

第七章 棋盤式路網特性分析

7.1 測試路網

考量情境組合所能展現的精緻度、以及運作時間的可行性等因素，本研究採以7*7之正方棋盤路網作為測試路網範例，來探討各種路網設計的效果，路網中點與點之間間隔採取5無因次單位。路網建構之方法同樣採取邊集合表示法，如圖7.1。邊集合中的每一邊都具有四種連結關係，包含了每一邊的兩個端點關係，以及為了掃描邊集合而存在與前、後邊元素的關係。然而另一方面，點集合中的每一個點，關係數將大於邊的關係數。由於本研究採用之路網皆為二邊連通圖，因此每一點至少存在與兩個邊以上的關係，以及為了掃描點集合而存在與前、後點元素的關係。

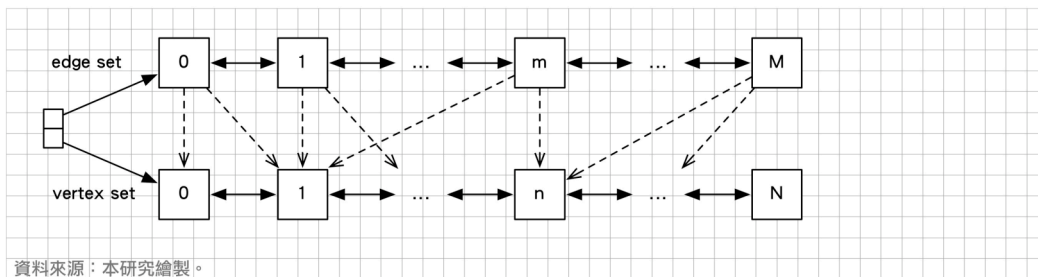


圖7.1 邊集合表示法

以下範例為測試7*7正方棋盤測試路網的點、邊資料；此為理論路網，而針對實際路網則可採用實際座標。測試路網中，點與點之間採用等間距5無因次單位。構成邊集合表示法的點、邊資料如表7.1、表7.2所示。其中點資料包含三種主要屬性。表7.1中顯示，標籤為點的識別方法，並用以指認該點在路網中的唯一性；第四象限為正的 X、Y 座標，用以圖形化於地圖之中。表7.2中顯示，標籤為邊的辨識方法，並用以指認該邊在路網中的唯一性；邊兩端點的點標籤，用以建立該邊。

表7.1 棋盤式測試路網之點資料

| 點標籤 | X 座標 | Y 座標 | 點標籤 | X 座標 | Y 座標 | 點標籤 | X 座標 | Y 座標 |
|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
| 0 | 5 | 5 | 17 | 20 | 15 | 34 | 35 | 25 |
| 1 | 10 | 5 | 18 | 25 | 15 | 35 | 5 | 30 |
| 2 | 15 | 5 | 19 | 30 | 15 | 36 | 10 | 30 |
| 3 | 20 | 5 | 20 | 35 | 15 | 37 | 15 | 30 |
| 4 | 25 | 5 | 21 | 5 | 20 | 38 | 20 | 30 |
| 5 | 30 | 5 | 22 | 10 | 20 | 39 | 25 | 30 |
| 6 | 35 | 5 | 23 | 15 | 20 | 40 | 30 | 30 |
| 7 | 5 | 10 | 24 | 20 | 20 | 41 | 35 | 30 |
| 8 | 10 | 10 | 25 | 25 | 20 | 42 | 5 | 35 |
| 9 | 15 | 10 | 26 | 30 | 20 | 43 | 10 | 35 |
| 10 | 20 | 10 | 27 | 35 | 20 | 44 | 15 | 35 |
| 11 | 25 | 10 | 28 | 5 | 25 | 45 | 20 | 35 |
| 12 | 30 | 10 | 29 | 10 | 25 | 46 | 25 | 35 |

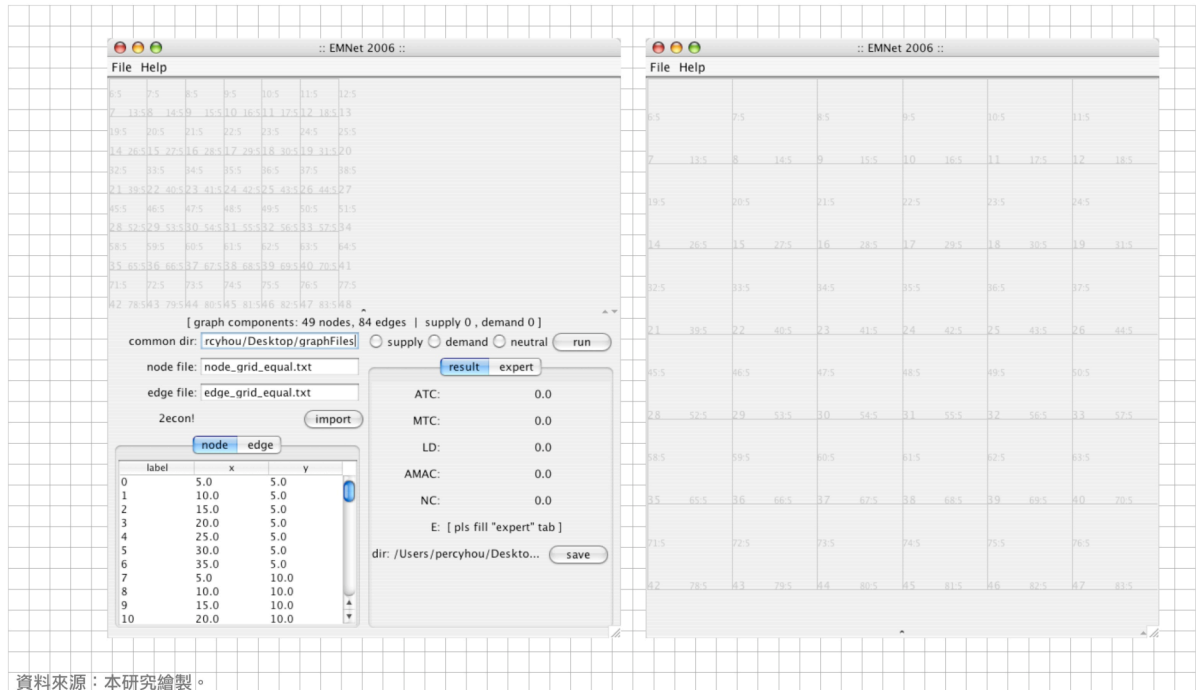
| | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 13 | 35 | 10 | 30 | 15 | 25 | 47 | 30 | 35 |
| 14 | 5 | 15 | 31 | 20 | 25 | 48 | 35 | 35 |
| 15 | 10 | 15 | 32 | 25 | 25 | | | |
| 16 | 15 | 15 | 33 | 30 | 25 | | | |

表7.2 棋盤式測試路網之邊資料

| 邊標籤 | 點標籤1 | 點標籤2 | 邊標籤 | 點標籤1 | 點標籤2 | 邊標籤 | 點標籤1 | 點標籤2 |
|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
| 0 | 0 | 1 | 28 | 16 | 17 | 56 | 32 | 33 |
| 1 | 1 | 2 | 29 | 17 | 18 | 57 | 33 | 34 |
| 2 | 2 | 3 | 30 | 18 | 19 | 58 | 28 | 35 |
| 3 | 3 | 4 | 31 | 19 | 20 | 59 | 29 | 36 |
| 4 | 4 | 5 | 32 | 14 | 21 | 60 | 30 | 37 |
| 5 | 5 | 6 | 33 | 15 | 22 | 61 | 31 | 38 |
| 6 | 0 | 7 | 34 | 16 | 23 | 62 | 32 | 39 |
| 7 | 1 | 8 | 35 | 17 | 24 | 63 | 33 | 40 |
| 8 | 2 | 9 | 36 | 18 | 25 | 64 | 34 | 41 |
| 9 | 3 | 10 | 37 | 19 | 26 | 65 | 35 | 36 |
| 10 | 4 | 11 | 38 | 20 | 27 | 66 | 36 | 37 |
| 11 | 5 | 12 | 39 | 21 | 22 | 67 | 37 | 38 |
| 12 | 6 | 13 | 40 | 22 | 23 | 68 | 38 | 39 |
| 13 | 7 | 8 | 41 | 23 | 24 | 69 | 39 | 40 |
| 14 | 8 | 9 | 42 | 24 | 25 | 70 | 40 | 41 |
| 15 | 9 | 10 | 43 | 25 | 26 | 71 | 35 | 42 |
| 16 | 10 | 11 | 44 | 26 | 27 | 72 | 36 | 43 |
| 17 | 11 | 12 | 45 | 21 | 28 | 73 | 37 | 44 |
| 18 | 12 | 13 | 46 | 22 | 29 | 74 | 38 | 45 |
| 19 | 7 | 14 | 47 | 23 | 30 | 75 | 39 | 46 |
| 20 | 8 | 15 | 48 | 24 | 31 | 76 | 40 | 47 |
| 21 | 9 | 16 | 49 | 25 | 32 | 77 | 41 | 48 |
| 22 | 10 | 17 | 50 | 26 | 33 | 78 | 42 | 43 |
| 23 | 11 | 18 | 51 | 27 | 34 | 79 | 43 | 44 |
| 24 | 12 | 19 | 52 | 28 | 29 | 80 | 44 | 45 |
| 25 | 13 | 20 | 53 | 29 | 30 | 81 | 45 | 46 |
| 26 | 14 | 15 | 54 | 30 | 31 | 82 | 46 | 47 |
| 27 | 15 | 16 | 55 | 31 | 32 | 83 | 47 | 48 |

7.2 供需點情境設計

由於實際路網之中，需求點位置不易預測；因此，在測試路網中，則假設需求點平均分布在路網之中，並以，即需求點所位在點標籤為0、3、6、21、24、27、42、45、與48之位置。表7.3為雙供給點之情境設計配置；採用雙供給點設計為互援路網之最低設計條件，因而採取之；區位設計因測試路網方正特性，可簡化雙供給點配置關係，實際組合情形，考量路網之對稱性，刪除重複之相對組合，篩選出總共136種不同之配置（詳見附錄一、附錄二）。圖7.2為棋盤式路網之樣態。



資料來源：本研究繪製。

圖7.2 棋盤式測試路網

表7.3 雙供給點情境設計

| 供給1 | 供給2 | 供給1 | 供給2 | 供給1 | 供給2 | 供給1 | 供給2 | 供給1 | 供給2 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 40 | 8 | 7 | 10 | 7 | 41 | 14 | 8 | 14 | 43 |
| 40 | 15 | 7 | 11 | 7 | 43 | 14 | 9 | 14 | 44 |
| 40 | 16 | 7 | 12 | 7 | 44 | 14 | 11 | 14 | 46 |
| 40 | 29 | 7 | 13 | 7 | 46 | 14 | 12 | 14 | 47 |
| 40 | 36 | 7 | 14 | 7 | 47 | 14 | 13 | 17 | 1 |
| 40 | 30 | 7 | 15 | 10 | 1 | 14 | 15 | 17 | 2 |
| 40 | 37 | 7 | 16 | 10 | 2 | 14 | 16 | 17 | 8 |
| 40 | 32 | 7 | 17 | 10 | 8 | 14 | 18 | 17 | 9 |
| 40 | 39 | 7 | 18 | 10 | 9 | 14 | 19 | 17 | 10 |
| 33 | 9 | 7 | 19 | 10 | 14 | 14 | 20 | 17 | 14 |
| 33 | 11 | 7 | 20 | 10 | 15 | 14 | 22 | 17 | 15 |
| 33 | 15 | 7 | 22 | 10 | 16 | 14 | 23 | 17 | 16 |
| 33 | 16 | 7 | 23 | 10 | 22 | 14 | 25 | 17 | 22 |
| 33 | 18 | 7 | 25 | 10 | 23 | 14 | 26 | 17 | 23 |
| 33 | 19 | 7 | 26 | 10 | 28 | 14 | 28 | 17 | 28 |
| 33 | 29 | 7 | 28 | 10 | 29 | 14 | 29 | 17 | 29 |
| 33 | 30 | 7 | 29 | 10 | 30 | 14 | 30 | 17 | 30 |
| 33 | 32 | 7 | 30 | 10 | 31 | 14 | 31 | 17 | 31 |
| 33 | 37 | 7 | 31 | 10 | 35 | 14 | 32 | 17 | 35 |
| 33 | 39 | 7 | 32 | 10 | 36 | 14 | 33 | 17 | 36 |
| 32 | 16 | 7 | 33 | 10 | 37 | 14 | 34 | 17 | 37 |
| 32 | 18 | 7 | 34 | 10 | 38 | 14 | 35 | 17 | 38 |
| 7 | 1 | 7 | 35 | 10 | 43 | 14 | 36 | 17 | 43 |
| 7 | 2 | 7 | 36 | 10 | 44 | 14 | 37 | 17 | 44 |
| 7 | 4 | 7 | 37 | 14 | 1 | 14 | 38 | | |
| 7 | 5 | 7 | 38 | 14 | 2 | 14 | 39 | | |
| 7 | 8 | 7 | 39 | 14 | 4 | 14 | 40 | | |
| 7 | 9 | 7 | 40 | 14 | 5 | 14 | 41 | | |

7.3 測試路網之設計結果

本研究將雙供給設計情境之組合，將平均旅行成本、最大旅行成本、最大繞路成本、平均互援成本、路網成本趨勢，分別繪製如圖7.3、圖7.4、圖7.5、圖7.6、及圖7.7，由卡式（Cartesian）系統X軸表示供給點至路網中心點最短路徑之於總路網成本之比率，Y軸表示雙供給點之間的最短路徑之於總路網成本之比率，分別以此供給點至中心點的距離、以及彼此之間遠近的兩者關係，來共同表示出救援單位在整體路網之中的離散程度；Z軸單位與兩橫座標單位相同，分別為各指標所代表之意涵。

從圖7.3的趨勢可發現，平均旅行成本會隨著雙供給點之間的距離逐漸增加而遞減，這即表示相距愈遠的供給點配置，可使供給點到達各需求點的總成本減少，因此供給點分散，對於平均散布的需求點區域，相對而言更為快速。此外，平均旅行成本在雙供給點彼此距離近、而與中心點距離遠時，與彼此距離近、距中心點也近的情況相比，有增加的趨勢。

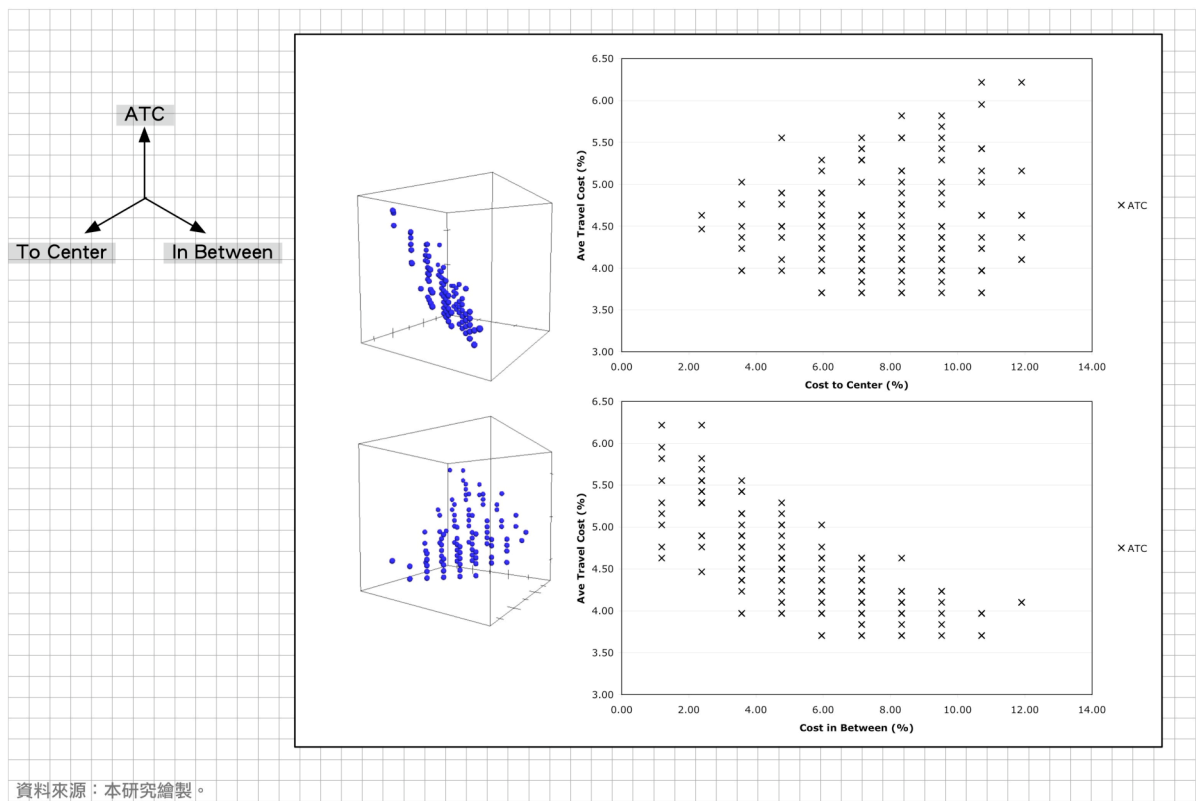


圖7.3 ATC之趨勢

圖7.4顯示，雖然最大旅行成本也有隨著雙供給點之間的距離增大而減少的趨勢，然而最佳的旅行成本在供給點相距5.95%時就已經出現，且供給點之間距離持續增加的情況下，仍有最佳的旅行成本的路網配置方案，分布較廣、趨勢較不明顯；而當兩供給點之間的距離達到原路網成本的10.71%左右（區域邊長的1.5倍）時，最大旅行成本減少趨勢漸緩，這顯示出此二供給點過於分散，已至整體路網的邊緣地帶，相對所有需求點而言，位處偏遠，反而容易產生某些需求點與供給點之間距離增加的可能性。而圖7.3中，平均旅行成本在距離達到10.71%（區域邊長的1.5倍）時，也同樣發生遞增的現象，顯示出雙供給點位處於路網邊界時，即使彼此距離分散，卻反而無法達到服務供給點最佳的位置。而由於對於救災旅次而言，最大旅行成本反應出某些供給地點的救災風險，因而在路網設計過程之中，應該特別關注。

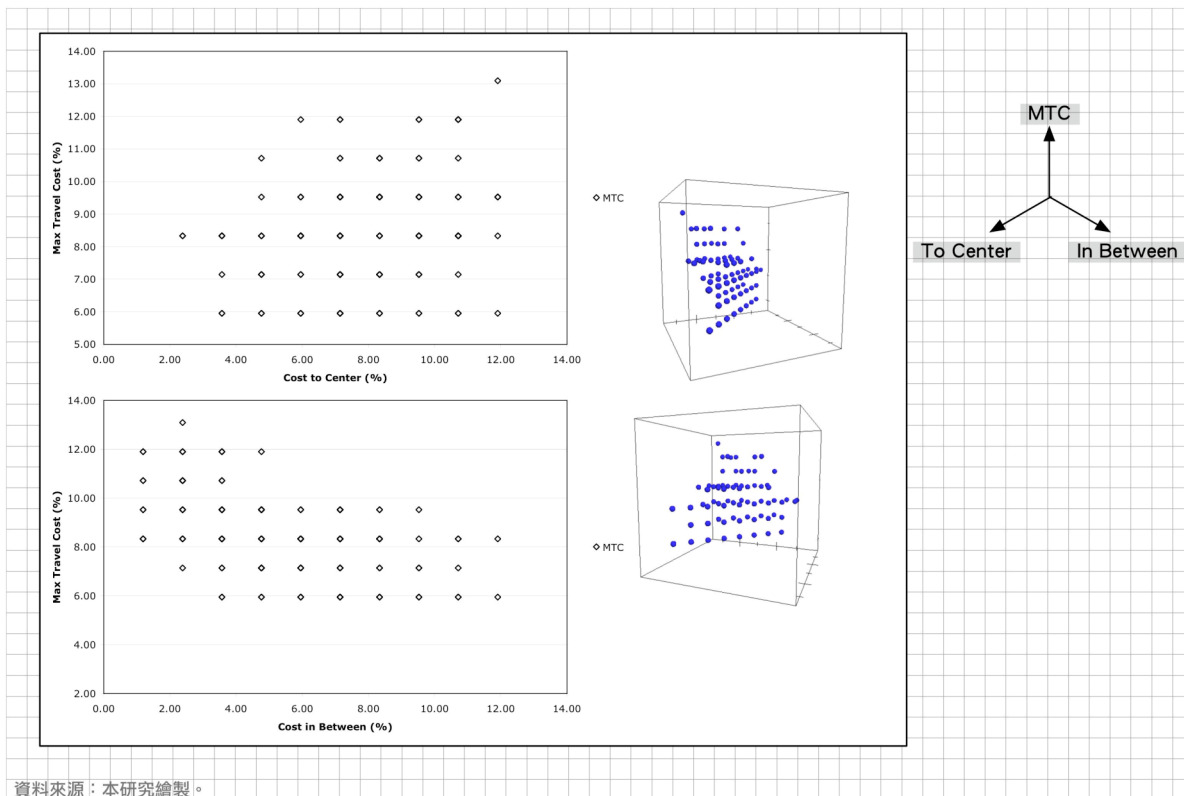
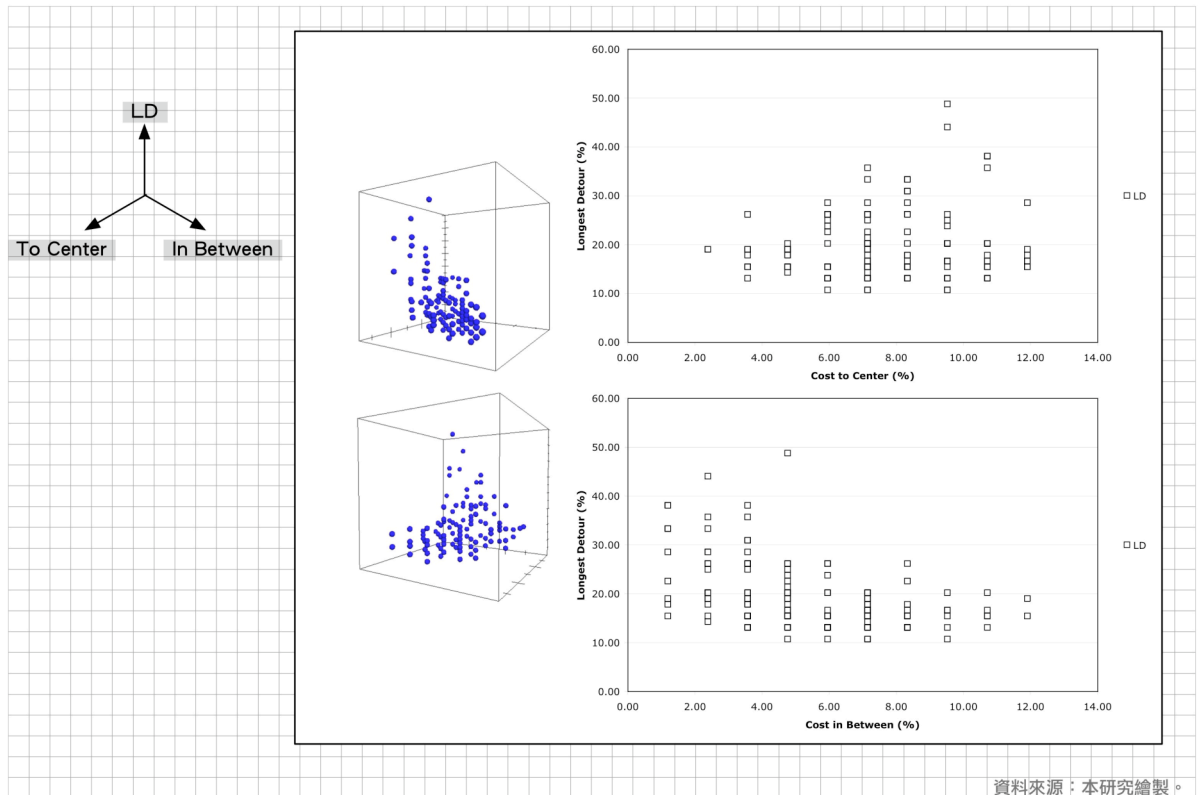


圖7.4 MTC之趨勢

圖7.5顯示雙供給組合設計下，繞路成本的變化趨勢。繞路成本隨著二供給點兩者之間位置的距離增加至4.76%時，該指標有整體驟降的現象，爾後減少的幅度則較不顯著。此顯示出，繞路成本之降低在二供給配置距離相近時，有很高的效果，隨著兩者供給位置逐漸擴大，雖仍可微幅降低繞路成本，卻沒有很明顯的效益。而在兩供給點位置相近時，散亂程度較高，而無論兩供給點距離中心點之遠近，變異的程度都很高，顯示出繞路成本與供給點距離中心點之遠近較沒有明顯關係，而與二供給點彼此之間的距離比較有關。



資料來源：本研究繪製。

圖7.5 LD之趨勢

圖7.6顯示出互援成本與二供給點之間清楚的脈絡關係，隨著供給點之間的距離增加，互援成本呈現正相關的穩定增長。互援路網乃透過備援供給點連結至不同區域的需求點，以達成路網供給連結度之功能；因此，互援成本會隨著供給點遠離其他需求區域，而逐漸增加。同樣的趨勢也發生在供給點距離中心位置，距中心點之距離（ X ）、供給點之間的距離（ Y ）與互援成本指標（ Z ）之間，具有 $Z = c - aX - bY$ 之勢，顯示相同互援成本下，二供給點彼此距離以及距中心點距離，具有負向關係。

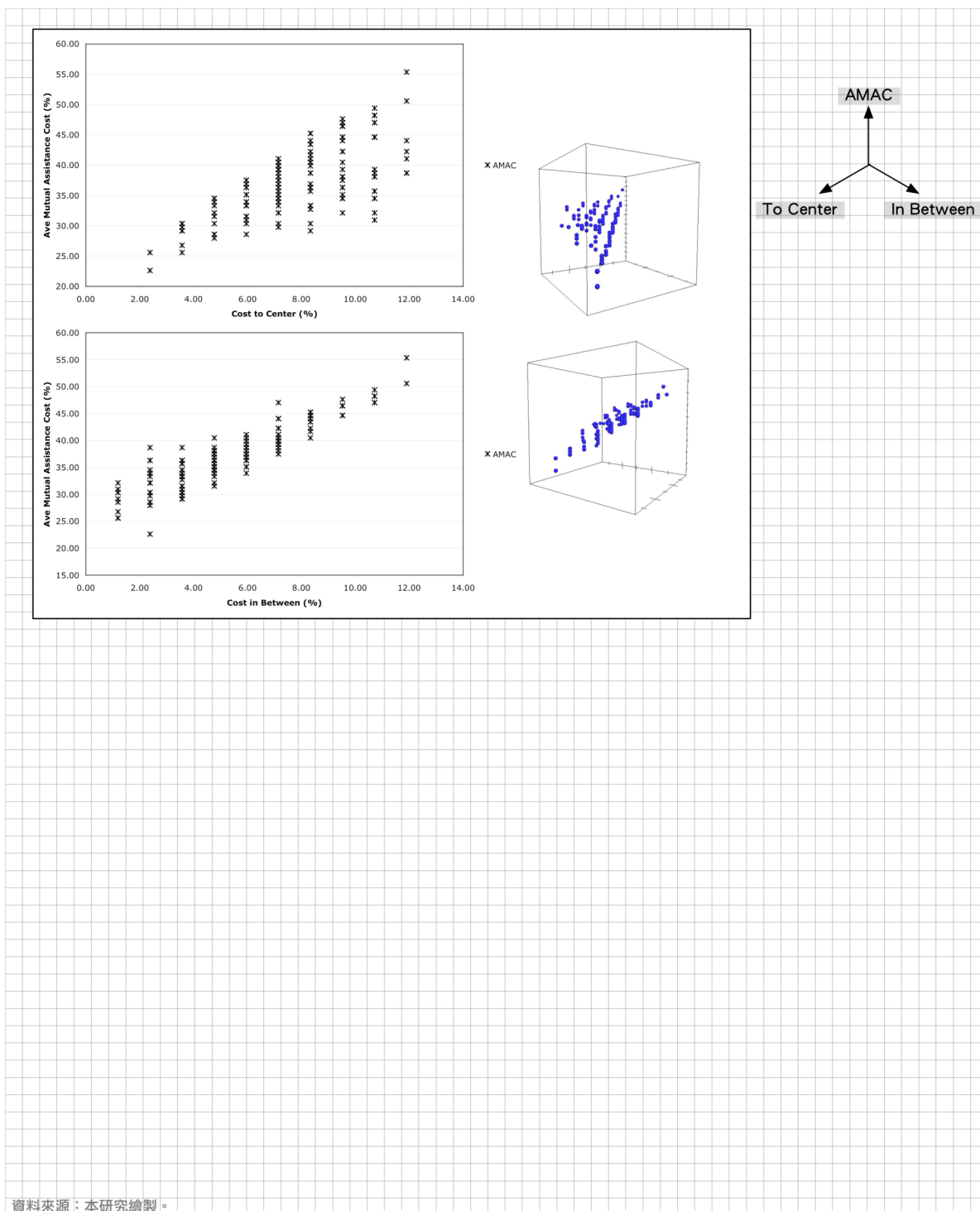


圖7.6 AMAC之趨勢

圖7.7顯示，路網成本隨著二供給點之間距離的增加，漸有穩定減小並收斂之趨勢。這樣的結果，可以顯示出當兩個供給點之間距離較近時，兩者配置位置之組合對路網結構影響顯著，因此無法輕易確認比較出優劣，但隨著二供給點相距較遠時，供給點彼此之間配置關係對路網的影響就逐漸減少。因此，若要獲得節省的路網結構，在供給點設置距離較近時，應測試並考量多種位置的組合，才能得到較好的結果。

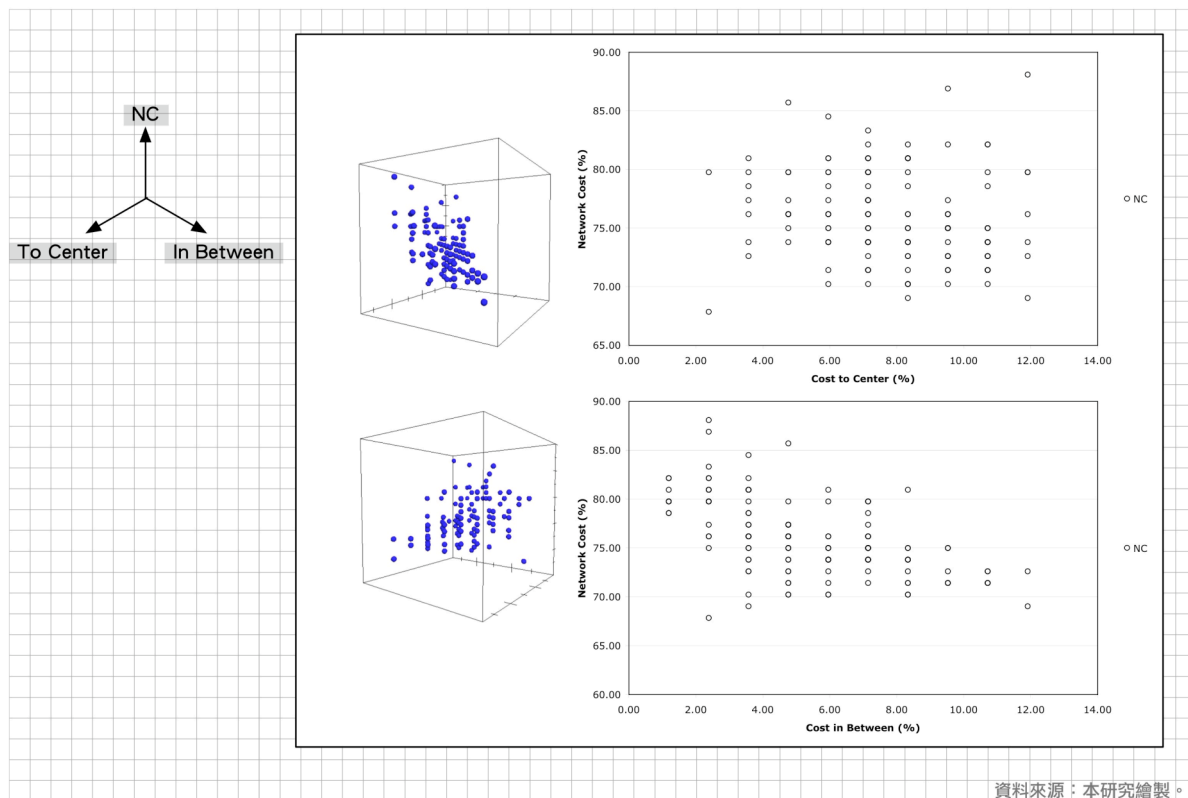


圖7.7 NC之趨勢

綜合以上之觀察發現，隨著供給點相距愈遠，平均旅行成本及最大旅行成本逐漸降低，而繞路成本也會隨之下降；平均互援時間隨著雙供給點之間的距離增加而遞增，兩者之間有正相關的影響，此乃由於平均互援時間為量測不同區內所有需求點至區外供給點的總成本；而供給點乃為影響區域所在的主要因素，最短路徑森林之路網結構會使得需求點儘可能的趨近其供給點，因此，供給點也相對能代表眾多需求點之所在，所以兩供給點之間的距離增加，也就某種程度表示了平均互援時間的增加。

此外，在二供給點之間的距離達到5.95%（此測試正方路網邊長的六分之五）以後，最大旅行成本與繞路成本都有趨向變化減小的勢態，由於供給點假設均勻分布該路網之中，因此幾何特性應該為造成路網特性的因素之一；至於平均旅行成本、路網成本，仍會隨著二供給點之間的距離增加而持續降低，平均互援時間則隨之持續增高，此情境模擬之供給點配置方式結果，可提供未來在考量方正區域、需求點均勻散布之情形之參考。

7.4 綜合建議

總結以上結果，雙供給點、均勻需求、正方棋盤式區域之防災存活路網設計，在特定情形下，如欲獲得較好的效果，可採用以下簡要建議：

- (1) 平均旅行成本：欲規劃整體區域最小的平均旅行成本，供給單位之間的距離，約為該正方區域邊長的0.83~1.5倍之間。
- (2) 最大旅行成本：欲控制最大旅行成本，供給單位之間的距離，在該正方區域邊長約為0.5倍以上時，即會出現該成本最小之情形。
- (3) 繞路成本：繞路成本最小的情形，發生在供給單位之間的距離達該正方區域邊長的0.67~1.33倍之間，而0.67倍之距離效益最佳。
- (4) 互援成本：互援成本隨供給單位之間的距離成正關係，供給單位彼此之間愈靠近，該成本就愈小。
- (5) 路網成本：整體規劃路網成本最小發生在供給單位之間距離為該正方區域邊長0.33倍時，而隨著供給單位彼此之間愈靠近，該成本平均而言也會跟著降低。

