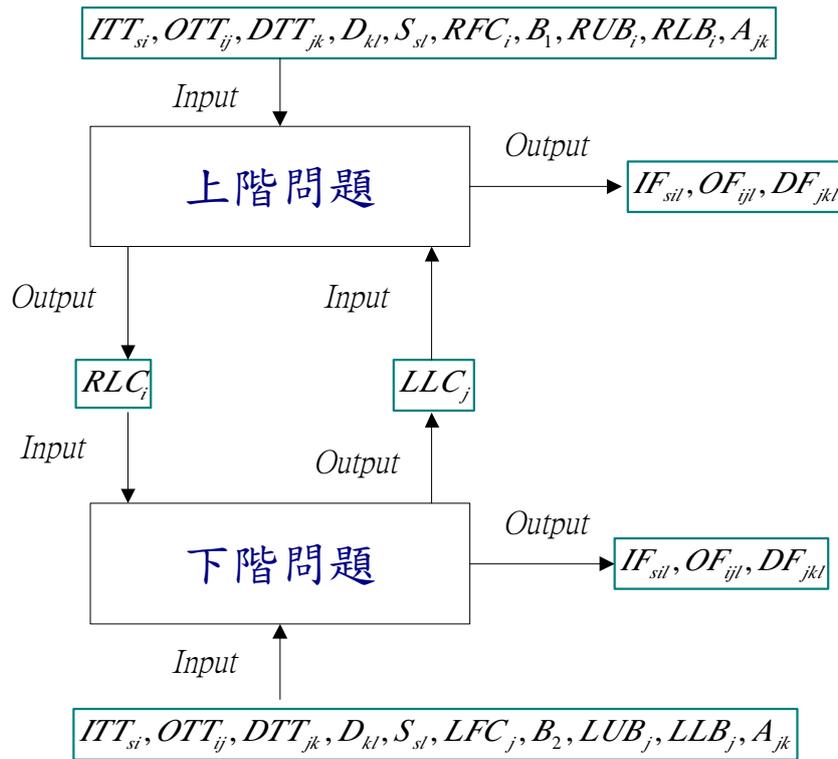


圖 17 二階規劃變數關係圖

2.3.2 配送路線決策模式

在各配送中心路線選擇方面，採用一般單一場站多車輛之 VRP 模式，並針對震災物流系統之特性進行修正，使模式符合震災物流系統之需求。先前曾提到將每需求點之需求量除以車輛裝載量，計算每需求點至少需多少車次服務，並計算單趟往返之車次，再將餘數做為修正後需求量，代入路線選擇決策模式，一方面簡化模式之設計，另一方面也減少演算時間之無謂浪費。因此以下模式所需需求量參數皆為修正後需求量，亦即扣除單點往返車次之運輸量後之餘數，將剩餘

需求量大於零且不超過一部車輛裝載容量的需求點代入路線選擇模式。

1. 符號說明

在構建模式前先針對所使用符號做一說明，分別針對決策變數與所需參數進行符號之解釋，而決策變數正是決策模式所要求解的結果，亦即運輸路線之選擇，參數則是模式求解所需之已知資訊。

(1) 決策變數

模式之決策變數說明如下：

x_{ij}^{ν} 表示路線選擇與否，將包括配送中心與需求點之所有據點一併編號，作為網路節點之編號，配送中心為 1 號，需求點分別為 2 至 N 號，以 i 與 j 表示，車輛則以 ν 表示第 ν 部車輛，該配送中心共有 V 部車可供調度， x_{ij}^{ν} 為二元變數，其數值代表意義如下：

$$x_{ij}^{\nu} \begin{cases} =1, & \text{車輛 } \nu \text{ 將服務節點 } i,j \text{ 間路段} \\ =0, & \text{車輛 } \nu \text{ 不服務節點 } i,j \text{ 間路段} \end{cases}$$

(2) 參數

T_{ij}^{ν} 為第 ν 部車行駛於節點 i 至 j 間路段所需旅行時間；

d_i 為修正過後之需求點 i 所需物資數量（即扣除單點往返車次運送量後之餘數）；

K_{ν} 為第 ν 部車之裝載容量；

t_i^{ν} 為第 ν 部車在節點 i 所需之裝卸時間；

WT_{ν} 為第 ν 部車之單一車次工作時間上限。

2. 決策模式

根據震災物流系統之單一配送中心運輸路線選擇特性，將模式設計如下：

(1) 目標函數

為符合救災工作之時效性，如同區位選擇模式之目標函數，路線選擇模式之目標函數亦是使總配送時間最小化，因此所有路段之 x_{ij}^{ν} 值與該路段車輛 ν 所需旅行時間 T_{ij}^{ν} 乘積之加總即為總配送時間，若 x_{ij}^{ν} 為 0 則不會計算在內，若 x_{ij}^{ν} 為 1 則需計算在總配送時間中，故目標函數如下：

$$\text{Min } F = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{v=1}^V T_{ij}^v x_{ij}^v$$

(2) 限制式

➤ 限制式 1

為使每一需求點恰有一部車進入服務，當 $j=2$ 至 N 時， x_{ij}^v 對 i 與 v 之加總應為 1，使每一需求點都有被服務到：

$$\sum_i \sum_v x_{ij}^v = 1 \quad (j = 2, \dots, N)$$

➤ 限制式 2

為使每一需求點恰有一部車服務完畢準備離開，當 $i=2$ 至 N 時， x_{ij}^v 對 j 與 v 之加總應為 1，使每一需求點恰有一部車服務完畢由此節點離開：

$$\sum_j \sum_v x_{ij}^v = 1 \quad (i = 2, \dots, N)$$

➤ 限制式 3

為使每一節點有車輛進入必伴隨該車輛之離開，且次數應一致，限制車輛進入次數等於車輛離開次數，避免有進無出或無進有出之情形：

$$\sum_{i=1}^N x_{ip}^v - \sum_{j=1}^N x_{pj}^v = 0, \forall v \quad (p = 1, \dots, N)$$

限制式 1~3 組合之用意在於使每一需求點必有一部車服務，亦即每一需求點必有一進一出之情形。包括配送中心與需求點之所有節點車輛進入次數必等於離開次數，亦即需求點若有車輛進入必伴隨車輛之離開，而有幾部車自配送中心出發必有相同數量之車輛回到配送中心。

➤ 限制式 4

為使第 v 部車輛所服務需求點之需求量總和不超過該車輛裝載容量 K_v ，必須限制每一車次之最大服務量，若超過服務上限則表示至少另需一部以上車輛服務其餘需求點：

$$\sum_i d_i \left(\sum_j x_{ij}^v \right) \leq K_v, \forall v$$

➤ 限制式 5

為避免單一車次之工作時間過長，應限制每一車次之工作時間上限，避免有某一車次繞行過多需求點而超過工作時間之上限，也可避免有總距離過長的車次產生。加總每一服務需求點所需裝卸時間與總旅行時間，必須小於每一車次之工作時間上限：

$$\sum_i t_i^\nu \sum_j x_{ij}^\nu + \sum_i \sum_j T_{ij}^\nu x_{ij}^\nu \leq WT_\nu, \forall \nu$$

➤ 限制式 6

為避免決策結果產生同一車輛自配送中心離開後同時服務多個需求點，需限制第 ν 部車輛由配送中心（節點編號為 1）出發後之首次路段選擇僅能擇一使用，亦即僅能服務一處需求點，再由該需求點離開轉往其他需求點服務，不能同時服務兩處需求點。或是該部車輛可以選擇不出動，則該值總和為 0，故限制式如下：

$$\sum_{j=2}^n x_{1j}^\nu \leq 1, \forall \nu$$

➤ 限制式 7

限制第 ν 部車輛服務完畢後回到配送中心（節點編號為 1）時之路段選擇僅能擇一使用，亦即僅能由單一階段回到配送中心。若是該部車輛選擇不出動，則該值總和為 0，故限制式如下：

$$\sum_{i=2}^n x_{i1}^\nu \leq 1, \forall \nu$$

限制式 1、2、3、6 與 7 之組合用意在於使各車輛之路段選擇能形成一封閉迴圈，自配送中心離開，服務所有分配之需求點後再回到配送中心，使選擇使用的路線成為一個封閉的迴圈，以符合車輛配送路線之特性。

➤ 限制式 8

為避免車輛運輸路線之迴圈產生內圍路線（subtour），需增加避免內圍路線產生之限制式，故限制車輛 ν 由節點 i 至 j 與 j 至 i 之次數總和小於 1，就不會產生車輛 ν 由節點 i 至節點 j 後，又由 j 至 i 之情形：

$$\sum_\nu (x_{ij}^\nu + x_{ji}^\nu) \leq 1, \forall \nu$$

(3) 模式

配合以上決策變數與參數符號說明、模式目標函數與限制式之設定後，完整的路線選擇模式如下：

$$\text{Min } F = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{v=1}^V T_{ij}^v x_{ij}^v$$

s.t.

$$(1) \sum_i \sum_v x_{ij}^v = 1, \quad j = 2, \dots, I$$

$$(2) \sum_j \sum_v x_{ij}^v = 1, \quad i = 2, \dots, N$$

$$(3) \sum_{i=1} x_{ip}^v - \sum_{j=1} x_{pj}^v = 0, \quad \forall v, p = 1, \dots, N$$

$$(4) \sum_i d_i \left(\sum_j x_{ij}^v \right) \leq K_v, \quad \forall v$$

$$(5) \sum_i t_i^v \sum_j x_{ij}^v + \sum_i \sum_j T_{ij}^v x_{ij}^v \leq WT_v, \quad \forall v$$

$$(6) \sum_{j=2}^n x_{1j}^v \leq 1, \quad \forall v$$

$$(7) \sum_{i=2}^n x_{i1}^v \leq 1, \quad \forall v$$

$$(8) \sum_v (x_{ij}^v + x_{ji}^v) \leq 1, \quad \forall v$$

$$x_{ij}^v \in \{0,1\}, \quad \forall i, j, v$$

模式求解結果為 x_{ij}^v 值，將 v 值相同的部分組合後會形成一單獨迴圈，如圖 18 所示，代表第 v 部車之路線選擇，第 1 部至第 v 部車輛皆有個別之服務路線，若某部車輛選擇不需出動，則該部車之 x_{ij}^v 值皆為零。模式中共有 V 部車，求解結果為需要動用那些車輛進行配送，也可視為該配送中心單一時期共可提供 V 個車次之配送服務，求解結果則為需要動用幾個車次才能完成所有需求點之服務，再加上原先計算出每需求點需要單趟往返配送次數後，則為滿足所有需求點實際需求下所需要總配送車次數。

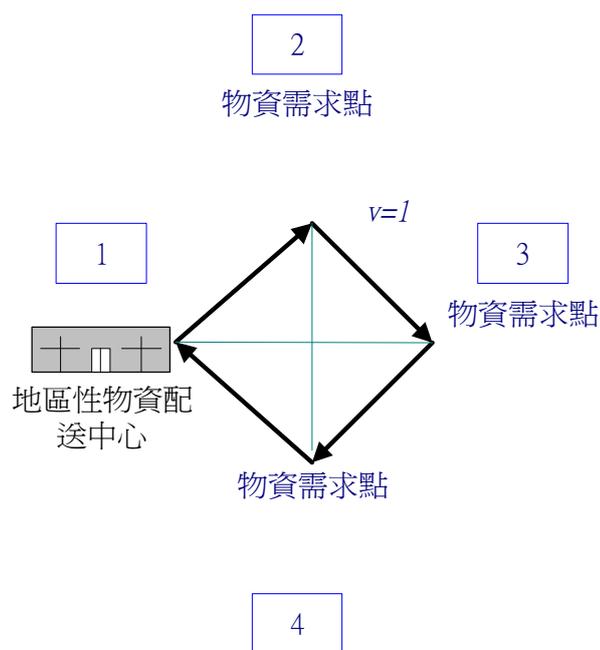


圖 18 運輸路線選擇示意圖

2.4 實例研究

2.4.1 研究範圍與資料分析

實例研究以 921 震災之主要災區為研究範圍，分別挑選台中縣與南投縣傷亡較嚴重的鄉鎮作為本研究之實例分析研究範圍，如圖 19 所示。根據模式之設定，分別蒐集相關資訊，以進行分析。實例分析採用 921 震災時期主要避難所作為物資需求點，而假設物資供應點分別為台北、新竹、台中、台南、高雄，物流據點可行區位則以 921 震災時所採用區位與其他重要設施位置作為參考，進行災後民生物資配送之實例分析。

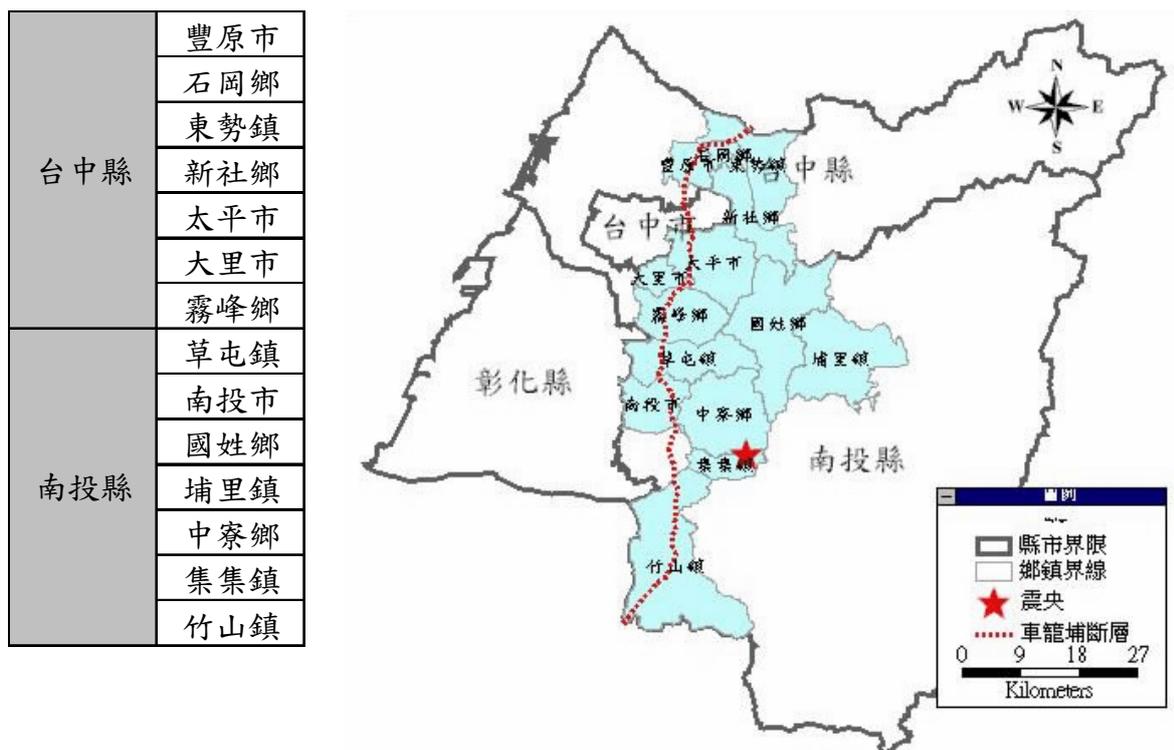


圖 19 實例分析研究範圍示意圖

物資據點與避難所之相關資訊根據內政部建築研究所於 921 震災時所進行之都市防災調查研究報告（內政部建築研究所，1999）為主，避難所分布與收容人數統計結果如表 2。交通設施之損壞狀況與搶修時程則根據交通部與公路局當時所公告之資訊為主，並將各項資訊輸入 GIS 系統，建立詳細之資料庫供實例資料查詢與模式分析用。在模式之演算上則採用數學規劃軟體 Lingo 6.0 作為運算工具，配合 GIS 軟體 TransCAD 建立相關資料與數據之資料庫，兩者相結合可以發揮數學運算、資料修改與查詢，圖形化輸出等綜效，節省許多資料整理與求解的時間。未來繼續發展震災相關之決策支援系統也可用此方法，結合 GIS 資料庫與數學運算功能，並配合相關通訊設備，以提昇救災之效率。

表 2 台中縣與南投縣避難據點與避難收容人數統計

災區	據點類型 (面積百分比)	避難據點 總數/總面積	避難人數	避難密度 m ² /人
台中	豐原市	學校(58%)、公園綠地(25%)、軍事用地(10.8%)、里活動中心(3.7%)、其他寺廟(0.7%)	14 個	3015 人
		100,039 m ²		33.18

	大里市	學校(37.3%)、公園綠地(31.7%)、機關(13.4%)、運動場(10%)、市場(4.5%)、活動中心(2.6%)、寺廟(0.5%)	20 個 96,176 m ²	18435 人	5.22
	東勢鎮	學校(49.1%)、公園綠地(29.9%)、機關(9.6%)、車站(9%)、停車場(1.7%)、市場(0.7%)	17 個 70,216 m ²	23305 人	3.16
	霧峰鄉	機關(76.95%) 市場(11.86%) 學校(11.19%)	9 個 29,500 m ²	9040 人	3.26
	合計	----	60 個 295,931 m ²	53795 人	--
災區		據點類型 (面積百分比)	避難據點 總數/總面積	避難人數 (人)	避難密度 m ² /人
南 投	南投市	學校(55.1%)、公園綠地(22.2%)、其他(17.2%)、停車場(2.7%)、活動中心(1.3%)、廣場(1%)、道路(0.5%)	101 個 645,261 m ²	23991 人	26.9
	中寮鄉	學校(37.3%)、加油站(8.1%)、寺廟(0.5%)	3 個 3,400 m ²	590 人	12.54
	埔里鎮	學校(54.8%)、機關(22.2%)、道路(13.1%)、其他(7.6%)、公園(1.2%)、活動中心(1.1%)、	26 個 34,270 m ²	12950 人	7.91
	集集	學校(68%)、車站(19.6%)、寺廟(12.4%)	5 個 11,080 m ²	480 人	23.08
	竹山鎮	學校(63.9%)、市場(21.52%)、廣場(10.2%)、停車場(2.3%)、其他(2.1%)	20 個 100,360 m ²	5820 人	25.73
	草屯鎮	學校(79.5%)、其他(7%)、停車場(6.3%)、公園綠地(4.7%)、市場(1.9%)、廣場(0.5%)	22 個 316,200 m ²	9365 人	--
	合計	--	177 個 1,110,571 m ²	53196 人	--
	總計		237 個 1,406,502 m ²	106991 人	--

資料來源：整理自內政部建築研究所(1999)。

因為 921 震災期間所設立之避難所數量很多，且多為民眾在自宅附近空地臨時搭建之小型避難所，詳細收容人數難以估計，故本研究自各鄉鎮公所公佈避難所資料與內政部建築研究所（1999）調查報告中，整理出規模較大的主要避難所與其最大尖峰收容人數，共約三百處，分布如圖 20 所示。由圖中可以發現主要避難所多數分布在災情較嚴重之地區，與斷層位置有明顯關係，且避難所主要分布在人口集中之位置。921 震災期間主要物資之集散與儲存地點分布如圖 21 所示，大多數的救援物資都儲存於這些據點再轉送至災民聚集之避難所，本研究以這些區位作為實例分析中轉運中心與配送中心的可行區位，由其中挑出較重要且規模較大的區位進行分析。

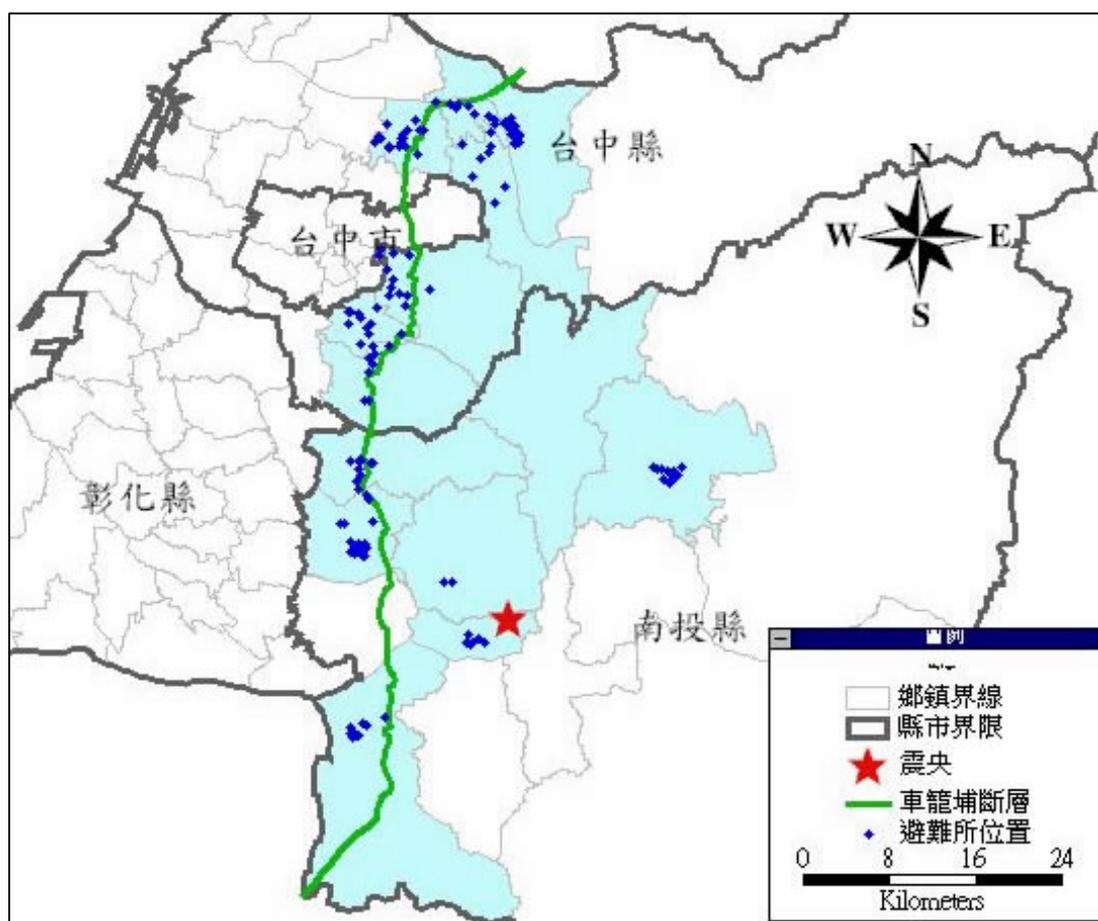


圖 20 主要避難所分布示意圖

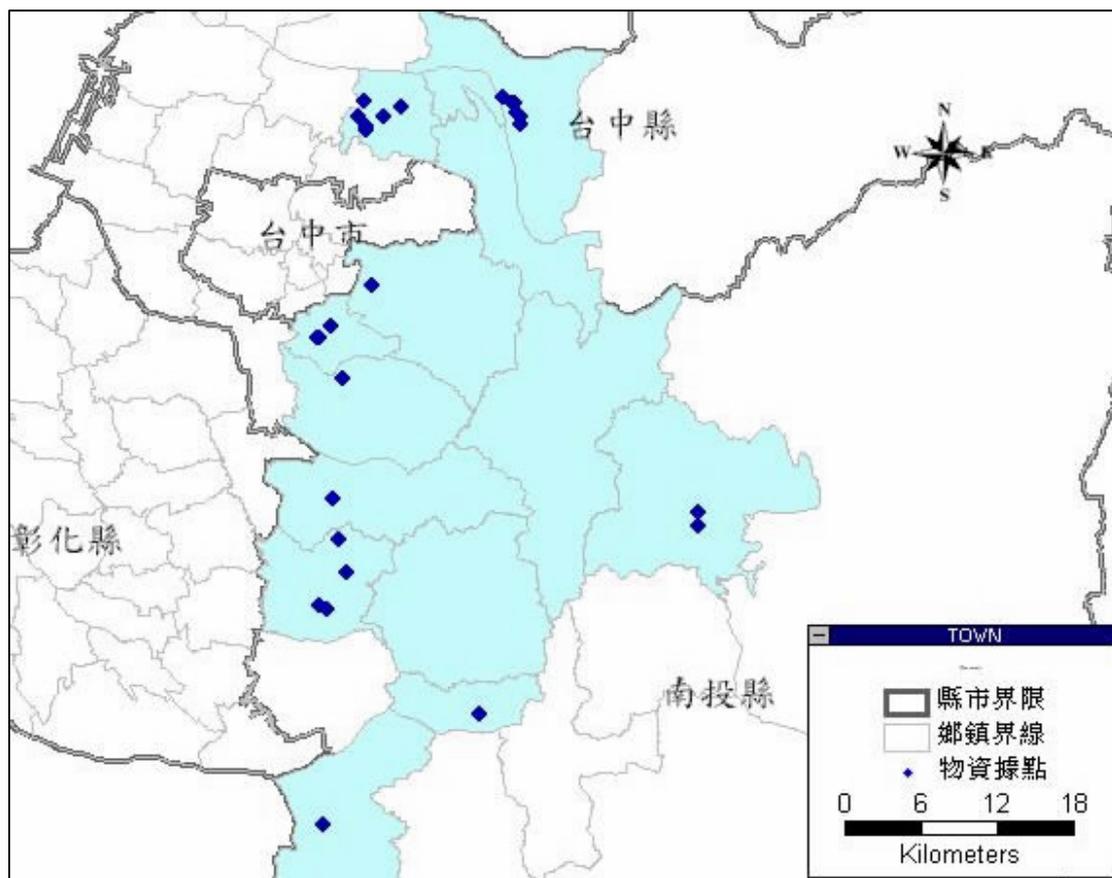


圖 21 主要物資據點分布示意圖

2.4.2 一階規劃決策模式之區位選擇

1. 輸入資料

本研究採用數學規劃軟體 Lingo 6.0 教育試用版作為演算工具，但因該版本有變數數量與限制式數量之限制，故不適合大量資料之運算，為模式之運算方便，故簡化物流據點區位數量與需求點數量，挑選其中較重要之物流據點（包括轉運中心與配送中心）可行區位，如表 3 所示。物資需求點則為收容人數較多之避難所位置共 50 個，如表 4 所列，物資之需求則假設災後每天每人約需乾糧、飲水（礦泉水）與衣物各一單位。所有物資供應點、可行物流據點區位與物資需求點之層級關係則示意如圖 22。

為了使轉運中心也能配送物資至鄰近避難所，在配送中心可行區位中加入與轉運中心相同之可行區位，設轉運中心配送至自身的運輸時間為 0，若轉運中心與配送中心選取相同地點則表示轉運中心可進行配送功能。

為避免配送中心跨區配送，限制大部分配送中心僅能服務位於該鄉鎮的需求點，而不能跨行政區配送，但是豐原的配送中心可以服務鄰近的石岡鄉與新社鄉之避難所、以及南投市的配送中心可以服務鄰近的中寮鄉與集集鄉之避難所則

屬例外。

為增進物資運輸效率，暫不考慮限制各配送中心之物資僅能經由該縣成立之轉運中心轉運，而可以由鄰縣轉運中心運入，例如台中縣霧峰鄉可以由鄰近的草屯中山公園轉運中心提供物資。

在建立各據點資料後，接著利用 GIS 軟體 Trans CAD 計算各據點間之最短路徑，因為 921 震災時期並沒有留下各路段旅行時間的調查資料，也缺乏當時的旅運需求資料，無法進行交通量指派與旅行時間之預估，故實例分析僅計算各點間最短道路行駛距離除以各路段假設旅行速率（假設由供應點至轉運中心間各路段平均時速為 80 公里，轉運中心至各配送中心間各路段平均時速皆為 40 公里，配送中心至各需求點間各路段平均時速皆為 20 公里）所得之預估運輸時間，以替代各項旅行時間之參數。

說明完決策變數中可能區位與各項參數之使用數據後，接著進行災後單一時期物資運送決策之模擬，假設災後某一時期之物資需求與供給資料，並進行區位決策模式之演算。

在物資需求方面，以民生物資為研究範圍，假設需要三種物資，分別為：乾糧、飲水、衣物。假設以每人每日所需各類物資數量為 1 單位，各需求點在災後之需求以尖峰收容人數預估，各需求點所需物資種類與數量請參考陳信宇 (2001)。物資供應點分別為台北、新竹、台中、台南、高雄，可提供物資數量如表 5.4，假設台北可提供礦泉水較多，乾糧則以台南較多，衣物以高雄較多。

表 3 實例分析物流據點可行區位列表

轉運中心可行區位		配送中心可行區位	
		台中縣	南投縣
台中縣	豐原台中縣立體育場	大里國中	前山國小
	大里國中	水力試驗所	永昌國小
	霧峰水力試驗所	太平體育場	南投縣議會
南投縣	南投縣立體育場	豐原市公所	南投縣立體育場
	草屯中山公園	豐東派出所	中山公園
	竹山前山國小	縣立體育場	棒球場
		翁子派出所機動指所	試驗林場
		河濱公園	埔里國中
	東勢國中		
	東勢林區管理處		
	東勢高中		
	東勢國小		
	東勢舊火車站		

資料來源：本研究整理

假設各縣市可運用人力僅足以維持二個轉運中心之運作，亦即在台中縣與南投縣各成立二座區域性轉運中心。另外為發揮物資輸送效率，允許這些轉運中心為鄰縣之配送中心服務。在配送中心的運作上則假設各鄉鎮之人力僅能維持一個配送中心之運作，而石岡鄉與新社鄉設定為可由設立於豐原之配送中心服務，若豐原已設立配送中心，則石岡鄉與新社鄉不另設立配送中心。中寮鄉與集集鎮亦是如此，可以由鄰近的南投市配送中心服務。

表 4 實例分析避難所列表（物資需求點）

鄉鎮	避難所名稱	尖峰收容人數	鄉鎮	避難所名稱	尖峰收容人數
豐原市	豐村國小	500	草屯鎮	富功國小	1200
	豐東國中	400		中山公園	1800
	社皮公園	500		虎山國小	1500
	弘光幼稚園	600		敦和國小	1000
石岡鄉	新石活動中心	500	南投市	中山公園	1200
	遠東新村(組合屋)	300		中正光華圓環	1600
	石岡國小	500		平和國小	1200
	九房村活動中心	300		康壽國小	1000
新社鄉	石岡國中	200	漳和國小與南投國中	1200	
	新社國中	500	集集鎮	集集車站	100
	新社國小(慈濟組合屋)	500	集集國小	100	
	大南社區活動中心	300	中寮鄉	中寮國小	500
東勢鎮	河濱公園	7000	埔里鎮	埔里慈濟屋	1200
	東勢高工	1100		南安路旁	1000
	新盛國小	2000		同聲集會所	1300
	東勢舊火車站	1000		宏仁國中	3000
	東勢林區管理處	1000	竹山鎮	竹山國中	500
	運動公園	1000		雲林國小	600
大里市	大里國中	800		前山路大禮路	500
大里市	大元國小	1500	星期一夜市	600	
	成功國中	2000			
	塗城路底天山部隊訓練場	4600			
	太平市	太平體育場	1000		
坪林靶場		500			
軍營		500			
河堤棒球場		1000			
霧峰鄉	霧峰鄉公所	2500			
	台影停車場	2000			
	萬豐國小	1000			
	振興街夜市廣場	2000			

資料來源：本研究整理

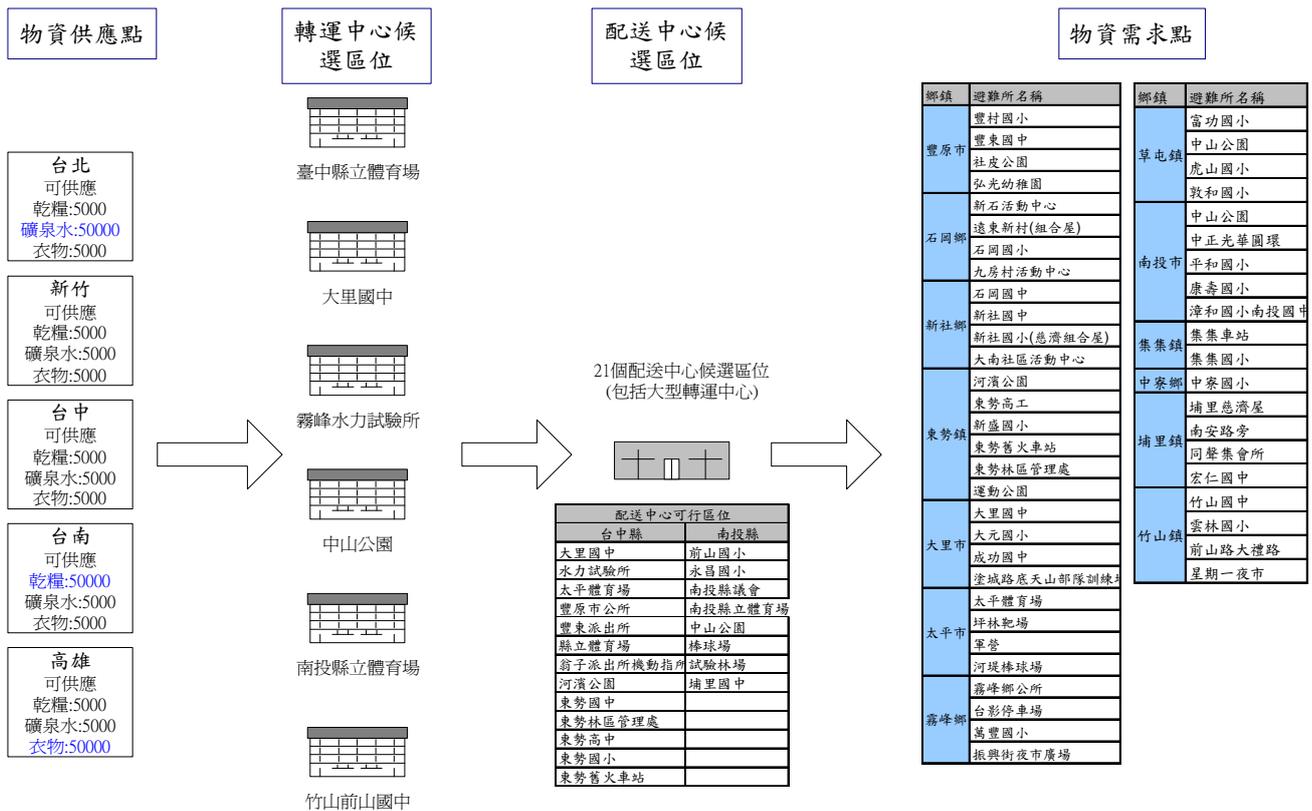


圖 22 各據點可行區位示意圖

表 5 可供應物資表

	台北	新竹	台中	台南	高雄	總計
乾糧	5000	5000	5000	50000	5000	70000
礦泉水	50000	5000	5000	5000	5000	70000
衣物	5000	5000	5000	5000	50000	70000

2. 分析結果與討論

經過模式所需各項資訊之設定後，輸入 GIS 資料庫，並配合 Lingo 6.0 之演算，以一階決策模式進行分析，所得結果結果如圖 23 所示，台中縣選擇了縣立體育場與大里國中作為轉運中心之區位，而南投縣則選擇了草屯中山公園與竹山前山國小作為轉運中心之區位，配送中心之區位則因人力限制僅挑選其中 9 座設施作為地區配送中心，結果如表 6 中以深色標記之區位，因此物流系統之配送層級與區位選擇如圖 23 所示。

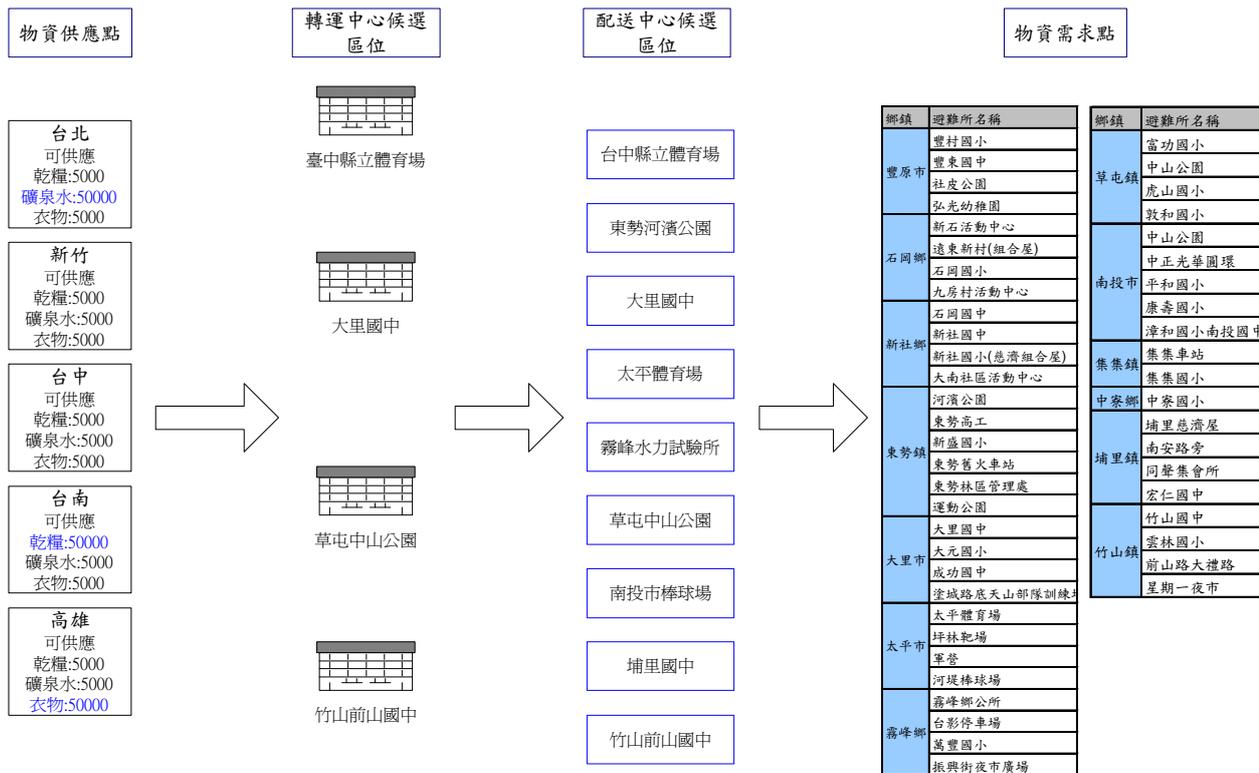


圖 23 實例分析結果示意圖

表 6 實例分析物流據點選擇結果表

轉運中心可行區位		配送中心可行區位	
台中縣	豐原台中縣立體育場	台中縣	南投縣
	大里國中	大里國中	前山國小
	霧峰水力試驗所	水力試驗所	永昌國小
南投縣	南投縣立體育場	太平體育場	南投縣議會
	草屯中山公園	豐原市公所	南投縣立體育場
	竹山前山國小	豐東派出所	中山公園
		縣立體育場	棒球場
		翁子派出所機動指所	試驗林場
		河濱公園	埔里國中
		東勢國中	
		東勢林區管理處	
		東勢高中	
		東勢國小	
		東勢舊火車站	

*深色標記為選擇結果

模式求解出轉運中心與配送中心之區位選擇後，各階段平均運輸距離與預估運輸時間如表 7、表 8 與圖 24 所示。在實例分析之決策模式中所需之時間參數，因為缺乏 921 震災時期各路段平均速率之資料，也缺乏當時之旅運需求與交通管制資訊以預估各路段平均速率，故假設各供應點至轉運中心間所有路段平均時速為 80 公里，轉運中心至各配送中心間所有路段平均時速皆為 40 公里，配送中心至所有需求點間各路段平均時速皆為 20 公里，預估各據點間平均運輸時間如表 8 所列。

故各據點間平均運輸距離與運輸時間預估值如圖 24 所示，每單位物資自供應點運至災區各需求點平均約需 117 分鐘始可運達。

表 7 各據點間平均運輸距離表

	總運輸距離(km)	載運物資總量(單位)	每單位物資平均運輸距離(km)
供應點-轉運中心	22012700	176100	125.001
轉運中心-配送中心	1959056	176100	11.125
配送中心-需求點	362940	176100	2.061
供應點-需求點	24334700	176100	138.187

表 8 各據點間平均運輸時間表

	預估運輸時間(小時)	預估運輸時間(分鐘)
供應點-轉運中心	1.56	93.75
轉運中心-配送中心	0.28	16.69
配送中心-需求點	0.103	6.183
供應點-需求點	1.943	116.623

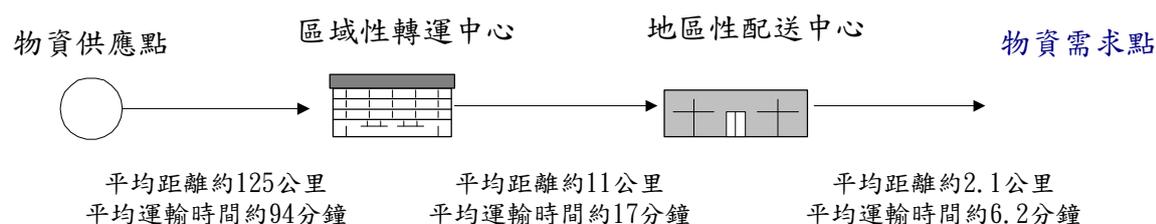


圖 24 各階段運輸時間示意圖

2.4.3 配送路線決策模式實例分析

為驗證路線選擇決策模式，於區位決策模式之實例分析後，根據所決定之物流據點區位與物資流量，挑選豐原市之配送中心進行路線決策模式之實例分析。豐原市之配送中心為台中縣立體育場，在區位模式中所分配服務之需求點如表 9 所示，各需求點之物資需求量亦詳列於表中，需求點之分布則如圖 25 所示。

表 9 路線選擇實例分析需求點列表

鄉鎮	避難所名稱	尖峰收容人數	乾糧需求	飲水需求	衣服需求	總需求
豐原市	豐村國小	500	500	500	500	1500
	豐東國中	350	350	350	350	1050
	社皮公園	450	450	450	450	1350
	弘光幼稚園	600	600	600	600	1800
石岡鄉	新石活動中心	500	500	500	500	1500
	遠東新村(組合屋)	300	300	300	300	900
	石岡國小	500	500	500	500	1500
	九房村活動中心	300	300	300	300	900
新社鄉	石岡國中	200	200	200	200	600
	新社國中	500	500	500	500	1500
	新社國小(慈濟組合屋)	500	500	500	500	1500
	大南社區活動中心	300	300	300	300	900

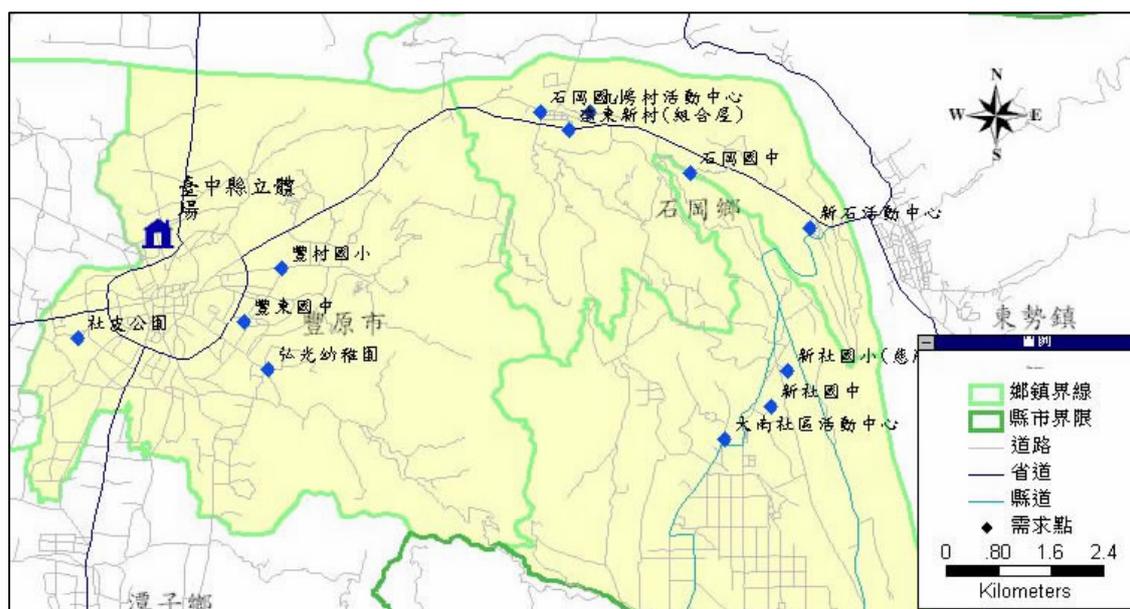


圖 25 需求點分布示意圖

1. 小型運輸車輛

由表 9 中可以發現各需求點對物資之大量需求並非單一車次所能滿足，每一需求點都需往返數個車次才能配送完畢。假設所有物資每單位之體積與重量皆

相同，且每一車次之裝載容量皆為 300 單位，在表 10 中列出若要滿足每一需求點至少需要多少車次才能運送完畢，多數車次皆為單點往返式配送而沒有多餘空間可以服務其餘需求點。但在服務社皮公園與豐東國中的車次有仍具多餘空間之車次，因此以單點往返配送後所餘需求量，作為修正後需求量代入路線決策模式，可以得出社皮公園所餘 150 單位需求量與豐東國中所餘 150 單位需求量，可以利用台中縣立體育場→豐東國中→社皮公園→台中縣立體育場之運輸路線，如圖 26 所示之路徑，在一個車次內同時服務社皮公園與豐東國中兩個需求點。

彙整單點往返式配送與路線選擇決策模式之結果，可以將單點式往返配送之路線表示如圖 26，圖中需求點上的數字為需要單點式往返配送之次數，而剩餘的需求量可使一車次同時服務多個需求點，將剩餘需求代入路線選擇模式後可得到如圖 27 之結果。社皮公園與豐東國中各剩餘 150 單位的需求量尚未有車次服務，於是路線選擇模式求解結果為利用台中縣立體育場→豐東國中→社皮公園→台中縣立體育場之運輸路線進行多點迴圈式配送。

跟據路線選擇結果，共需要 50 車次才能配送完畢，其中包括 49 車次的單點往返式配送與 1 車次的多點迴圈式配送。若不考慮多點迴圈式配送，至少需要 51 個單點往返式車次才能滿足所有需求。而考慮利用剩餘空間進行多點迴圈式配送的方式，僅需 50 車次即可滿足需求，總運輸時間亦較短。

表 10 各需求點小型運輸車輛車次需求表

鄉鎮	避難所名稱	總需求	車次需求	單趟往返車次	修正後需求
豐原市	豐村國小	1500	5	5	0
	豐東國中	1050	4	3	150
	社皮公園	1350	5	4	150
	弘光幼稚園	1800	6	6	0
石岡鄉	新石活動中心	1500	5	5	0
	遠東新村(組合屋)	900	3	3	0
	石岡國小	1500	5	5	0
	九房村活動中心	900	3	3	0
新社鄉	石岡國中	600	2	2	0
	新社國中	1500	5	5	0
	新社國小(慈濟組合屋)	1500	5	5	0
	大南社區活動中心	900	3	3	0
總計		15000	51	49	300

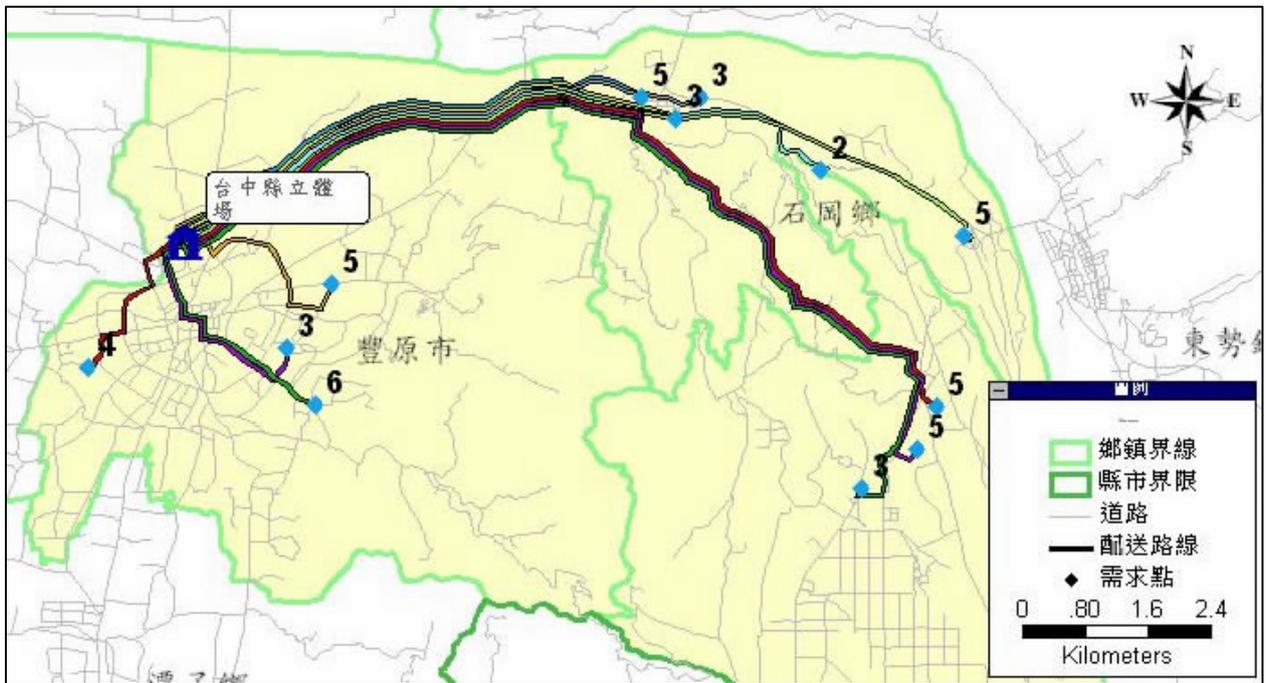


圖 26 單點往返式配送路線與車次示意圖



圖 27 小型車輛多點迴圈式配送路線示意圖

2.大型運輸車輛

若假設以較大型車輛配送，將車輛裝載容量增加為 500 單位，修正過的資料如表 11 所示，若不考慮多點迴圈式配送至少要 33 個單點式往返車次才能配送完畢，其中包括 26 個滿載服務單一需求點之單點往返式配送，與 7 個未滿載之車次。將修正後需求量輸入路線選擇模式可以得到如圖 28 之結果，需要 5 個多點迴圈式車次才能服務完剩餘需求，總共需要 31 個車次 (26+5=31)，與僅考慮單點往返配送所需之 33 車次相較，可以節省兩個車次，總運輸時間亦較短。

表 11 各需求點大型運輸車輛車次需求表

鄉鎮	避難所名稱	總需求	車次需求	單趟往返車次	修正後需求
豐原市	豐村國小	1500	3	3	0
	豐東國中	1050	3	2	50
	社皮公園	1350	3	2	350
	弘光幼稚園	1800	4	3	300
石岡鄉	新石活動中心	1500	3	3	0
	遠東新村(組合屋)	900	2	1	400
	石岡國小	1500	3	3	0
	九房村活動中心	900	2	1	400
新社鄉	石岡國中	600	2	1	100
	新社國中	1500	3	3	0
	新社國小(慈濟組合屋)	1500	3	3	0
	大南社區活動中心	900	2	1	400
總計		15000	33	26	2000



圖 28 大型車輛多點迴圈式配送路線示意圖

比較全部為小型運輸車輛與全部為大型運輸車輛之結果後，可以發現：(1) 當車輛裝載容量越大，所需運輸車次越少；(2) 小型車輛之裝載容量小，需進行較多車次之單點往返式配送，多點迴圈式配送車次所佔比例較少，引進路線選擇模式所能改善空間較少；(3) 大型車輛之裝載容量較大，單點往返式配送車次所佔比例較低，多點迴圈式配送車次所佔比例較高，引進路線選擇模式所能改善空間較大；(4) 運輸車輛之載運容量畢竟有限，相對於災後大量物資需求，單點往返式配送所佔比例仍高於多點迴圈式配送之比例許多。

若將每車次所需運輸時間（每車次服務需求點不同）加上每次裝卸所需時間，可以估計每一不同車次所需配送時間，依照所有車次之配送時間，可以進行車輛之調度與車輛需求分析。

2.4.4 區位決策結果比較分析

在進行完一階區位決策模式與路線選擇決策模式之實例分析後，本節根據 921 震災時的實際區位選擇，代入實例分析所使用的相同參數條件，求解該區位選擇之平均運輸時間，與本研究之一階規劃模式結果進行比較分析。同時利用相同參數條件，以二階規劃模式求解，與一階規劃模式結果進行比較分析。亦即將 921 震災時期之實際決策結果（以下簡稱 921 決策結果）、一階規劃模式決策結果與二階規劃模式決策結果進行每單位物資平均運輸時間之比較分析。

因為本研究所選擇 21 個配送中心可行區位，在 921 震災時皆為鄉鎮公所所設置之配送中心區位，故在此 21 區位全部設立配送中心。為了能在相同環境下比較，在一階與二階模式中取消對配送中心人力限制，亦即不限制配送中心數量，模式可以選擇設置或不設置，若選擇不設置則表示在該區位設置配送中心對改善目標函數值沒有幫助。

921 決策結果、一階模式與二階模式所選取轉運中心區位如表 12 所示，每單位物資各階段平均運輸距離亦如表中所列。引用 5.2 實例分析中之各路段平均速率假設（假設由供應點至轉運中心間各路段平均時速為 80 公里，轉運中心至各配送中心間各路段平均時速皆為 40 公里，配送中心至各需求點間各路段平均時速皆為 20 公里）後，將結果轉換為平均運輸時間，如表 13 所示。

經過比較後可以發現在轉運中心區位選擇上各不相同，若以平均運輸時間之全程總和為比較基礎，一階規劃模式決策結果較二階規劃模式結果或 921 決策結果為佳，能以較短運輸時間之方式將物資自供應點配送至需求點。

表 12 決策結果比較表

	轉運中心區位選擇	平均運輸距離(公里)			
		供應點-轉運中心	轉運中心-配送中心	配送中心-需求點	總和
921 決策結果	台中縣立體育場	146.23	10.56	1.82	158.61
	大里國中				
	台南縣立體育場				
	明德營區				
一階規劃模式 決策結果	台中縣立體育場	125.02	11.20	1.80	138.01
	大里國中				
	草屯中山公園				
	竹山前山國小				
二階規劃模式 決策結果	台中縣立體育場	124.66	12.23	1.80	138.69
	大里國中				
	竹山前山國小				

表 13 平均運輸時間比較表

	平均運輸時間(分鐘)			
	供應點-轉運中心	轉運中心-配送中心	配送中心-需求點	總和
921 決策結果	109.67	15.84	5.46	130.97
一階規劃模式 決策結果	93.76	16.79	5.40	115.96
二階規劃模式 決策結果	93.49	18.35	5.41	117.25

2.5 小結

本段針對震災物流系統之特性構建物流據點區位選擇模式與配送路線選擇模式，配合 GIS 資料庫之建立與電腦演算，以提昇運算效率，並蒐集 921 震災時期相關資訊，進行實例分析與結果比較後，得到下列相關結論：一是在震災物流系統之決策方面，單一決策者之一階規劃模式決策結果較佳，且透過決策模式之輔助，可以得到較好的物資運輸方式，以利決策者進行物資調度與配送之規劃。以 921 震災時期相關資訊進行實例分析，發現在轉運中心區位選擇上以豐原台中縣立體育場、大里國中、草屯中山公園與竹山前山國小最適合，這些區位都是位於中部地區東西向之重要交通節點，相較於 921 震災時期之實際決策，自物資供應點到需求點間平均可以節省約 11.5% 之運輸距離，證明決策模式之必要

性。二是轉運中心之設置區位應為重要道路交通節點，以節省整體運輸時間，而非設立於配送中心附近或配送中心密集之區位。轉運中心應具有足夠開放空間面積以利車輛裝卸與物資轉運，若有需求點鄰近轉運中心，亦可由轉運中心直接進行鄰近需求點之配送任務，減少物資轉運之時間浪費。三是在災後對物資大量需求的情形下，運輸車輛需要進行繞行多需求點之迴圈式配送的車次比例不高，大部分皆為單點往返式配送，故將物流據點區位選擇與配送路線選擇分別決策，於區位決定後再進行路線選擇，能提高演算效率，避免浪費時間於求解大量單點往返式配送。

根據研究進行時所發現之問題，對後續研究提出建議如下：

1. 救災工作講究效率，決策模式必須具有良好的演算效率才能實用，故模式之設計除了要考慮符合震災之特性外，還要考慮演算效率。建議後續研究應引進適合震災物流系統決策模式之演算法，以解決模式求解困難之問題。若能找出有效的演算法，則模式可以同時考慮區位與配送路線選擇，更可以包含車輛調度與排程之決策，使整體決策結果更加完善。
2. 根據實例分析結果之比較，可以發現單一決策者之決策結果較佳，建議國內參考歐美與日本之做法，在中央設立專責防救災工作之單位，於災後統一指揮權限進行決策，統籌各單位與地方政府進行救災工作。
3. 為使模式更貼近現實，建議未來在震災物流系統決策模式中考量存貨之處理，使存貨之特性能反映在決策結果上。為將存貨考慮在模式中，模式之背景應改為動態環境，才能改善靜態模式難以處理存貨之困境，但動態模式在參數使用上應要更加嚴謹，避免錯誤預估造成之決策錯誤。
4. 因為震災之運輸特性有別於一般物流系統，建議未來應增加運輸車輛調度與排程之規劃模式，或將車輛調度考慮在整體決策模式中，方便決策者在災後迅速根據決策結果進行運輸車輛之派遣。
5. 為符合災後之交通特性，應根據災後道路損壞狀況，考慮各路段之可用道路容量、災區旅運需求資料，配合交通管制計畫預估各路段可能旅行時間，使決策結果更接近現實狀況。
6. 震災物流系統之決策仰賴正確的資訊，而正確資訊之取得是不容易的，應於災前訂定緊急調查計畫，根據實際調查所得資料，作為各期物流系統決策所需之參數，避免各項參數之錯誤預估造成決策錯誤。
7. 未來應整合一般物流管理之實務運作經驗，例如物流據點之硬體佈設、倉儲管理、交叉式棧台（cross docking）設計與條碼式管理等，並根據物流實務運作之演習，調整決策模式或參數，使震災物流系統在實際運作上更具效率，整合成完整的震災物流系統。

第三章 震災道路搶修任務排程規劃

3.1 文獻回顧

以 921 道路搶通工作之經驗分析，在災害發生後，公路主管單位在進行搶通復建工作時，常面臨下述幾種狀況，茲簡述如後：

1. 資訊無法掌握

921 地震發生後，造成災害搶救延滯的最主要原因為通訊的中斷。連振盛等對 921 集集大地震相關單位人員（交通部公路局二區工程處、警察局交通隊、消防局、鎮公所及民間慈濟救災中心等）訪談中發現受訪者皆認為緊急通訊系統不敷使用是造成救災效率低落的主要原因。以 921 現況，災害發生後，所有的通訊系統幾乎全部中斷，救災通訊的維持僅靠中央調度的數部衛星電話來維持。救災指揮體系無法掌握確實民眾傷亡及受困的情形。同時，因為通訊的中斷，各道路主管機關亦無法與位於災區之所屬養護單位取得聯繫，災區內之各養護單位間之聯繫亦告中斷。公路主管機關及養護單位無法立刻掌握道路受損之狀況並做立即的處理。

道路資訊的蒐集主要靠工程人員以步行或車行的方式逐路逐點的探查之回報公路養護單位辦理彙整，(如圖 29)，或透過衛星照片的取得比對以掌握災情資訊。

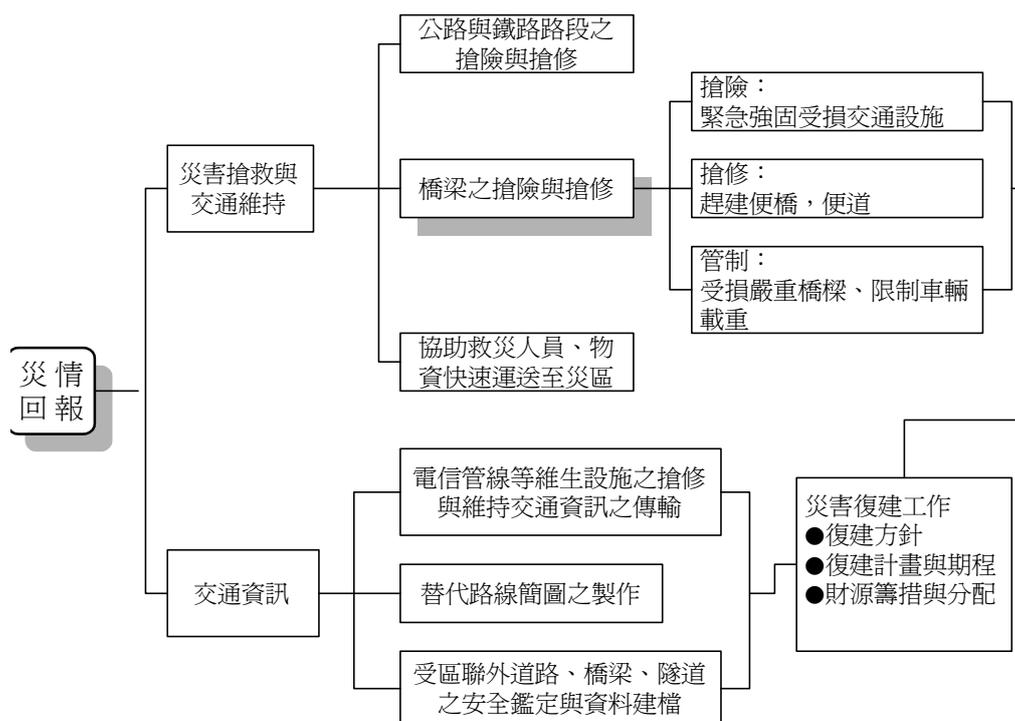


圖 29 災害資訊架構圖

2.道路主管機關過多，橫向聯繫不足

我國道路體系複雜，除公路法定義之道路外，尚有多種道路，各自歸屬不同養護單位及主管機關，如表 14。平常時，各自負責轄養所管道路，較少聯繫。當災害發生時，各自本其職權處理其轄養道路之搶通復建工作，沒有進行資源統合，交互支援去進行搶通復建工作。

表 14 道路養護單位與主管機關

主管機關	管理養護單位	道路
交通部	公路總局	省道、縣道（代養）
	國道高速公路局	國道
	鐵路局	鐵路
行政院農業委員會	水土保持局	農路
	林務局	森林道路、森林鐵路
內政部	營建署	市區道路、市區農路、村里巷道
縣（市）政府	鄉鎮公所	縣道（自養部分）、鄉道、市區道路、村里巷道、農路

3. 災後搶修時間之特性

- (1) 黃金期間：係指災害發生後之 72 小時為搶救黃金時間。該期間因資訊掌握不足，呈現混沌狀態。此時公路單位之主要工作搶通道路。搶通道路作業不強調道路所提供之服務品質，係強調可提供單車道供車輛進出，救援物資之載入及傷患外送。
- (2) 復建期間：該等時間較長，可達 2~3 年，甚至更久，較無急迫性。為搶通路段因其如容量 (Capacity)、流量 (Volume) 及道路功能分類 (如國道、省道及縣道) 不同，其搶修之順序不同，除影響復建績效外，亦將影響國家及地方經濟之復甦速度及程度。由付復建經費之來源為公務預算，在預算排擠效應下，預算編列會影響其他建設及福利。公路主管機關在預算編列之限制下，會考量各種因素以訂定道路搶修之優先順序，逐年編列預算來進行復建工作。
- (3) 道路復建多強調復建點之指派 (Assignment)，而道路之搶通除考量災點指派外，亦強調災點搶修之順序 (Sequence)。如圖 30

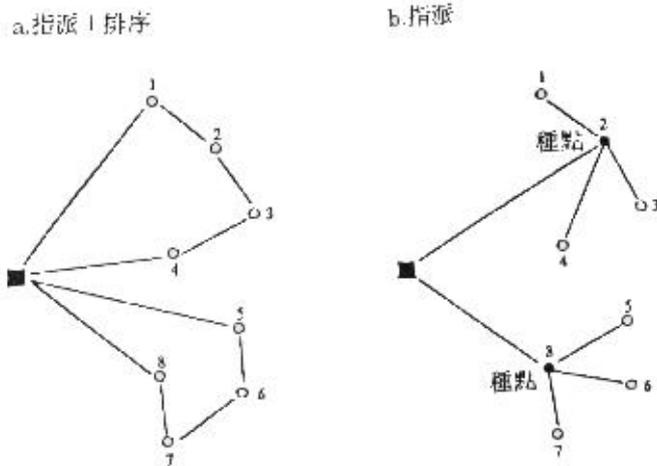


圖 30 災害搶修之指派與排序

資料來源：陳春益、郭振峰，「建立物流中心區位模式之研究」

4. 決策特性

如前述，救援之黃金時間內，由於不能即時的掌握災情資訊，加上救災工作的急迫性，工程單位係以過去災害發生的情形、種類及地理區位特性預先研判災情。搶修指派多由決策者（當地工程處處長或所在地工務段段長）依經驗判斷處理，較缺乏數理分析之基礎。

以 921 大地震為例，災害發生初期，災區各項通訊設施（備）皆受到損壞，無法發揮正常之功效，所以災害發生之首要工作，係蒐集資訊，期在最短時間內，實際掌握災情規模、災害分佈及路網受損情形，決策者由該等資訊，決定搶修之原則與方法。

在搶救黃金時間之限制下，如何決定優先搶通之路段，以形成通路，讓搶救（修）之人力機具得以進駐災區從事搶通（修）工作，以求整體救災效益之最大。

5. 搶通作業特性

搶通作業其特性與復建作業明顯不同，在決策階層上搶通作業係屬短期性，復建作業則視災害程度分別歸屬於中期性或長期性，如圖 31。茲分析如後：

- (1) 較無預算限制：災害發生時，開口廠商即刻進行搶通（修）工作，其預算可自一般道路養護經費及災害修護預算項下動支，事後追認即可。而復建作業則必須遵照採購法之相關規定依照程序辦理發包作業，又復建其甚長，多屬跨年度作業，故需透過預算編列程序辦

理。

(2) 道路搶通作業對土方之處理係將土方向路側堆置，清出道路供車輛通行，暫無土分清運的問題。而在道路復建時，土石方之清運需予納入考量，必免對環境造成二次衝擊。

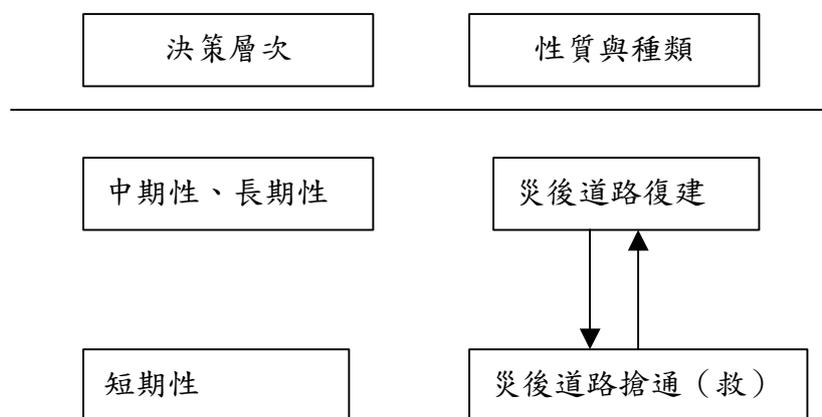


圖 31 長、中、短期決策因素之層次性關係

災後 72 小時黃金救援期間之道路搶通特性有別於災後復建，茲將其特性整理如表 15。

表 15 黃金救援期間之道路搶通特性

項目 \ 時期	第一期 災後 72 小時黃金救援期間
搶修工作之性質	道路搶通
橋樑處理	1. 有替代道路時，暫緩搶修 2. 無替代道路時，搭建臨時便道
搶修目標	1. 工務單位：搶通最多之路段，其績效在強調道路之可通行(road open)率 2. 救災指揮體系：搶救最多的生命
時間	以救災搶通為主，有最大 72 小時之限制。然因受限於通訊中斷及資訊不足，扣掉該等資訊蒐集所耗時間，實際之搶通時間會低於 72 小時。
資源限制	1. 有搶修機具類型、數量、人員及搶修能量的限制 2. 機具工作能量，係考量坍方落石之清除能力
決策依據	資訊不明確，由經驗判斷災情

資料來源：自行整理

6. 搶通模式之研究

有關災害搶通作業，在於車輛機具之調度與分派，另在時間急迫性之考量下，需考量搶修災點之順序。其搶通路線及災點之作業及優先順序較類似車輛排程問題。車輛排程主要包含節點涵蓋問題及節線涵蓋問題。就節點涵蓋部分，在符合車輛容量及訪問所有節點之限制下，求取一條可行且成本最低之繞行路線。該等問題多為整數規劃之 0-1 問題。

如考量多車輛之車輛排程問題，則可視為同時處理指派及排序兩項作業。指派作業可以瞭解車輛的數量及所需負責搶修的點。排序作業則在瞭解搶修之行程。

Fisher 與 Jaikumar 所提出之啟發式(Heuristic)演算法，將指派與排序分開處理，先指派後排序，以減低問題之困難度。

3.2 模式構想

1. 路網繪製

為瞭解整體災害分佈情形，災後之道路路網以節點(Node)及節線(Link 或 Arc)來表示。分由節點之選取及節線之建立來繪製路網。

- 節點之選取：節點係指各級道路(含鐵路)之交會處(含立體交叉)、橋樑位置、各養護單位之所在處及災點。
- 節線之建立：係指兩節點間有道路相連者，稱之。

圖 32 為路網示意圖，路網上有 11 個節點，分別編號 1 至 11 來代表。各節線為兩節點間具道路相連者如 Link1-10，Link10-9。節點 7 與節點 11 間並無道路相連，故無節線 Link7-11 之存在。

- 輸入點 (Source)：圖 32 中節點 1、2、3 分別代表道路養護單位(工務段)所處之位置。輸入點代表人員及機具之供應點，機具及人員的派遣，皆由該等點開始進行。路網中之其餘節點代表災點。

節點上所標示的數字 (x,y) ， x 代表該區所受困之人數，以節點 8 為例，當 $x=0$ 時，表示該區並無民眾受困。 Y 代表該節點以同型(表示工作能量相同)的單一機具搶通該點所需之時間(亦為工作時間)，同樣以節點 8 為例， $y=4$ ，表示以單一機具搶通該節點，所需的時間為 4 小時。節線上之數字則代表在兩節點之平均行駛時間，以分鐘為單位。如節線 Link1-11，代表由節點 1 行駛到節點 11 需時 30 分鐘。

2. 基本假設

在辦理模式構建時，針對道路搶通作業做下述之基本假設：

- 假設道路無方向性：災害發生後之 72 小時，道路以可供通行及搶救作業為考量，故無方向性。
- 假設平均行駛時間為已知：災害發生後之 72 小時，道路雖可通行，然實際路況因受資訊及人為因素的干擾，假設災害發生後災區有受到交通管制，故行駛時間為已知，不受流量之干擾。
- 假設已搶通知災點不會受後續餘震及豪雨之影響而再度中斷：災點搶通後，假設其路徑及災點不會受後續餘震或其他天災（如颱風、豪雨）之影響而再次中斷。
- 假設生命為等價值的，不因性別、職業及年齡大小而有所差異。
- 搶通期間，機具不休息，僅作人員替換
- 每一災點僅只派一輛機具搶通
- 每部機具之搶通能量皆相同
- 另有關橋樑搶修問題，橋樑為一節點，通常橋樑受損時，若屬輕度損壞，則採補強方式即可，若屬中度或重度損壞時，如橋面板斷裂，橋墩裸露龜，則需進行橋樑復舊、強固等工程，或採搭建便橋等方式來做處理。此時，所採行之措施，皆需時甚長，相對於第一階段之搶通工作，其工作時間可視為無限長。

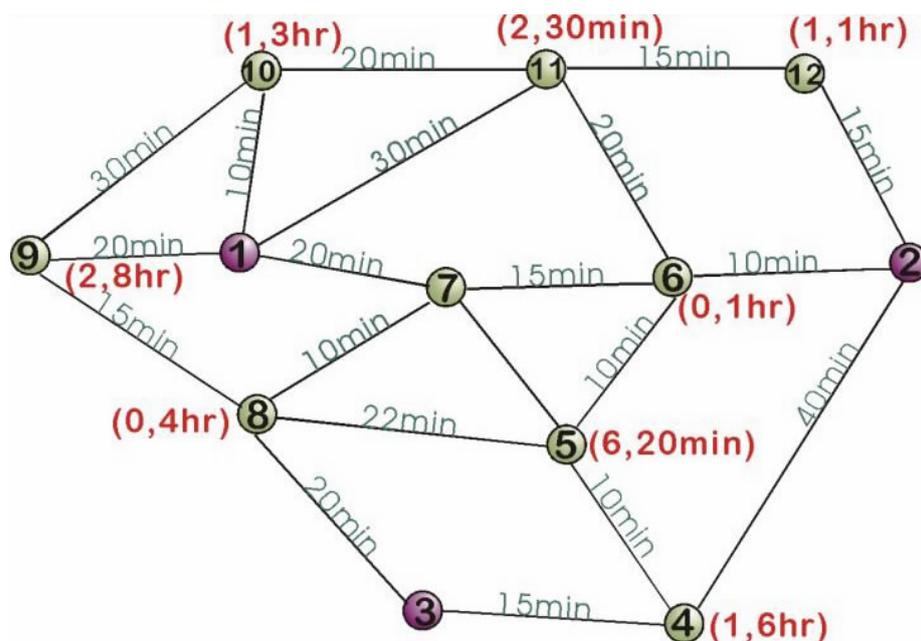


圖 32 路網示意圖

3.3 模式構建

根據前述災害搶通（救）之特性及前述基本假設，震災搶修任務排序規劃模式，其數學式構建如後：

$$\text{Max } Z_1 = \sum_{k \in M} \sum_{v \in V_k} \sum_{j \in N} X_{ij}^{kv} d_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Max } Z_2 = \sum_{k \in M} \sum_{v \in V_k} \sum_{j \in N} P_j Y_j^{kv} \quad (2)$$

s.t.

$$Y_j^{kv} \leq \sum_i X_{ij}^{kv}, \quad \forall j \in N, k \in M, v \in V_k \quad (3)$$

$$\sum_{i \in L} \sum_{j \in L} (TT_{ij} X_{ij}^{kv}) + \sum_{j \in N} TW_j Y_j^{kv} \leq 72, \quad \forall k \in M, v \in V_k \quad (4)$$

$$\sum_{i \in L, i \neq j} X_{ij}^{kv} \geq \sum_{i \in L, i \neq j} X_{ji}^{kv}, \quad \forall i \in L, j \in N, i \in N, k \in M, v \in V_k \quad (5)$$

$$\sum_{j \in L, j \neq i} X_{ij}^{kv} \leq 1, \quad \forall i \in M, v \in V_k \quad (6)$$

$$\sum_k \sum_v Y_j^{kv} \leq 1, \quad \forall j \in N \quad (7)$$

$$Y_j^{kv} = \{0,1\} \quad (8)$$

$$X_{ij}^{kv} = \{0,1\} \quad (9)$$

其中，

(1) 決策變數

Y_j^{kv} 代表災點 j 被第 k 工務段 v 機具之搶通情形

$$Y_j^{kv} = \begin{cases} 0 & , \text{代表 } j \text{ 點尚未被搶通} \\ 1 & , \text{代表 } j \text{ 點已被第 } k \text{ 工務段 } v \text{ 機具完成搶通} \end{cases}$$

X_{ij}^{kv} 代表第 k 工務段機具 v ，由 i 點至 j 點進行搶通工作

$$X_{ij}^{kv} = \begin{cases} 0 & , \text{代表第 } k \text{ 工務段機具 } v, \text{ 未由第 } i \text{ 點搶通 } j \text{ 點} \\ 1 & , \text{代表第 } k \text{ 工務段機具 } v, \text{ 由第 } i \text{ 點搶通 } j \text{ 點} \end{cases}$$

(2) 參數

i, i, j 代表節點；

d_{ij} 代表節點 i 至節點 j 之距離

k 代表工務段

P_j 為災點 j 受困之人數；

v 代表機具；

TT_{ij} = i 點至 j 點，所需之旅行時間

TW_j = 搶通 j 點所需之工作時間。

(3) 集合

$N = \{m+1, m+2, m+3, m+4, \dots, m+n\}$ ，代表災點集合；

$M = \{1, 2, 3, \dots, m\}$ ，代表工務段之集合；

v_k 代表工務段 k 之機具組合；

$L = M \cup N$ ，為節點的集合

前述目標函數乃針對災後道路搶修之排程，(01) 目標函數代表搶通最多路段，追求搶修工作之效率最大。即以公路養護機關（公路總局）之立場，災害發生後，道路搶通之道路長度愈長，其績效愈佳。目標函數 (02) 代表搶通效益最大。該目標函數係以配合救災指揮體系之立場，在短期間，搶通愈多之特定地點，績效愈加。在生命等值的假設前提下，所謂特定地點係指受困人數愈多之地點。

限制式 (03) I_j^{kv} 代表災點 j 被第 k 工務段 v 機具之搶通情形，代表災點 j 僅能由前單一節點 i 進入該點搶修。限制式 (04) 代表工務段搶修能量之限制，即工作隊之搶修能量至少需等於各路線行駛時間與災點搶通時間之總和。限制式 (05) 及限制式 (06) 代表前置限制，即各災點有出必有進，有進未必有出。

情境 1：有出必有進

以圖 32 為例，由節點 1 直接搶修節點 8，則其可能路徑為 ① → ⑨ → ⑧，即機具由災點 ⑨ 前往搶通災點 ⑧，必應先有機具進駐災點 ⑨，並完成災點 ⑨ 之搶通作業。

情境 2：有進未必有出

由節點 1 直接搶修節點 8，則其可能路徑為 ① → ⑨ → ⑧，假設節點 9 之災情超乎預期，搶通時間非原先估計之 8 小時，而為 69 小時，則在黃金救援期間之 72 小時內，勢必無法完成災點 ⑨ 之搶通工作，此時在時間限制下，機具仍停留在災點 ⑨。

限制式 (07) 代表災點及路徑之限制，即 1.每個災點最多被一個機具搶通；2.任一災點，最多被指派一次，路徑可以重複行駛。限制式 (08) 及 (09) 代表為 0-1 整數規劃。

3.4 小結

1. 結論

- 災害復舊作業依其階段性目標之不同，可以切割成第一階段（黃金救援期間）之道路搶通（救）作業及後續第二階段之道路復建作業。至於以道路搶通為主要目標、搶救最多民眾生命為次要目標，或以搶救最多民眾生命為主要目標、道路搶通為次要目標，決定於救災指揮系統對災害資訊掌握充分與否。
- 災後搶修任務排序規劃模式之性質與車輛排程問題類似，其兼具調派 (Assignment) 及排序 (Sequence) 之性質。
- α 災害搶通（救）時間之可容許值具不確定性，端視決策機關對災情掌握程度來做判斷。

2. 建議

- 災後搶修任務排序規劃模式為 0-1 整數規劃問題，基本上，可以傳統之數學規劃方式求解。惟在第一階段之搶通（救）作業需兼顧道路養護機關與救災指揮體系之目標，可以考量採多目標規劃方式處理。又災點甚多具 NP-Hard 的性質，可考量採 GA 演算。整體而言，本模式未來尚須經過實證處理，方能決定何種方法較佳。
- 建立緊急時的資訊通報系統，提供及傳播各種適時的交通管制資訊。在地震發生後固定與行動通信網路常會受損，除了事後積極搶修外，建立不受震災影響之衛星通信系統，或可列為未來考慮之方案，以確保緊急通報系統之正常運作。

第四章 災區交通管制規劃

4.1 地震災區交通管制課題探討

4.1.1 921 地震災區

1. 管制狀況分析

從連振盛等對 921 集集大地震相關單位人員（交通部公路局二區工程處、

警察局交通隊、消防局、鎮公所及民間慈濟救災中心等）訪談中發現：

- (1) 受訪者皆認為緊急通訊系統不敷使用是造成救災效率低落的主要原因。對於交通管制成效，警察單位認為績效不錯，並未出現混亂局面，而消防單位則認為應再加強；鄉（鎮、市）單位則認為平時並無交通問題，但在大型機具進駐時則有困難。
- (2) 對於災區全面管制之建議，各單位皆認為以當時之通報系統並不適宜，且管制對象仍傾向於大型遊覽車觀光客。
- (3) 對於通行證的發放問題，基層員警皆認為難度頗高，如九份二山的管制，其依據為「道路交通管理處罰條例」第五條，而實際執行仍以勸導為主。至於通行證之格式及發放，消防署將明訂辦法全國施行。
- (4) 未來消防署將改名為「災害防救署」，地方消防局改制仍待地方政府立法解決法源問題。目前在災害防救組織上，由行政院各部會任務編組成立災害防救委員會，以解決跨部會指揮體系問題。
- (5) 在增設活動指揮車議題，問題最大乃在於與地方據點之通訊聯絡無法配合，且衛星電話因地方政府無力負擔每月之測試費用而仍待解決。
- (6) 受訪者皆認為政府資源有限而民力無窮，因此在規劃緊急應變計畫時應統合民間力量，以發揮最高救災效率。

2. 問題與檢討

針對 921 集集大地震發生後，從各類救災經驗的累積與問題的發掘，從中得知政府與民間相關單位雖傾全力參與救災，但成效卻無法滿足災區民眾之需求，從救災階段之救災單位整合問題、建築物鑑定問題、復舊階段中慰助金發放問題、地方政府與中央政府預算補助與發放問題等，行政單位飽受民眾批評，從此也反映出國內並無相關法令依據作為執行上之參考。因此，從此次震災經驗中相關缺失，歸納其原因如下：

- (1) 現行緊急應變計畫未盡完善，且各級政府缺乏災害防救之專責機構與人員，以致對於長期防災緊急應變之準備工作無法順利推動。
- (2) 事前災害防範與準備未落實，具體而言政府與民間皆不重視減災階段與預防階段之整備。
- (3) 災害防救中心各項軟、硬體設備不足，對於災情之收集與傳遞造成困難。
- (4) 各地方政府層級緊急應變中心功能不足，對第一時間救災無法應對，喪失應有之功能。
- (5) 尚未建立系統明確之「指揮體系」與「決策模式」，以致決策過程雜亂無

章，延誤救災時機。

- (6) 通訊系統不敷使用，災時各地方層級災害處理中心通訊幾乎中斷，僅靠中央支援之少量衛星電話作為對外通訊之主要依據，無法負擔指揮通訊龐大之需求。
- (7) 缺乏有系統之災時交通管制方案，以致交通混亂。
- (8) 各單位橫向聯繫不足，資源並未整合。
- (9) 地震防救研究不足。
- (10) 長期對於特種搜救隊伍未予重視，致救災人員及設備缺乏。

而由此次九二一大地震經驗，綜合專家學者針對突發事件緊急應變系統方面應加強之項目建議如下：

- (1) 詳細周延並定期更新之緊急應變計畫。
- (2) 定期的防災教育與演習。
- (3) 強化防救中心硬體設備。
- (4) 加強各種緊急應變中心之資源共享與資源整合。
- (5) 建構可靠之全國緊急通訊網。
- (6) 加強與國際救難組織交流，以提昇國內救災設備與水準。
- (7) 基於生命搶救優先的觀念，作為緊急應變最高之指導原則。
- (8) 安全都市之建構。
- (9) 緊急應變應依時間、空間與災情作不同之處置。
- (10) 避難路線應依其功能性區分，以作為災前之規劃與緊急應變的依據。

4.1.2 日本阪神、淡路大地震

1995年1月17日清晨五時四十六分於阪神淡路島，發生芮氏規模7.2大地震，造成五千多人死亡、三萬多人受傷、七萬棟以上建築物損壞之嚴重災情，依據財物損失估計約為一千億美元。並造成鐵路車站33處、車輛300台受損；鐵路設施(填土、隧道、鐵橋)共十條路線受損；高速公路完全倒塌1處500公尺、橋面墜落毀損4處；一般道路鋪面受損2,000處、橋面損壞180處、道路破裂損壞300處、因房屋倒塌而導致道路封閉約1,000處；港灣設施共186處之停靠岸有177處不能使用，神戶市港灣地區六甲島與船島等填埋而成之地因液化而受到嚴重毀損。而從整體交通系統嚴重受損情形對災區交通產生之影響如下：

- (一) 災區交通嚴重擁塞。
- 1.震災後各鐵公路系統皆因橋樑崩塌而全面中斷，又因未能立即實施交通管制，而延誤救災工作。
 - 2.輕微受損之國道 2 號經搶修後，指定為救災車輛之專用道路，但由於房屋嚴重倒塌，地區道路大多無法使用，居民使用自用車輛爭相由交叉路口湧入，致使救災專用路線擁塞嚴重。
 - 3.震災後民眾改以步行或利用腳踏車代步者甚多，又幹道兩側房屋倒塌影響人行道之使用，且行人、快慢車爭相利用快車道，致使交通更加擁擠且雜亂無章。
 - 4.鐵路交通中斷，中斷區間實施巴士接駁，但因交通管制未如預期有效，致使功能大受影響，與步行時間大致相同。
- (二) 震災後運輸能力大幅降低。
- 1.阪神高速公路神戶線為沿國道 43 號興建之高架快速道路，因產生嚴重倒塌與落橋，造成兩條幹線交通中斷。
 - 2.灣岸線因西宮港大橋毀損，使得大阪—神戶間僅由受損輕微之國道 2 號勉強維持通行，實際可通行之交通容量僅約為平常之 10%。
 - 3.由於 JR 東海道線、阪神電鐵、阪急電鐵等三條鐵路皆因落橋、高架車站崩塌，致鐵路交通全部中斷。
 - 4.JR 山陽新幹線高架橋崩塌或落橋，致使日本南北交通大動脈中斷，對交通運輸、經濟活動影響難以估計。
- (三) 此次地震對於位處不良地形、軟弱土層及人工造地等區域之橋樑災害顯著。
- (四) 缺乏迅速可靠之交通情報資訊系統，及完善之危機管理制度與高效率之緊急應變能力，以促使能確實有效災後搶救並防止災情擴大。
- (五) 新幹線鐵路橋樑與地下鐵構造，首次在日本產生重大震害。
- (六) 在繁榮的現代化都市，如其鐵公路與維生路線遭受震害毀損，將導致都市機能全面癱瘓。
- (七) 日本過去對耐震技術過於樂觀自信，而此次地震後反被譏為「安全神話」。
- (八) 發生嚴重破壞之橋樑，絕大部分屬 1970 年以前所建，因此震災經驗之累積與耐震技術之進步，對減輕地震災害頗有幫助。

而在阪神大地震期間，建築物損壞情形嚴重、交通嚴重受創的情況下，日本政府在交通方面所採取之相關應變措施如下：

- (一) 確保復建物資管道。
- (二) 隨復建工作之展開，可預期建設臨時相關住宅倒塌瓦礫處理、復建相關器材運送等必然增加，因此解除災害對策基本法之「緊急運輸管道」，自災後一個月隨即依新的道路交通法，制訂「復建物資運輸管道」(禁止無復建標誌車輛通行)及「生活復建相關物資輸送管道」(禁止一般車輛通行)。
- (三) 路上運輸利用貨車業者 JR 載物，鐵道運輸利用運輸事業者進行緊急輸送。

在日本引以為傲之建築技術與地震研究並未降低阪神地區民眾之傷亡，並從日本政府在緊急應變的處置行動遲緩，更令人難以想像；從紀雲曜等曾於「都市危機管理系列研究」中總結日本阪神震災各方意見，可供未來學習之寶貴經驗說明如下：

(一) 對交通總量之控制

控制交通進入市區之方法有許多，其中如 Park & Ride 方式，於災害時應徹底執行，並與人、物搬運之優先順序作連動，且要徵得大多數市民之認同。

(二) 應在削減「緊急通行量」上多下功夫

在緊急狀況下進行「通行量控制」之前，必須先調查都市內物資之庫存，以減少搬運之必要量；目前市面上流行之「便利商店」，因採「零庫存」之經營方式，而從此次震災中得知，對救災並未產生積極之作用。因此，在確保物資適當的庫存不僅有助於災害的應急，也可降低非必要之交通量。

(三) 改善資訊的傳達

災後因停電使得交通控制系統不能使用，有待建立緊急支援系統來解決，並且所要傳遞資訊的內容，是要對所有避難場所均提供指示、導引，或僅告知不能通行的地點、區間即可，應予審慎考量。

(四) 道路機能之特定化

沒有許可證之車輛有時會受到管制，但實際上也發生偽造或不遵守之情事發生，因此在未來防災計畫中，於事前應就各種道路予以機能分類，如「供復原使用之道路」、「產業用道路」、「生活關連道路」等各種

特定目的，並讓市民充分瞭解。

(五) 駕駛人之自覺

緊急情況時能否使駕駛人能自我控制交通運具的使用頻率，盡量能共乘之作法等，終究須賴駕駛人之自覺。另外，對於到災區見學、採訪、拍照、參觀、考察之人群與車潮，應予約束與適度之管制。

4.2 模式構建

4.2.1 交通管制區域劃設

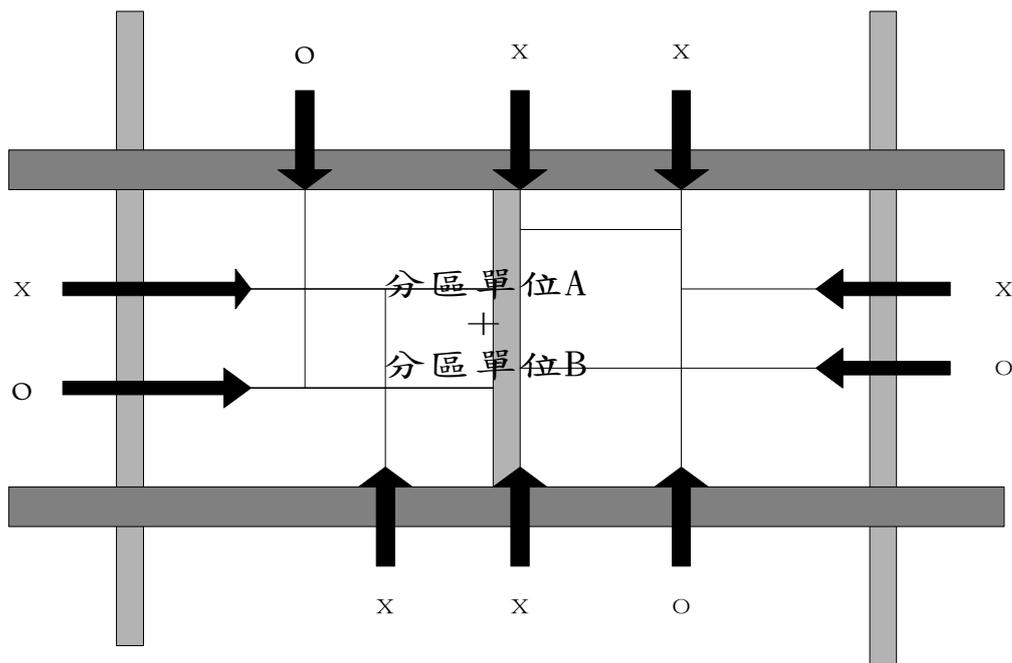
新修訂之「災害防救法」中區域管制，乃只為促使緊急救援與復原活動順暢，以及為緩和災害擴大，並符合交通管制法令要求，而不僅止於影響區域內管制，並應擴及整個影響區域周遭以統一交通管制。區域管制並不限於道路之特定路段或某一特定道路，而是於特定區域內全面性之管制，且必須明確管制範圍與執行方法顯示於突發事件計畫中。

交通管理系統依據路網容量模式必須能夠執行區域管制，經由使用路網容量模式，當給定降低（或損失）之道路容量值，則能估計每一分區或區段（zone or area-block）所產生與集中之最大交通量值，而比較在一般狀況下從此模式中所獲得之交通量值，則可計算每一分區範圍必須管制之交通量。

具體的區域管制方法，在地震災害發生之前必須規劃管制分區之劃分，當地震災害發生之初始混亂期間，欲規劃分區與區域管制則相當困難。如圖 33 所示：依據損害狀況設定「主要幹道」與「次要幹道」，以作為最小分區單位之週界，將使其容易瞭解分區單位間周遭之相互關係。依據路網損害狀況使用最小單位區域範圍之劃分方式，乃一有效執行交通管制的方法，利用區域管制以限制進入管制區交通量，將受實際允許進入車輛所影響。此種區域管制型態如圖 34 所示。



圖 33 區域管制單位示例



○：無管制
X：管制

資料來源：Traffic Management System Against Major Earthquakes

圖 34 區域管制方式示例

4.2.2 兩階段區域管制模式

執行兩階段區域管制所造成之影響，將隨依據駕駛人路線選擇行為或提供動態路線指引範圍等因素而變化，並為簡化而假設駕駛者選擇「最短路徑」方式，且藉由旅行時間為分析依據，則兩階段交通管制模式構建如下：

Upper Problem

$$Max Q = \alpha_1 \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} r_{ij1} Q_{ij} + \alpha_2 \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} r_{ij2} Q_{ij} + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (1 - r_{ij1} - r_{ij2}) Q_{ij}$$

subject to

$$V_l \leq \alpha \cdot C_l$$

$$0 \leq \alpha_1, \alpha_2 \leq 1$$

Lower Problem

$$Min \sum_l \int_0^{V_l} T_l(x) dx$$

subject to

$$\sum_{k \in K_{ij}} q_{kij} = \alpha_1 r_{ij1} Q_{ij} + \alpha_2 r_{ij2} Q_{ij} + (1 - r_{ij1} - r_{ij2}) Q_{ij} \quad \text{for all } i \in N, j \in N$$

$$V_l = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K_{ij}} r_{kijl} \cdot q_{kij} \quad \text{for all } l \in L$$

$$q_k \geq 0 \quad \text{for all } k \in K_{ij}, i \in N, j \in N$$

α_1 ：第一層管制範圍允許進入車輛比率

α_2 ：第二層管制範圍允許進入車輛比率

r_{ij1} ：如果第一層級範圍管制包含 ij 起迄點旅次則為 1 否則為 0。

r_{ij2} ：如果第二層級範圍管制包含 ij 起迄點旅次則為 1 否則為 0。

r_{kijl} ：如果 ij 起迄點旅次中第 k 個路徑包含 l ，則其值為 1 否則為 0。

Q_{ij} ： ij 起迄點旅次需求交通量。

N ：總連結點數。

L ：總路徑數。

K_{ij} ： ij 起迄點旅次需求路徑數。

V_l ：路徑 l 之交通量。

C_l ：路徑 l 之容量。

\sim ：允許之服務水準。

$T_l(x)$ ：路徑 l 之旅行時間函數。

q_k ： ij 起迄點旅次中第 k 個路徑流量。

1. 模式之假設與應用

本研究蒐集災區平常交通資料、災後交通資料，以兩層級管制方式藉由模擬取得災後路網容量資料，而以個人旅次交通需求（旅次目的）為管制依據，且以不同之管制區位、時段求得可允許之服務水準 \sim_n ，據以求得各管制點不同時段、狀態下之交通管制率 μ_1 、 μ_2 。

(1) 基本假設

- 相關緊急救援車輛數已知（對每一管制區位、時段）。
- 每一管制點起迄旅次交通量（ Q_{ij} ）、路徑 l 交通量（ V_l ）、路徑 l 容量（ C_l ）已知。
- 駕駛者旅行時間函數 $T_l(x)$ 已知（假設駕駛者選擇最短路徑方式）。
- 緊急救援中心、緊急路線、管制區域、撤離區域等之設定規劃，會影響不同管制點之管制量（動態最佳化問題）。

以目前之科技與技術，用以精確的預測由自然災害所導致之損失範圍與型態，實質上並不可能；因此，針對特別災害範圍突發事件所造成之損害影響，並透過假設情境利用模擬之交通管理系統以獲取相關數據資料是相當重要的經驗。例如：特定管制區域參數、災害型態、區位、時間、範圍、損害大小與道路交通狀況之模擬，以及設定緊急路線、救援中心、撤離區域、區域管制分區等，必須有效的結合動態路線導引與交通量限制等措施，以落實執行交通管制策略。

不斷重複的模擬績效雖能創造出許多不同狀況之情境，不但能瞭解在緊急狀況下有效之交通管理，而且在真實災害中也能確認可靠與具功能反應之交通管理系統；然如能在未來 ITS 技術完整的構建，將能更精確、迅速的掌握狀況，以適時的應變反應，進而獲得整體系統之最佳績效，因而能有效降低生命、財產及社會成本之損失。

2. 基本變數定義

(1) \sim_{NSI} —狀態：分為三個階段 (Yasunori IIDA 等，1999)

s = 1：車流混亂期 (0 3 天)

s = 2：車流安頓期 (3 7 天)

s = 3：車流穩定期 (1 3 週)

(2) \sim_{NSI} —時間：分為三種時段 (李潔明，2000)

t = 1：非假日白天 (06:00 18:00)

t = 2：午 夜 (00:00 06:00)

t = 3：夜晚與假日 (18:00 24:00、06:00 24:00)

(3) \sim_{NSI} —空間：界定為兩層級震災交通管制。

A. n = 1：整個管制區域 (area)

依據民國 89 年 7 月 19 日公告之「災害防救法」，防災體系分為中央、直轄市、縣 (市) 鄉 (鎮、市) 三級制，基於行政劃分、地理、人文環境、及地震災害之地理分佈現象，並在防救災管理之工作中，地方政府或社區具有重要之地位。因此，以鄉、鎮、市做為災區管制設計範圍，但若全縣為災區，則以縣為規劃管制範圍。

B. n = 2：管制分區 (sub-area)

依據災害範圍、嚴重性以及道路功能、寬度、受損狀況等，將管制區域進一步針對不同嚴重程度劃分為不同之管制分區。

(4) 車種：區分為救援車輛與非救援車輛。

A. 救援車輛：搜救、醫療、消防、工程電信搶修、緊急物資供給、軍警與政府相關車輛。

B. 非救援車輛：非屬上述之車輛。

(5) 人員：(相關救災人員、災民)

(6) 道路分類：(盧文崇，1999)

依現有道路之地理位置與實質空間條件，賦予不同機能而區分為「緊急道路」、「救援輸送道路」、「避難輔助道路」。

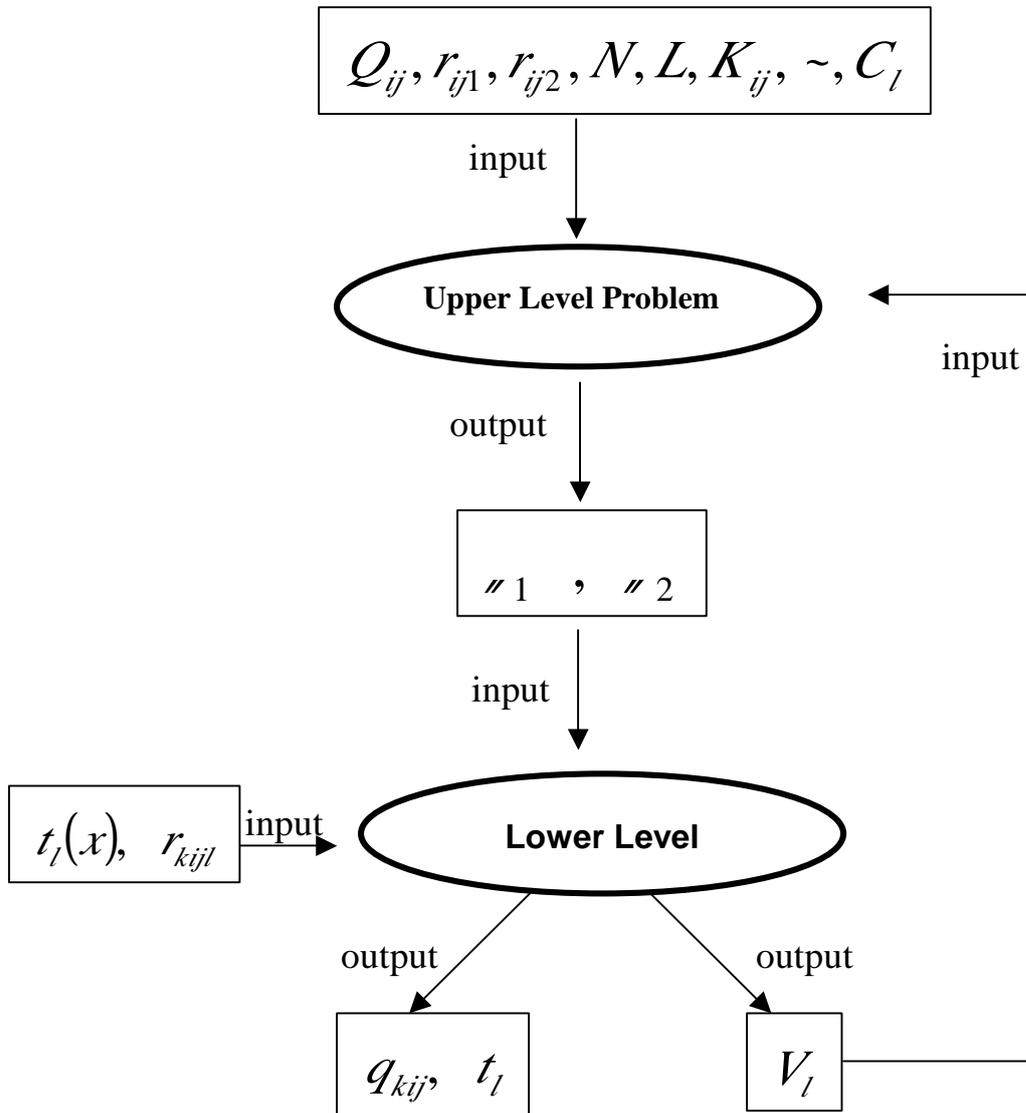
A. 緊急道路：重大災害發生後，對於聯絡災區與非災區之道路系統必須保持暢通，並能與救災分區道路連通。一般而言，緊急道路必須維持 15 公尺之有效寬度，且在災害發生後能保持暢通，必要時並採行交通管

制，以利救災行動之進行。因此，區分為聯外緊急道路與災區內之緊急道路。

B. 救援輸送道路：在災害發生且災情大致底定後，作為救災物資、器材與人員等輸送之道路。一般而言，道路寬度應為 12 公尺以上，並與緊急道路系統會合。救援輸送道路同時擔負消防活動、各防災據點之物資輸送，亦作為避難人員移往收容場所之路徑。因此，除必須維持消防機具與車輛操作之最小空間需求外，所架構之路網必須符合有效消防半徑 (9km) 要求，以避免消防死角之產生。

C. 避難輔助道路：當災害發生時避難場所或各層級防災道路間，無法為救援輸送道路及避難路線含括時，則應增設避難補助道路，以架構完整的防災交通動線系統。

3. 變數關係示意圖



(1) 決策變數

α_1 : 第一層級範圍管制允許進入比率。

α_2 : 第二層級範圍管制允許進入比率。

(2) 可控制變數

N : (總連結點數)

L : (總路徑數)

K_{ij} : (起迄點旅次路徑數)

C_l : (路徑 l 之容量)

\sim : (允許之擁擠水準)

q_k : (起迄點成對旅次中第 k 個路徑流量)

V_l : (路徑 l 之交通量)

(3) 不可控制變數

Q_{ij} : (起迄點成對旅次間之交通量)

$T_l(x)$: (路徑 l 之旅行時間函數)

4. 路網指派模式之應用

A. 均衡指派模式

(1) 使用者最適化均衡指派—管制時段($t = 1, t = 2$)

(2) 系統最適化指派模式—管制時段($t = 3$)

B. 非線性規劃均衡指派模式之假設

(1) 使用者成本最小為路線選擇之準則。

(2) 以旅行時間成本當作路線選擇行為之唯一考慮因素。

(3) 交通分區各起迄點之旅次需求為固定。

(4) 路段擁擠函數為對稱，且路段旅行時間僅為路段交通量之嚴格遞增函數。

(5) 假設路網上只有一種車種。

4.2.3 模式之擴展

「交通管制」隨著地震影響區域與當時交通狀況之嚴重性而變化，除應建立突發性計畫用以建立「區域管制」及「時間管制」以有效管制交通外，並應依震災範圍大小來整合多種運具（如道路與鐵路系統），且由於實體交通設施與系統之運作兩者間均相互影響；因此，基本上應發展成「整合性系統」而非單獨構件，如此方能增進災後交通管理整體之效率。

1. 兼具「社會大眾需求」與「救災需求」觀點

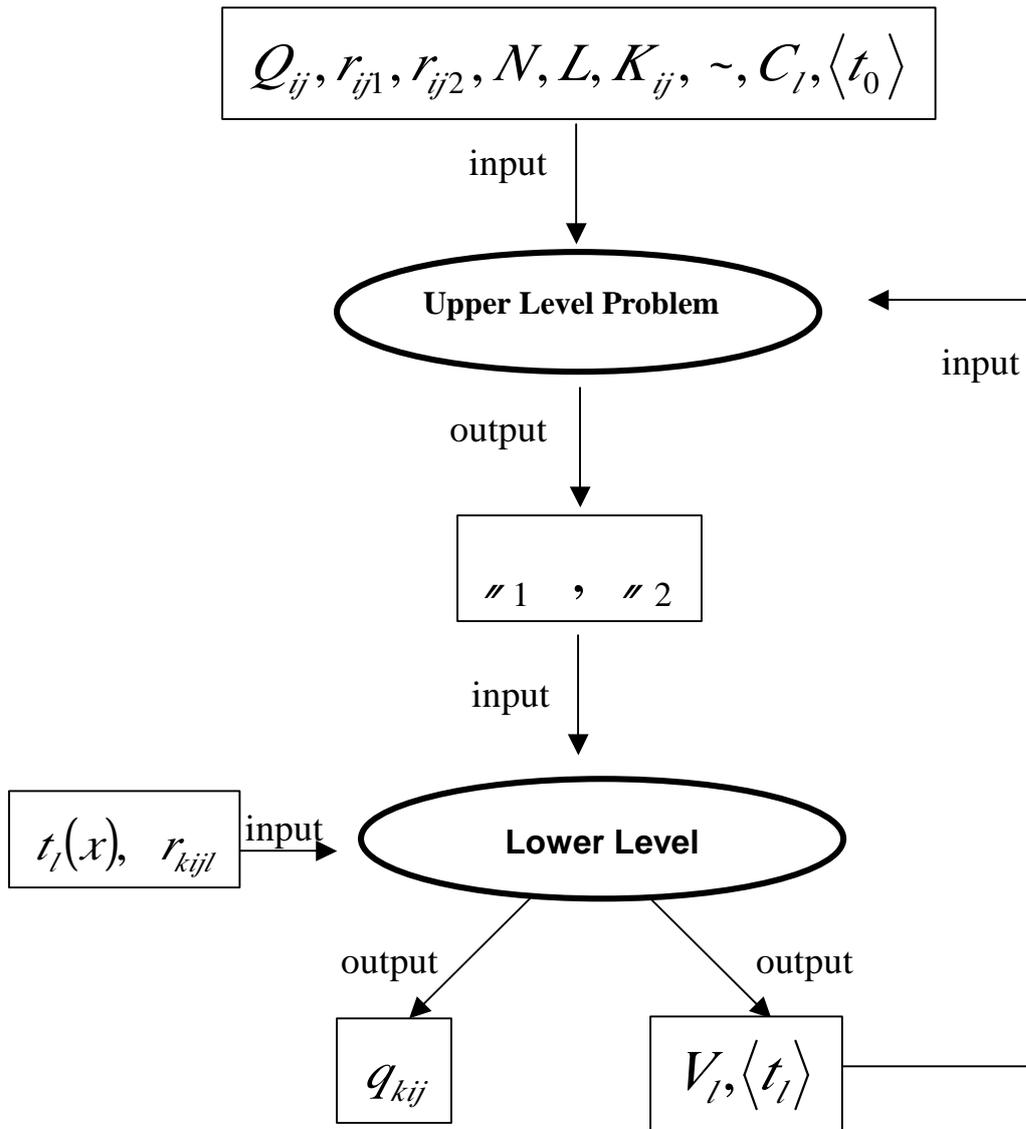
原模式乃以兩層級交通管制模式架構，是以「社會大眾需求」之觀點來建構管制的策略，今以兼具「社會大眾需求」及「救災需求」觀點建構模式時，其概念性架構分析說明如下：

(1) Conceptual Modal

A. Problem Analysis

決策者： 縣市政府交通（警察）局	
內容	數學模式
決策立場 兼具民眾與救災需求觀點	1. 受管制車輛最少（即 $Max Q_{ij}$ ） 2. $Min \text{ Max}_l \left\{ \left(\frac{t_l}{t_o} \right), \forall l \right\}$
上階決策目標 1. 使災區內總車輛數最多。 2. 使得起迄需求路徑上之旅行時間最大化之最小值。	1. <u>目標式</u> ： $Max Q =$ $n_1 \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} r_{ij1} Q_{ij} + n_2 \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} r_{ij2} Q_{ij} + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (1 - r_{ij1} - r_{ij2}) Q_{ij}$ $Min \text{ Max}_l \left\{ \left(\frac{t_l}{t_o} \right), \forall l \right\}$ 2. <u>決策變數</u> ： n_1, n_2, t_l 3. <u>限制條件</u> ： $V_l \leq \frac{t_l}{t_o} \cdot C_l$ $0 \leq n_1, n_2 \leq 1$
下階決策目標 每一路段（link）上之旅行時間最短。	1. <u>目標式</u> ： $Min \sum_l \int_0^{V_l} t_l(x) dx$ 2. <u>限制條件</u> ： (1) $\sum_{k \in K_{ij}} q_{kij} = n_1 r_{ij1} Q_{ij} + n_2 r_{ij2} Q_{ij} + (1 - r_{ij1} - r_{ij2}) Q_{ij}$ $for \text{ all } i \in N, j \in N$ (2) $q_{kij} \geq 0 \text{ for all } k \in K_{ij}, i \in N, j \in N$ (3) $V_l = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K_{ij}} r_{kijl} \cdot q_{kij} \text{ for all } l \in L$

B. 基本概念圖---Basic Structure (變數輸出入關係)



(2) Model structure

A. 基本假設

- (1) 相關緊急救援車輛數已知 (對每一管制區位、時段)。
- (2) 每一管制點起迄旅次交通量 (Q_{ij})、路徑 l 交通量 (V_l)、路徑 l 容量 (C_l) 已知。
- (3) 駕駛者旅行時間函數 $T_l(x)$ 已知 (假設駕駛者選擇最短路徑方式)。
- (4) 以 t_l/t_0 作為滿足救災需求之服務水準。

B. 模式構建

Upper Problem

$$Max \quad \alpha_1 \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} r_{ij1} Q_{ij} + \alpha_2 \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} r_{ij2} Q_{ij} + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (1 - r_{ij1} - r_{ij2}) Q_{ij}$$

$$Min \quad Max_l \left\{ \left(\frac{t_l}{t_0} \right) \quad \forall l \right\}$$

subject to

$$0 \leq \alpha_1, \alpha_2 \leq 1$$

$$V_l \leq \frac{t_l}{t_0} \cdot C_l \quad \text{for all } l \in L$$

Lower Problem

$$Min \quad \sum_l \int_0^{V_l} t_l(x) dx$$

subject to

$$\sum_{k \in K_{ij}} q_{kij} = \alpha_1 r_{ij1} Q_{ij} + \alpha_2 r_{ij2} Q_{ij} + (1 - r_{ij1} - r_{ij2}) Q_{ij} \quad \text{for all } i \in N, j \in N$$

$$V_l = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K_{ij}} r_{kij} q_{kij} \quad \text{for all } l \in L$$

$$q_{kij} \geq 0 \quad \text{for all } k \in K_{ij}, i \in N, j \in N$$

α_1 : 第一層管制範圍允許進入車輛比率 (決策變數)。

α_2 : 第二層管制範圍允許進入車輛比率 (決策變數)。

r_{ij1} : 如果第一階段範圍管制包含 ij 起迄點旅次則為 1 否則為 0。

(已知條件)

r_{ij2} : 如果第二階段範圍管制包含 ij 起迄點旅次則為 1 否則為 0。

(已知條件)

r_{kij} : 如果 ij 起迄點旅次中第 k 個路徑包含 l , 則其值為 1 否則為 0。

(已知條件)

Q_{ij} : ij 起迄點旅次需求交通量 (即進入災區交通量與災區內需求交通量之總和)。(已知條件)

N : 起迄點集合 (nodes)。(已知條件)

L : 路段集合 (links)。(已知條件)

K_{ij} : ij 起迄點旅次需求路徑集合 (旅次分佈)。(由 $T_l(x)$ 決定)

V_l : 路徑 l 之交通量。(決策變數)

C_l : 路徑 l 之容量。(已知條件)

$T_l(x)$: 路徑 l 之旅行時間函數。(已知條件)

q_k : ij 起迄點旅次中第 k 個路徑流量。(由 K_{ij} 決定)

t_0 : ij 起迄路徑上之自由流旅行時間。(已知條件)

t_l : ij 起迄路徑上之旅行時間。(已知條件)

2. 旅次起迄 (O-D) 分佈為變動之未知條件

前述交通管制模式分別以不同之觀點，亦即以「民眾需求」或「兼具民眾與救災需求」來構建交通管制策略模式，兩者均假設其旅次起迄分佈為已知條件狀況，而今假設旅次起迄分佈為變動未知條件時，其概念性模式建構分析說明如下：

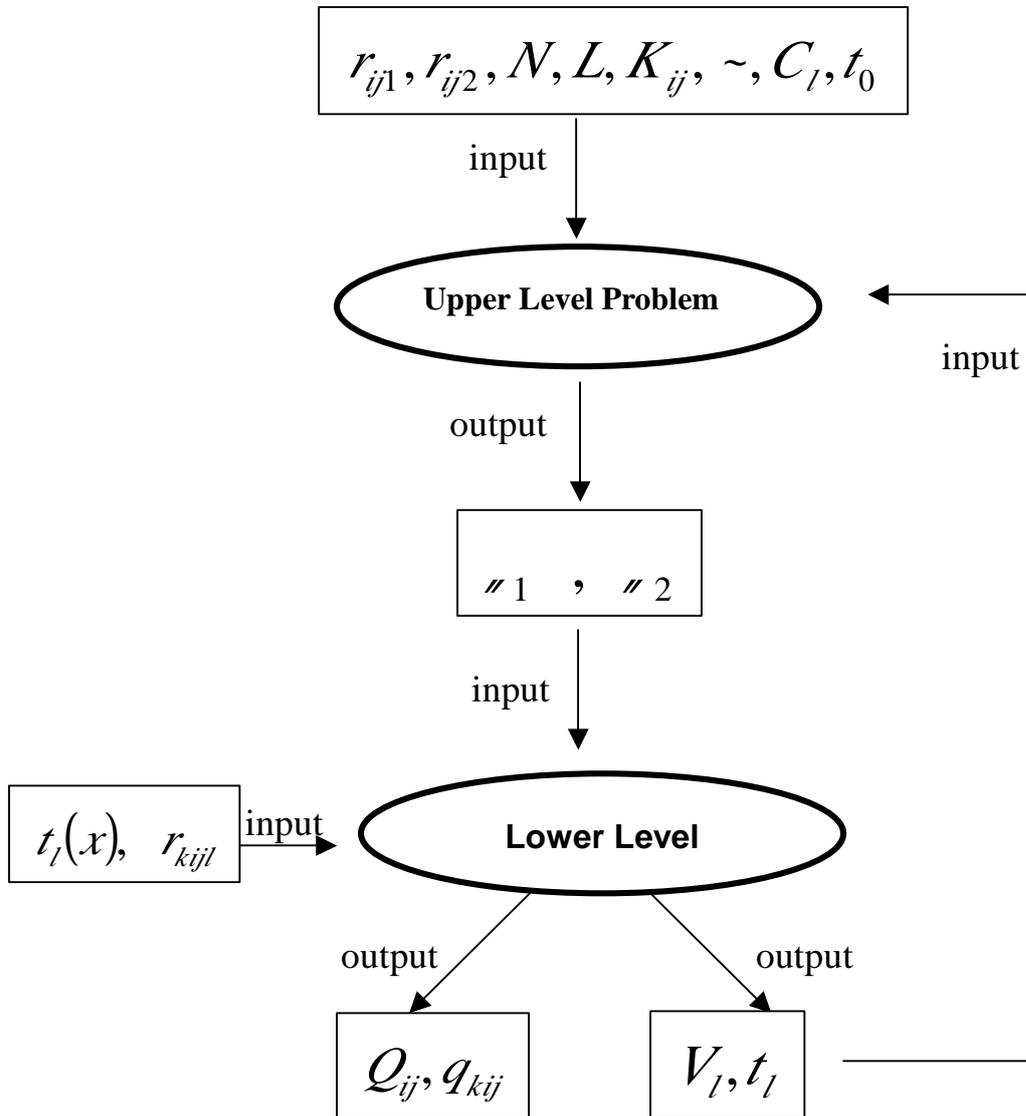
(1) Conceptual Modal

A. Problem Analysis

決策者：		縣市政府交通 (警察) 局
	內容	數學模式
決策 立場	兼具民眾與 救災需求觀 點	<p>1. $Max Q_{ij}$</p> <p>2. $Min \underset{l}{Max} \left\{ \left(\frac{t_l}{t_0} \right), \forall l \right\}$</p>
上階 決策 目標		<p>2. 目標式：</p> $Max Q =$ $n_1 \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} r_{ij1} Q_{ij} + n_2 \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} r_{ij2} Q_{ij} + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (1 - r_{ij1} - r_{ij2}) Q_{ij}$ <p>$Min \underset{l}{Max} \left\{ \left(\frac{t_l}{t_0} \right), \forall l \right\}$</p> <p>2. 限制條件：$V_l \leq \frac{t_l}{t_0} \cdot C_l$</p> $0 \leq n_1, n_2 \leq 1$

下階 決策 目標	1. 每一路段 (link) 上之旅行時間最短。 2. O-D 旅次分佈為變動之未知條件。	1. $Min \sum_l \int_0^{V_l} t_l(x) dx + \frac{1}{r} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (Q_{ij} \ln Q_{ij} - Q_{ij})$ 2. 限制條件： (1) $\sum_{k \in K_{ij}} q_{kij} = r_{ij1} Q_{ij} + r_{ij2} Q_{ij} + (1 - r_{ij1} - r_{ij2}) Q_{ij}$ for all $i \in N, j \in N$ (2) $q_{kij} \geq 0$ for all $k \in K_{ij}, i \in N, j \in N$ (3) $V_l = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K_{ij}} r_{kijl} \cdot q_{kij}$ for all $l \in L$ (4) $\sum_j Q_{ij} = O_i, \forall i$ (5) $\sum_i Q_{ij} = D_j, \forall j$
----------------	--	--

B. 基本概念圖---Basic Structure (變數輸出入關係)



(2) Model structure

A. 基本假設

- (1) 相關緊急救援車輛數已知（對每一管制區位、時段）。
- (2) 每一管制路徑 l 容量 (C_l) 已知。
- (3) 駕駛者旅行時間函數 $T_l(x)$ 已知（假設駕駛者選擇最短路徑方式）。
- (4) 以 $\left(\frac{t_l}{t_0}\right)$ 作為滿足救災需求之服務水準。

B. 模式構建

Upper Problem

$$Max \quad \alpha_1 \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} r_{ij1} Q_{ij} + \alpha_2 \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} r_{ij2} Q_{ij} + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (1 - r_{ij1} - r_{ij2}) Q_{ij}$$

$$Min \quad \max_l \left\{ \left(\frac{t_l}{t_0} \right) \quad \forall l \right\}$$

subject to

$$0 \leq \alpha_1, \alpha_2 \leq 1$$

$$V_l \leq \dots C_l \quad \text{for all } l \in L$$

Lower Problem

$$Min \quad \sum_l \int_0^{V_l} t_l(x) dx + \frac{1}{r} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (Q_{ij} \ln Q_{ij} - Q_{ij})$$

subject to

$$\sum_{k \in K_{ij}} q_{kij} = \alpha_1 r_{ij1} Q_{ij} + \alpha_2 r_{ij2} Q_{ij} + (1 - r_{ij1} - r_{ij2}) Q_{ij} \quad \text{for all } i \in N, j \in N$$

$$V_l = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K_{ij}} r_{kij} q_{kij} \quad \text{for all } l \in L$$

$$\sum_j Q_{ij} = O_i, \quad \forall i$$

$$\sum_i Q_{ij} = D_j, \quad \forall j$$

$$q_{kij} \geq 0 \quad \text{for all } k \in K_{ij}, i \in N, j \in N$$

α_1 : 第一層管制範圍允許進入車輛比率（決策變數）。

α_2 : 第二層管制範圍允許進入車輛比率（決策變數）。

r_{ij1} : 如果第一階段範圍管制包含 ij 起迄點旅次則為 1 否則為 0。

（決策變數）

r_{ij2} : 如果第二階段範圍管制包含 ij 起迄點旅次則為 1 否則為 0。

(決策變數)

r_{kij} ：如果 ij 起迄點旅次中第 k 個路徑包含 l ，則其值為 1 否則為 0。

(決策變數)

Q_{ij} ： ij 起迄點旅次需求交通量（即進入災區交通量與災區內需求交通量之總和）。（已知條件）

N ：起迄點集合（nodes）。（已知條件）

L ：路段集合（links）。（已知條件）

K_{ij} ： ij 起迄點旅次需求路徑集合（旅次分佈）。（由 $T_l(x)$ 決定）

V_l ：路徑 l 之交通量。（決策變數）

C_l ：路徑 l 之容量。（已知條件）

t_0 ： ij 起迄路徑上之自由流旅行時間。（已知條件）

t_l ： ij 起迄路徑上之旅行時間。（已知條件）

$T_l(x)$ ：路徑 l 之旅行時間函數。（已知條件）

q_k ： ij 起迄點旅次中第 k 個路徑流量。（由 K_{ij} 決定）

O_i ： i 地旅次出發數。

D_j ： j 地旅次到達數。

五、結論

本研究共完成災區物流系統、道路搶修任務排程以及交通管制等三部分的規劃分析模式，其中物流系統部分並進行 921 集集大地震災區實例研究，以確認模式之可行性並累積應用經驗，研究成果可提供相關權責單位作為救災與復原工作之參考，未來將陸續進行進一步道路搶修任務排程以及交通管制兩項規劃分析模式之實例研究工作。

參考文獻

1. 施邦築、詹麒璋、吳昆忠、陳志宏 (1999)，「都市震災防災據點與搶救災決策支援系統」，第三屆全國防災學術研討會，第 89-114 頁。
2. 陳亮全 (1999)，「試論防救災體系中專家支援災害房舊的功能與方式」，第三屆全國防災學術研討會，第 115-130 頁。

3. 簡賢文、張淑慧、張仕獻 (1999),「地震災害避難行為特性之調查研究」, 第三屆全國防災學術研討會, 第 57-87 頁。
4. 台中縣警察局 (1999), 九二一集集大地震—台中縣警察局搶救記事。
5. 林楨家、馮正民 (2001),「土地使用與運輸路網整合設計之二階規劃模式」, 運輸計劃季刊, 第 30 卷, 第 4 期, 第 733-762 頁。
6. 陳郁文 (1999),「模糊多目標組合規劃演算法應用於提升運輸系統災後應變效率之研究」, 國立交通大學交通運輸研究所博士論文。
7. 飯田恭敬等 (1998 a),「道路交通管理系統」, 地震災害時之道路交通管理研究—以阪神、淡路大地震的實際調查為基準, 財團法人國際交通安全學會。
8. 飯田恭敬等 (1998 b),「緊急道路的指定系統」, 地震災害時之道路交通管理研究—以阪神、淡路大地震的實際調查為基準, 財團法人國際交通安全學會。
9. 內政部建築研究所 (1999),「921 集集震災都市防災調查研究報告」。
10. 國家地震工程研究中心(2000),「921 大地震震災調查總結報告」。
11. 牛頓出版社(1999),「地震大解剖」。
12. 呂獎慧(2000),「都市震災救災路線選擇模式之構建」, 國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
13. 林大煜(1999),「交通設施災損緊急搶救復建體制」, 921 大地震災後交通設施強化與重建研討會論文集, 第 125-130 頁。
14. 洪偉堯(2000),「震災危機應變對策最適方案之研究」, 國立成功大學工業管理學系碩士論文。
15. 孫志鴻、王聖銘、詹任堅、謝奇峰(1998),「防救災決策支援系統之研發」, 海峽兩岸空間資訊與防災科技研究報告。
16. 陳志宏(1999),「搶救災相關資料庫之建立與應用」, 國立台北科技大學土木與防災技術研究所碩士論文。
17. 陳春益、郭振峰(1994),「建立物流中心區位模式之研究」, 第 23 卷, 第 3 期, 第 305-326 頁。
18. 馮正民(1999),「災區交通維持與交通資訊」, 921 大地震災後交通設施強化與重建研討會論文集, 第 131-137 頁。
19. 熊光華(2000^a),「防救災體系評估之研究」, 八十八年度防災專案計畫成果研

- 討會，第 13-1~13-25 頁。
20. 黃淑媛(2000)，「地震救災物資管理線上系統的架構與設計」，國立成功大學企業管理學系碩士論文。
 21. 董瑞生(1986)，「決策支援系統在緊急事故管理之應用」，國立政治大學企業管理研究所碩士論文。
 22. 劉怡萱(1999)，「地理資訊系統之網路分析於都會區災害防救之應用」，國立台灣大學農業工程學研究所碩士論文。
 23. 蔡育忠(2000)，「地區（鄉、鎮、市）防災計畫災害管理策略流程之研究」，國立台北科技大學土木與防災技術研究所碩士論文。
 24. 蔡輝昇(1985)，「配送中心位置和運輸路線問題聯立最佳解之研究」，運輸計劃季刊，第 14 卷，第 1 期，第 117~128 頁。
 25. 鄭欣蓉(2000)，「賑災物資配送系統之最適規劃」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文。
 26. 顏應明(1987)，「路網疏散時間敏感度分析及災後救援路線之研究」，國立交通大學交通運輸工程研究所碩士論文。
 27. 中華民國都市計劃學會 (1997)，台北市都市計畫防災系統之規劃，台北市政府都市發展局委託研究案成果報告。
 28. 國家地震工程研究中心 (1999)，集集地震初步勘災報告。
 29. 馮正民 (1999)，「災區交通維持與交通資訊」，九二一地震災後交通設施強化與重建研討會。
 30. 內政部建築研究所 (1999)，「九二一震災都市防災調查研究報告（總結報告）」。
 31. 內政部建築研究所 (1999)，「九二一集集大地震建築物震害調查（初步報告）」。
 32. 內政部消防署 (1999)，第四屆全國防災學術研討會總結報告。
 33. 台灣省文獻委員會 (2000)，九二一集集大地震救災記實（上）—附一〇二二嘉義大地震。
 34. 台灣省文獻委員會 (2000)，九二一集集大地震救災記實（下）—附一〇二二嘉義大地震。
 35. 呂獎慧 (2000)，「都市震災救災路線選擇模式之構建」，國立台灣大學土木研

究所碩士論文。

36. 林士傑 (2000),「高速公路旅行時間預測模式之研究—類神經網路之應用」, 國立成功大學交通管理學系碩士論文。
37. 災區重建委員會、國家地震研究中心 (2000), 九二一大地震震災調查總結報告。
38. 國立成功大學都市計劃系 (2001),「南投縣綜合發展計畫—受災部門重建計畫」, 南投縣政府委託。
39. 侯鵬曦 (2001),「震災時都市道路系統運輸功能評估與防災路網之研擬」, 國立交通大學交通運輸研究所碩士論文。
40. 陳信宇 (2001),「震災物流系統之決策模式」, 國立交通大學交通運輸研究所碩士論文。
41. 連振盛 (2001),「都市地區地震防救災交通系統之交通管制緊急應變計畫之研究」, 國立交通大學運輸工程與管理學系碩士論文。
42. 行政院九二一震災災後重建推動委員會 (2002), 重建區重建總檢討會議—總檢討及分組檢討報告。
43. 國家科學發展委員會 (2001),「都市地區地震防災交通系統之研究」, 國科會工程處八十九學年度期中研究成果研討會。
44. 熊光華(2000),「防救災體系與計畫之資料蒐集及資料庫建立之研究」, 八十八年度防災專案計畫成果研討會, 第 1-1~1-25 頁。
45. 施鴻志(2000),「防救災改善對策之研擬」, 八十八年度防災專案計畫成果研討會, 第 4-1~4-10 頁。
46. 蔡博文(2000),「防救災緊急應變系統建立之研究」, 八十八年度防災專案計畫成果研討會, 第 5-1~5-9 頁。
47. 孫志鴻(2000),「防救災決策支援系統之研究」, 八十八年度防災專案計畫成果研討會, 第 9-1~9-19 頁。
48. Bakuli, D.L. and Smith, J.M. (1996), “Resource allocation in state-dependent emergency evacuation networks”, *European journal of operational research*, Vol.89, pp. 543-555.
49. Chang, S.E. and N. Nojima. (2001),” Measuring post-disaster transportation system performance: the 1995 Kobe earthquake in comparative perspective,” *Transportation Research Part A* 35, pp. 475-494.

50. Deakin, A.K. (1997),” Factoring motorists’ responses to the 1994 northridge earthquake,” *Comput., Environ. And Urban Systems*, Vol. 21, No. 5, pp. 335-357.
51. FEMA (1996), *Guide for All-Hazard Emergency Operations Planning-State and Local Guide(SLG-101)*.
52. FEMA (1998), *The Emergency Program Manager*.
53. Fiedrich, F., F. Gehbauer, U. Rickers (2000),” Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters,” *Safety Science*, 35, pp. 41-57.
54. Fiedrich, F., Gehbauer, F. and Rickers, U. (2000), “Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters”, *Safety science*, Vol. 35,pp. 41-57.
55. Fisher, M. L. and R. Jaikumar, ” A Generalized Assignment Heuristic for Vehicle Routing” , *Networks*, 11:109-124,1984.
56. Haghani, Ali and Oh, S. (1996), “Formulation and Solution of a Multi-Commodity,Multi-Modal Network Flow Model for Disaster Relief Operations”, *Transportation research-A*, Vol. 30, No. 3, pp. 231-250.
57. IATSS (International association of traffic and safety sciences) (1998) ,「阪神・淡路大震災實態調査與震災交通特性之研究」。
58. Iida, Y. (1999), “Basic concepts and future directions of road network reliability analysis”, *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 33, No. 2, pp. 125-134.
59. Iida, Y. (2000), “Traffic management system against major earthquakes”, *Journal of International Association of Traffic and Safety Sciences*, Vol. 24, No. 2, pp. 6-17.
60. Iida, Y., F. Kurauchi, H. Shimada (2000),” Traffic management system against major earthquakes,” *IATSS Research*, Vol. 24, No. 2.
61. Kim, J. and Gen, M. (2000), “A genetic algorithm for solving bicriteria network topology design problems”, *日本模糊學會誌*, Vol. 12, No. 1, pp. 43-54.
62. Lee, E.S. (2001),” Fuzzy multiple level programming,” *Applied Mathematics and Computation*, 120, pp. 79-90.
63. Mirchandani, P.B. (1976),“ Shortest distance and reliability of probability networks,” *Computer and Operation Research*, Vol. 3, pp. 347-355.
64. Nahman, J. (1997),“ Fuzzy logic based network reliability evaluation”,

Microelectron Reliability, Vol. 37, No. 8, pp. 1161-1164.

65. Selcuk, A.S. and Yucemen, M.S. (1999),“ Reliability of lifeline networks under seismic hazard,” *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 65, pp. 213-227.
66. Shin, H.S. and S. Lee. (1999),” Fuzzy multi-level minimum cost flow problems,” *Fuzzy Sets and Systems*, 107, pp. 159-176.
67. Shiraishil, N. and H. Furuta (1998),” Reliability assessment and assurance of infrastructure systems,” *Computers & Structures*, 67, pp. 147-155.
68. Zografos, K.G., Vasilakis, G.M. and Giannouli, I.M. (2000),“ Methodological framework for developing decision support systems (DSS) for hazardous materials emergency response operations,” *Journal of hazardous materials*, Vol. 71, pp. 503-521.