

運用地理資訊系統於戰場情報準備研究— 以裝甲部隊最佳路徑規劃為例

曾冠文¹ 蔡明達^{2*} 魏均達¹ 李宜珊²

¹國防大學理工學院國防科學研究所

²國防大學理工學院環境資訊及工程學系

摘 要

隨著地理資訊系統、全球導航衛星系統及遙感探測等技術整合的發展，未來將以聯合資訊作戰為主，強調網狀化作戰理念，因此建置數位化戰場成為各國重視之議題。本研究主要目的為分析作戰區域內地形資訊，並依國軍戰場情報準備作業步驟與相關準則規範，建置相對應之電子地圖，藉由圖資蒐集整合、加權套疊及成本距離分析等過程，得出部隊機動之最低成本路徑，最後再以案例模擬方式驗證戰場資訊運用於軍事作戰決策參考之效能。

關鍵詞：地理資訊系統，數位化戰場，戰場情報準備，最低成本路徑

Intelligence Preparation of Battlefields Using Geographic Information System: A Case Study of Paths Planning for Armored Forces

Kuan-Wen Tseng¹, Ming-Da Tsai^{2*}, Chun-Ta Wei¹, and Yi-Shan Li²

¹ School of Defense Science, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University

² Department of Environmental Information and Engineering, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University

ABSTRACT

With the development of Geographic Information System(GIS), Global Navigation Satellite System (GNSS), Remote Sensing (RS) and other technology integration, in the future, joint information operations will be the main focus, and the network operation concept will be emphasized. Therefore, building a digital battlefield becomes a big issue valued by many countries. The purpose of this research is to analyze the terrain information in the combat areas, and to cooperate with the battlefield intelligence preparation operation steps and relevant standards and norms, to build a corresponding three-dimensional electronic map platform. Processes such as stacking and cost distance analysis, to obtain the lowest cost path for troop movements, and finally verify the effectiveness of battlefield information used for military operational decision-making reference by case simulations.

Keywords: Geographic Information System, digital battlefield, intelligence preparation of battlefields, lowest cost path

一、前言

近年，由於測繪及資訊科技的發達，對於空間情報的掌握程度遠甚於從前，可說無法掌握戰場資訊，就沒有勝利的把握，而現代戰爭具備速度快、火力強、時程短、精準打擊等特色。因為日新月異的現代科技，不但加快了戰爭的速度，縮短了戰爭的時間，同時增加武器殺傷效能及精準打擊的能力。因應未來軍事科技與裝備發展，作戰方式從平面到立體，再延伸到多維空間，真可謂一日千里，但是唯一沒有改變的還是需要人員來操縱、執行，方能達到作戰目標，完成戰爭的任務。而地面作戰仍是決定戰爭勝負的關鍵，故陸戰戰略的發展亦形重要[1]。

國軍自民國 79 年參考美軍「戰場情報準備(Intelligence Preparation of the Battlefield, IPB)」準則，透過研討與測試過程，規劃出一套適用於臺澎防衛作戰情報整備的具體作法；亦於民國 87 年編纂了一本「陸軍戰場情報準備作業手冊」，以文字、圖表方式顯示戰場上氣象、地形與敵情現況，並完成分析評估與研判等各項情報準備工作，具體充分地顯示戰場景況[2]。

空間科學的發展，隨著地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)、全球導航衛星系統(GNSS, Global Navigation Satellite System)及遙感探測(RS, Remote Sensing)展開了 3S 時代的測繪新紀元。近年來，透過人工智慧(Artificial Intelligence, AI)、大數據(Big Data)及物聯網(Internet Of Things, IOT)等相關資訊科技的發展，可以有效的整合、處理巨量的空間資料。其應用規模可大到全球，或小到一個戰術區域的戰場環境分析，對於戰場資訊優勢之提升扮演著重要的角色。而陸軍傳統作戰是以人工方式藉由地圖、沙盤或兵棋模型來建立戰場情境、執行兵棋推演或評估戰鬥結果，已無法滿足利用資訊科技、精良武器及專業人員的現代化數位戰爭。

本研究將從執行面上探討如何運用地理資訊系統工具將影像圖、向量圖資及數值高程等圖層套疊加權計算，將其資訊數位化，再利用戰場情報準備作業步驟分析地區內各機動安全走廊，並找出其最佳機動路徑方案，俾提供戰場指揮官運用科技下達正確決策。

二、理論與基礎

2.1 戰場情報準備

所謂「戰場情報準備(IPB)」係「有系統」且「持續性」的分析一特定的地理空間區域內的威脅和環境的過程[3]。「戰場情報準備」常以各種透明圖式的樣板，完成戰場敵情、天候、地形之分析，以此有形的分析成果提供指揮官及其參謀下達決心及擬定作戰計畫作為之基礎[4]。

在軍事作戰中，若以紙圖進行了解及分析戰場地形是一項很困難的事情，指揮者必須先在腦中構築整個三維戰場的地形原貌，才能作出最適當的決策。過去，在模擬推演中通常會以沙盤推演來了解整個作戰的情境，分析部隊集結位置、搜尋最佳方向及其他軍事行動等等，透過視覺化的地形分析及「戰場情報準備」程序作業步驟（見圖 2.1）依序執行，可使指揮官或決策者較容易下達決心。因此，地形視覺化是一項基礎而且基本的領導統御技術，藉由地形視覺化效果，瞭解敵軍、友軍及整個軍事行動的動態，並使戰場指揮官明白地形對整個作戰的影響性，以達制敵機先。



圖 2.1 戰場情報準備程序作業步驟[3]

「戰場視覺化」是一種科技發展下的技術，也是趨勢，整合地理資訊系統功能、全球導航衛星系統、遙感探測、三維視覺模擬、分析模式庫、資料庫管理及網際網路應用等技術，是構建戰場視覺化的技術平台。以現有地理資訊系統的功能及擴充模組技術的研發，已備有戰場視覺化及供指揮決策者決心下達之基本功能。對於指揮官及決策者而言，地理資訊系統可當作是一種可即時儲存數位空間情報資料於資料庫的決策支援之機制。

2.2 內政部國土測繪中心全國土地利用調查資料

在「戰場情報準備」程序作業中，所需之戰場地形要素包含天然地形及人造地物等兩大類。目前，在台灣地區針對地形、地物調查較詳細的空間資訊為內政部國土測繪中心「全國土地利用調查資料」[5]。本研究將運用這些資料作為戰場情報準備中地形、地物分類的主要參考依據。

內政部國土測繪中心將土地利用分類系統以層級式樹狀結構區分為3級，第一級共分為9類，第二級細分41類、第三級再細分為稻作等103類，第一級區分為「農業使用土地」、「森林使用土地」、「交通使用土地」、「水利使用土地」、「建築使用土地」、「公共使用土地」、「遊憩使用土地」、「礦鹽使用土地」、「其他使用土地」等9大類別，因該單位除現地調查外，另配合地面解析度至少為1公尺以內之航遙測影像作為輔助判釋，故細分地物使用類別至第二級、第三級，相關類別、代碼、色碼見示意圖2.2，本計畫即依本國所律定之區分類別及色碼為依據，來進行相關地物分類及標示，並賦予相對應之兵要資料。



圖 2.2 國土利用調查類別色碼表[5]

內政部國土測繪中心為全面瞭解國土發展型態，確保國土利用永續發展，內政部已於民國82至84年度辦理全國性之國土利用調查作業，作為國土規劃之依據。而臺灣地區地狹人稠，隨著全球經濟的蓬勃發展，國內產業及土地利用型態日趨複雜，如何有效運用與管理土地資源，可藉以國土利用現況之掌握予以進行分析、規劃，以達到永續使用之目的。

2.3 地理資訊系統軟體-ArcGIS

地理資訊系統係由電腦軟體、硬體及地理資料庫所組成，為一套收集、儲存、分析、展示、查詢地理資料的有力工具，其功能包括：資料輸入（地理資料數位化）、資料處理（格式轉換、座標校正等）、資料分析（套疊分析、路網分析等）及資料展示與查詢（地圖繪製、查詢系統等）（見圖2.3）。而且可有效地結合空間資料（地圖）及統計資料（文、數字），建立空間統計資訊，展現統計資料之地區別分布差異，對區域發展政策之擬訂，可提供更具體的分析資料及決策支援。空間統計資訊的建立及提供，可使統計資訊以更多元化的方式呈現，並可提高各種空間決策的正確性及完整性。若將網際網路與空間統計資料庫結合，則可提高資訊提供速度，進而提升地理資訊系統之應用效益[6]。

本研究將運用 ArcGIS 軟體中的工具集進行坡度坡向、向量網格轉換、屬性資料編輯、加權套疊、成本距離及最低成本路徑分析等作業（見圖2.3），逐一將蒐集的數值圖資套疊實施計算並求取最後分析成果。

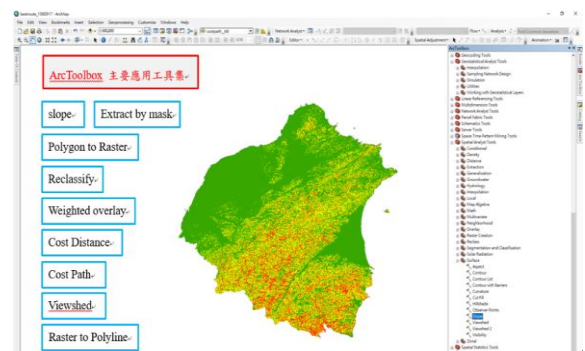


圖 2.3 GIS 主要應用工具集示意圖

2.4 空間兵要資料分析

本研究將運用地理資訊系統(GIS)進行戰場情報準備空間分析，針對國軍「戰場情報準備(IPB)」所需之環境因素進行研究。透過地理資訊系統(GIS)進行作戰空間各項環境參數的分析與整合，見圖2.4所示。對於地形、地物之分析主要針對山脈、水系、主要道路、地形要點、土地利用資訊等，明顯突出，以利分析研判各種障礙、敵接近路線與機動走廊，並以地形五大要素分析，完成「修正後混合障礙

透明圖」，未來將結合「敵軍戰術圖解圖」預判並繪製「敵可能行動圖解圖」，以滿足國軍新一代建軍規劃模擬工具之實需。

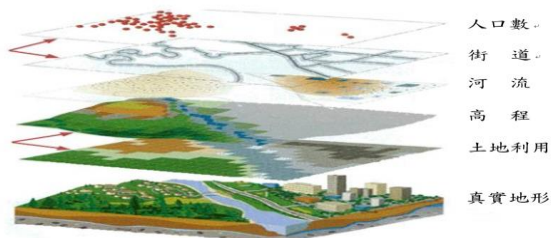


圖 2.4 利用地理資訊系統(GIS)整合各項環境資料[7]

而全國土地利用調查資料是目前國內土地調查資料中較為詳細的圖資，本研究將蒐整其相關資料作為兵要資料蒐集及分析使用。透過上述資料結合軍事相關準則及教案資料，即可律定陸軍各部隊運動間所使用載具，在通過各類地形地貌受地形地物的限制。

2.5 土地適宜性分析

2.5.1 數值地形模型

數值地形模型 (Digital Terrain Model, DTM)是指以數位的方式記錄地形之三維空間資訊，能透過地理資訊系統將空間資料展示於電腦螢幕或輸出設備，完整呈現地形資訊是相當重要且基本的資料能依所需做處理與判斷，包括災害評估、量體評估、地形環境調查、數值模擬等等（見圖 2.5）。

數值地形模型主要分成兩類，數值地表模型(DSM, Digital Surface Model)與數值高程模型(DEM, Digital Elevation Model)，DSM 指地形資訊涵蓋所有地表建物與植被，DEM 指濾除人工建物與植被後呈現出最原始的地形資料，還可依需求套疊資料（見圖 2.6）。

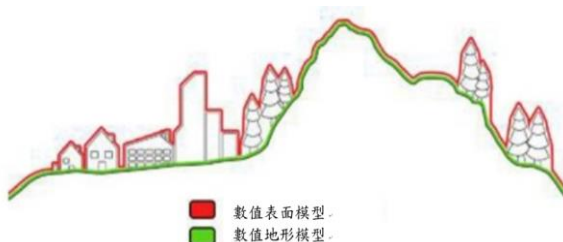


圖 2.5 DTM 示意圖[8]

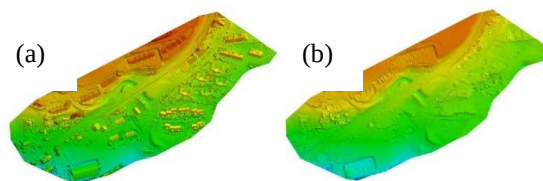


圖 2.6 DSM(a)、DEM(b)示意圖[8]

在本研究中我們蒐集了內政部的全台 DTM 資料(20 公尺*20 公尺)，並匯入 ArcGIS 軟體中呈現各地形坡度間的相互關係（見圖 2.7），而軟體的 slope（斜率）工具會顯示在網格上每個小格中的坡度，坡度值越低，地形越平坦，坡度值越高，地形越陡峭。

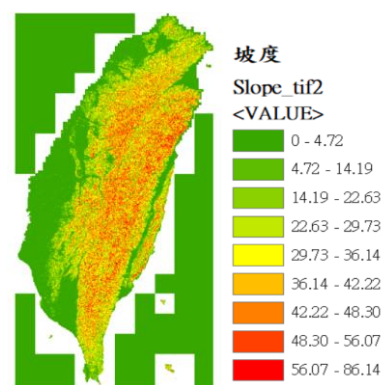


圖 2.7 全台 DTM 坡度示意圖

輸出斜率網格可以用兩種單位計算，坡度斜度(Degree of slope)及坡度斜率(Percent of slope)表示。當角度為 45 度時，上升高度等於平行距離，上升百分比為 100%。當傾斜角接近垂直方向（90 度）時，如三角形所示，百分比上升開始接近無窮大（見圖 2.8）。

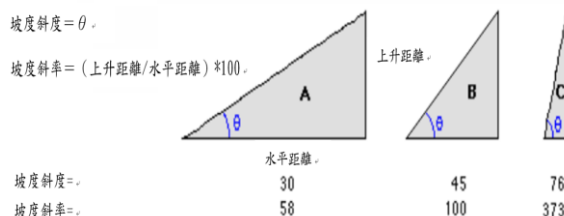


圖 2.8 斜率比較法示意圖

2.5.2 向量式兵要圖資網格化

一般而言，三維電子地圖資料庫至少應包含範圍、經度、緯度與地表高程等基本資料。

基本資料在經過電腦數值化處理後，以不同的表示方式呈現出來。就呈現方式來說，較常見的包括有數值式、網格式及向量式。

因應各部隊在作戰期間機動載具的路線規劃不全然是通過道路及橋樑的向量圖資，而是必須有通過各地形、地物的越野能力，故本研究擬提出之演算法係以網格式(Raster)的結構來加以計算。因此，必須先建置一網格式結構之三維電子地圖資料庫（見圖 2.9），並以線性內插的方式（見圖 2.10）求得精確度更高的地形高程資料。

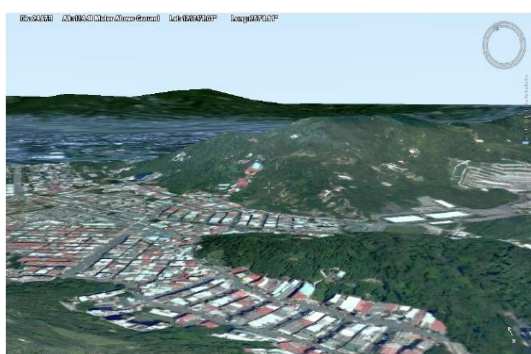


圖 2.9 三維電子地圖俯視圖[9]

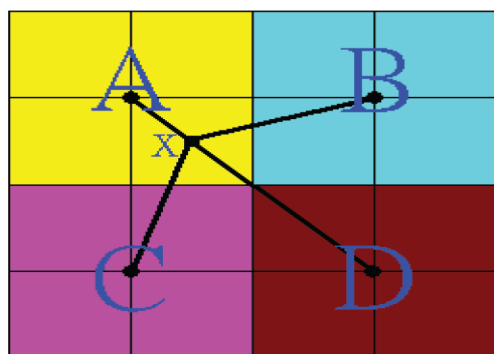


圖 2.10 線性內插示意圖[10]

2.5.3 圖層疊加計算

接著以 ArcGIS 軟體工具匯入相關數值圖資，統一轉換成網格式資料型式實施各圖層疊加分析，而疊加分析是用在最佳位置選擇或適宜性建模中應用的一組方法。此技術是將通用比例值應用於各種不同的輸入值以創建集成分析。適宜性建模為特定現象標識最佳位置或首選位置。

舉例來說，一個簡單的房屋適宜性模型可能包含三個輸入指標：坡度、坡向和到公路的距離。坡度在 1 到 10 級範圍內進行重分類，越平坦則成本越低；因此，最佳位置將被指定

較高的值。隨著坡度變得陡峭，指定的值隨之遞減，最陡峭的坡度將指定級別 1。類似地，在 1 到 10 級範圍內對坡向進行重分類。在這種情況下，越朝南的坡向越佳，會相應指定較高的值。對到公路的距離這一指標應用相同的重分類過程。位置距離公路越近則越佳，因其更易獲得電力資源且所需車道較短，因此建設成本較為低廉。在重分類後的坡度圖層中，就建設成本而言，適宜性值指定為 5 的位置是指定為 10 的坡度的兩倍。而在重分類坡度圖層中，適宜性指定為 5 的位置與重分類距道路距離圖層中適宜性指定為 5 的位置成本相當，最後在賦予各圖層權重時實施疊加分析，並對模型實施驗證，即選取地點並建造房屋，相關流程及疊加示意圖見圖 2.11、圖 2.12。



圖 2.11 各圖層疊加流程示意圖[11]



圖 2.12 圖層加權疊加運算示意圖[12]

在上圖中，兩個輸入網格已重新分類為 1 到 3 的常用測量比例。每個網格都會分配一個百分比影響。單元格值乘以其百分比影響，並將結果相加以創建輸出網格圖層。例如，考慮左上角的單元格，兩個輸入的值變為 $(2 \times 0.75) = 1.5$ 和 $(3 \times 0.25) = 0.75$ 。1.5 和 0.75 之和為 2.25。由於加權疊加的輸出網格是整數，因此最終值將四捨五入為 2。

而加權疊加模型處理過程在 ModelBuilder 的位置見下圖 2.13 範例所示：

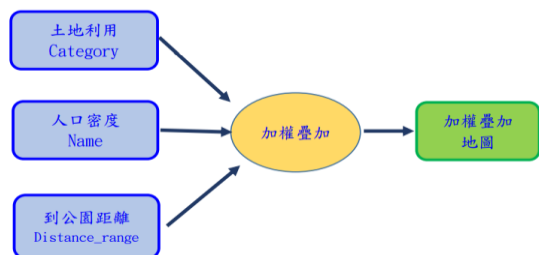


圖 2.13 加權疊加模型處理示意圖[13]

2.5.4 機動載具最低成本路徑選擇

最低成本路徑始於原點止於目標。該路徑的寬度為一個像元，介於目標和原點之間，並且以各成本單位（通過輸入到加權距離工具中的原始成本網格定義）衡量，它必須為成本最低的路徑。使用成本路徑工具可為新建道路查找一條在建造成本方面最適合的路徑，也可識別出某單位軍用坦克從駐地位置（原點）移動到最近戰術位置（目標）的最小成本路徑，見圖 2.14 中，A 與 B、C 二點的距離成本計算分別如公式(2-1)、(2-2)，網格之間的路徑成本計算見圖 2.15 所示[14]。

$$Cost_{AB} = Cellsize \times 1 \times \frac{(CostA + CostB)}{2} \quad (1)$$

$$Cost_{AC} = Cellsize \times \sqrt{2} \times \frac{(CostA + CostC)}{2} \quad (2)$$

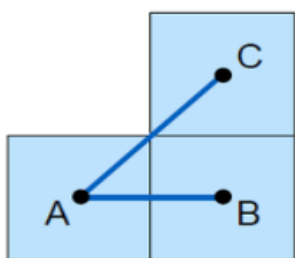


圖 2.14 A 點與 B、C 二點的距離成本計算示意圖[14]

1. 從起點開始。
2. 查找每個相鄰網格的成本。
3. 搬到最低成本的網格。
4. 查找每個相鄰網格的成本。
5. 重複，直到到達終點。

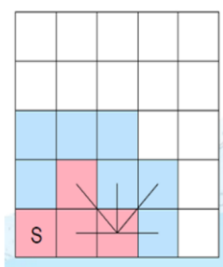


圖 2.15 網格之間的路徑成本計算示意圖[14]

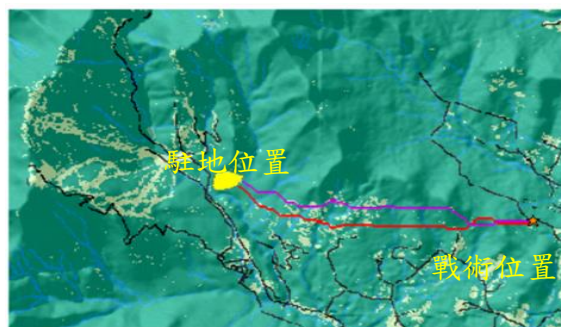


圖 2.16 不同權重最小成本路徑示意圖[12]

見上圖 2.16 顯示，新道路存在兩條可能的路徑（分別以紫色和紅色表示）。紫色線表示的路徑通過各輸入網格（土地利用網格和坡度網格）權重相同的成本網格創建。紅色線表示的路徑則通過坡度輸入網格權重（影響力）為 66% 的成本網格創建。如果賦予坡度輸入網格更高的權重，則在紅色路徑中便會更注重避免生成較陡的坡。

2.5.5 模糊理論

模糊集合(Fuzzy Set)是模糊理論的基礎，是用來表示界限或邊界不分明模糊概念的集合，因此探討模糊集合的特質、各種集合運算、歸屬函數(Membership function)等。模糊集合是傳統集合觀念的延伸，在說明模糊集合的概念及演算時，將先說明傳統集合的概念及演算，以釐清模糊集合與傳統集合之差異。

在考慮土地利用、坡度及人口密度分類時，受多種因素影響，必須對多種相關因素作綜合性考慮，這種評判過程涉及模糊因素，便稱模糊綜合評判。決策者在選擇分類各項限制因子時，必須對需求的因素進行全面的考量，在綜合地整理歸納出理想中的級距與範圍。因此模糊權重的分析主要是得知影響因素的重要性，以建立模糊函數[15]。

在本研究中，因應國軍各兵科單位戰備演訓的任務分配不盡相同，所需規劃出的機動路線必須考量到各兵科特性而有所不同，最後會依照戰場指揮官本身之專業知識、直覺、創見、對戰場環境之瞭解及以往的戰演訓參數值作決策訂定。其中的各限制因子權重比例分配並不能完全以精準數字作量化依據的標準，故以模糊理論中影響程度因子的大小及戰場指揮官的適宜判斷來作為最後決策的方案。

三、研究方法

3.1 研究區域及限制條件

(1)研究區域：

本研究區域選定北部地區（包含基隆、台北、宜蘭、桃園、新竹），也是國軍在作戰時所管轄的「第三作戰區」，相關位置及其地形起伏見圖 3.1、圖 3.2。



圖 3.1 本研究區域範圍（以北部第三作戰區為主）

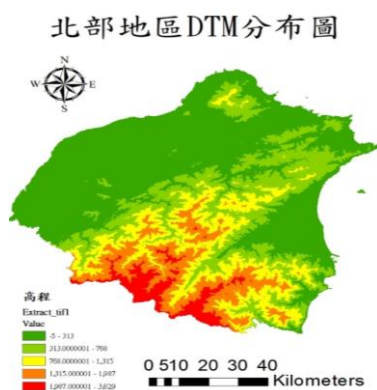


圖 3.4 北部地區數值地形模型圖

該地區依地勢高低從平原到高山均有其地形面貌，交通要道非常發達，城鎮聚落發展完全，且區域內有軍事營區及設施，涵蓋天然及人為的要素，適合作為戰場地形分析之研究區域。

(2)限制條件：

本研究因屬軍事方面的論文，為避免所用圖資涉及機密情事，有關研究區域內的相關營區座標位置均以英文字母或代號取代之。

戰場情報準備是一種「科學化」、「系統化」、「圖解化」的研析模式[16]，用以瞭解戰

場環境對作戰的影響、敵軍威脅程度及研判敵可能行動等一連串的步驟所構成的。而本研究因無法充分獲得敵方完整的編裝組織及武器裝備資料，僅以我軍裝甲部隊單位裝備來實施探討；另戰場環境在不考慮多變氣候的情況下，僅以討論地形限制因子、坡度及城鎮人口密度上的變化，作為後續狀況模擬分析的項目，期盼未來能有更多資料可繼續充實相關研究之效能。

3.2 兵要資料蒐集與處理

戰場地形分析要素包含天然及人造地形，天然地形包含植被、水文、土壤、地質、障礙物等等；人造地物包括城鎮、道路、橋樑、港口、機場、隧道等地形要點。而本研究僅以目前現有蒐集到的數值圖資（見表 3.1），針對土地適宜性分析及最低成本路徑選擇模式作可行性探討及研究。

表 3.1 既有數值圖資統計表

項次	數值圖資	屬性/年份	備註
1	內政部全國土地利用調查資料（北部地區）	向量資料 /2018 年	
2	全台 DTM 網格資料（20*20 公尺）	網格資料 /2018 年	
3	交通部路網圖 TWD97	向量資料 /2016 年	
4	台灣國軍部隊駐地位置	向量資料 /2016 年	
5	中央大學太空遙測中心 2019 年 SPOT 衛星影像地圖	網格資料 /2019 年	

有關本研究兵要資料的蒐集，將以內政部國土利用調查成果的資料為主，而內政部交由國土測繪中心自民國 95 年起辦理第 2 次全國土地利用調查工作，並依內政部 95 年 11 月 10 日頒布「土地使用分類系統表」辦理至第 3 級分類調查工作。同時加上交通部運研所路網圖 TWD97 相關地形及向量圖資，並以北部地區為範圍（包含基隆、台北、宜蘭、桃園、新竹），配合 ArcGIS 軟體工具匯入相關數值圖資，藉以取代傳統手繪的一張張透明圖層（見圖 3.3），提高作業效率，其資料處理流程如圖

3.4 所示，首先利用 GIS 系統進行向量數值圖資的資料轉換，再將蒐集到的地形圖資相互合併成網格資料，依照裝甲部隊的車輛載具特性及軟體適宜性分析的功能，利用不同的權重比例加權套疊成混合障礙地形圖，最後根據單位駐地（起點）及戰術（終點）位置，分析其花費成本距離及相互坡向的關係，以得出最低成本路徑。



圖 3.3 傳統手繪的混合障礙透明戰術圖[17]

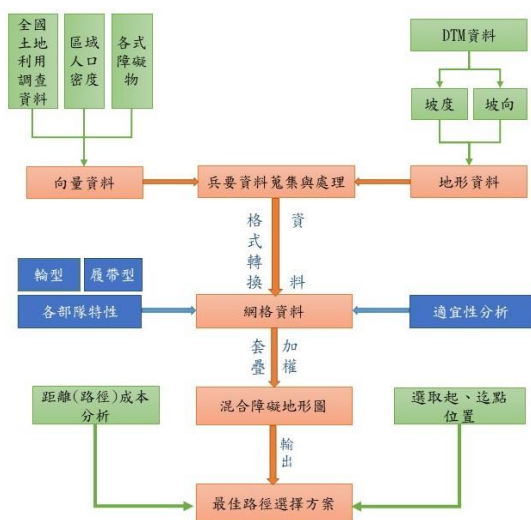


圖 3.4 兵要資料蒐集與處理流程圖

接著用蒐集到的各類地形及向量圖資，分別匯入及套疊後，依照各部隊作戰需求套疊一幅各數值圖層的混合地形障礙透明圖，見圖 3.5(a)為套疊等高線及隧道圖資，顯示其地形高度變化及敵人可能隱掩蔽之位置，適用於砲兵在初期作戰時的兵力部署；圖 3.5(b)為套疊道路及水系圖資，顯示其可通行及難行之區域，適用於工兵部隊在初期作戰時的偵察、爆破及架橋作業。

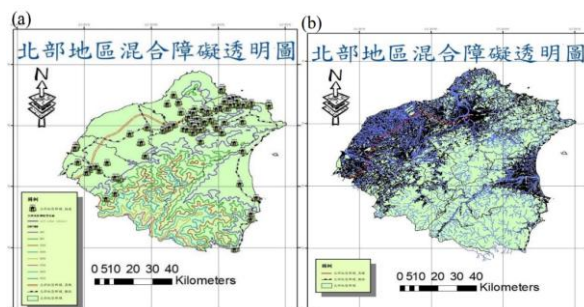


圖 3.5 北部地區混合障礙透明圖，(a)套疊等高線及隧道圖資(b)套疊道路及水系圖資

目前本研究採用內政部的全國土地利用調查資料（9 類 103 項），資料分布及圖例說明見圖 3.6 所示，並分析各部隊在通過不同地物、地貌時的障礙限制因素，按不同任務需求藉以規劃出數條機動安全走廊，由各業參謀研擬出行動方案選定，最後由戰場指揮官依照分析的結果決策出敵軍最大可能行動方案。

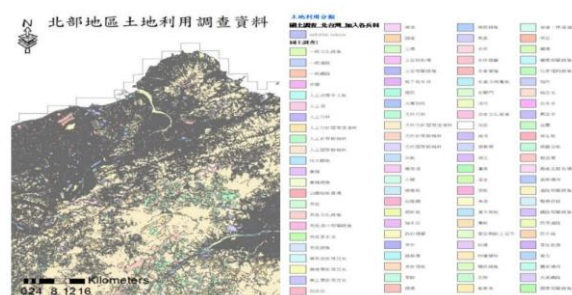


圖 3.6 北部地區土地利用調查資料分布圖及其圖例說明示意圖

依據《戰場情報準備》所定義障礙物內容，區分為可行區、緩行區及難行區三大類，將既有蒐集到的全台 DEM（20*20 公尺）地形資料匯入圖層，配合北部地區鄉鎮圖資套疊擷取出所需之 DEM 圖資（研究區域包含基隆、台北、桃園、新竹、宜蘭）（見圖 3.7），並呈現其坡度分布情形（見圖 3.8）。

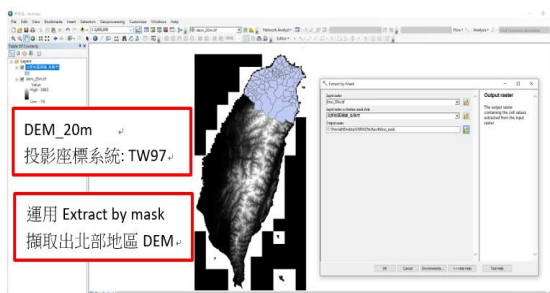


圖 3.7 運用工具集擷取北部地區 DEM 地圖

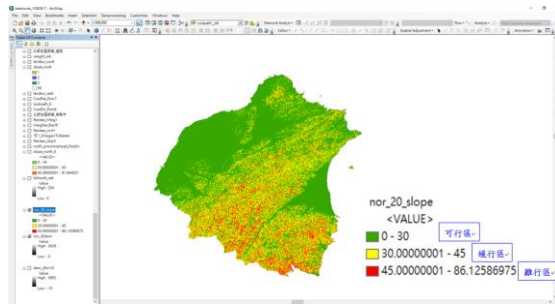


圖 3.8 北部地區坡度分析地圖

有關運用內政部國土測繪中心「全國土地利用調查資料」，作為戰甲車及輪車作戰任務中地物分類的依據。其中內政部國土測繪中心將土地利用分類系統以層級式樹狀結構區分為3級，第一級共分為9大類，本研究即依中華民國所律定之區分類別為依據，來進行相關地物分類及標示，並賦予國軍各兵科相對應之交通載具在通過不同地域環境越野能力的資料，翔如附錄，而針對車輛種類（履帶型及輪型）分析見表3.2，所呈現之套疊圖層見圖3.9。

表 3.2 各類型交通載具通過不同地物地貌越野能力分析表

各類型交通載具通過不同地物地貌越野能力分析表			
分類代碼	地類	履帶型	輪型
01	農業使用土地	難行區	可行區
02	森林使用土地	可行區	可行區
03	交通使用土地	可行區	可行區
04	水利使用土地	難行區	難行區
05	建築使用土地	難行區	難行區
06	公共使用土地	難行區	可行區
07	遊憩使用土地	可行區	可行區
08	礦鹽使用土地	難行區	可行區
09	其他使用土地	緩行區	可行區

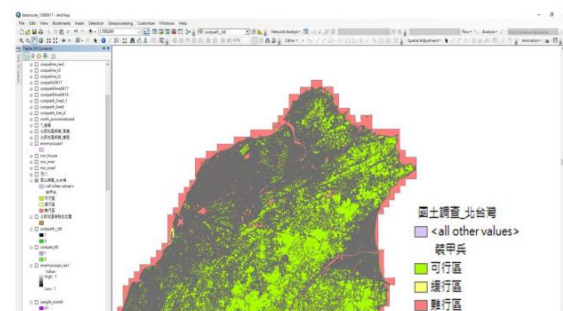


圖 3.9 戰甲車輛在不同地物地貌越野能力示意圖
另依作戰期間需保持後勤支援順暢無

虞，應將城鎮密集區域納入考量範圍，故本次研究採用內政部戶政司全球資訊網的各鄉鎮區人口數表單，重新彙整統計分類，並同步計算面積及人口密度匯入 ArcGIS 軟體的屬性資料編輯（見圖 3.10），呈現各鄉鎮區面積及人口密度分布圖（見圖 3.11），本研究依照模糊理論中的影響程度大小，將人口密度疏密與車輛通行之難易狀況藉由 GIS 系統的分類方法區分為五個等級，後續配合不同區域的權重比例得出不同的分析結果。

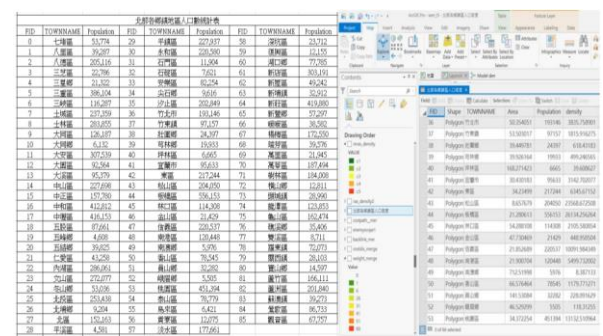


圖 3.10 北部各鄉鎮地區人口數、面積及人口密度資料統計圖[18]

(a) 北部各鄉鎮地區面積分布圖 (b) 北部各鄉鎮地區人口密度分布圖

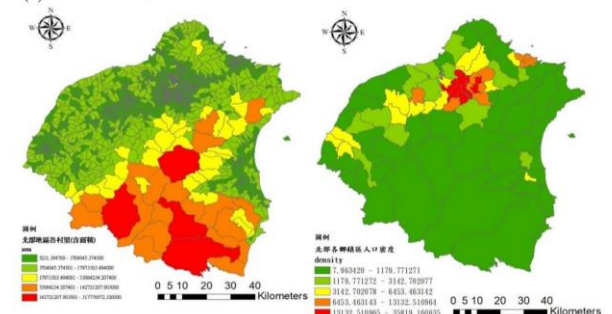


圖 3.11 (a)北部各鄉鎮地區面積及(b)人口密度分布圖

3.3 機動載具

本研究以作戰時裝甲部隊的主力裝備 M60A3 戰車（履帶型）、雲豹裝甲車（輪型）及一般輪型車輛為分析對象（見表 3.3），其地形限制因素又以 M60A3 戰車（履帶型）為最嚴苛，相關戰甲車部隊運動障礙種類及限制因素見下表 3.4：

表 3.3 各式車輛基本諸元分析表[19,20]

		
M60A3 戰車 (履帶型)	雲豹裝甲車 (輪型)	中(輕)型戰術輪車
1. 車長：6.946M/9.436M 2. 車寬：3.631M 3. 車重：52.617 噸 4. 最大爬坡度：45-60 度 5. 最高速度：48.28 km/hr	1. 車長：7 M 2. 車寬：2.7M 3. 車重：22 噸 4. 最大爬坡度：60 度 5. 最高速度：100 km/hr	1. 車長：8.06M 2. 車寬：2.41M 3. 車重：14.9 噸 4. 最大爬坡度：60 度 5. 最高速度：100 km/hr

表 3.4 戰甲車部隊運動障礙種類及限制因素分析表[21]

區分	障礙名稱	形成障礙標準及設施要領 (構築方法)
天然障礙	山	坡度 45 度以上，長 14 公尺以上之山坡地形。
	行樹森林	20 公分以上直徑之密林或行樹。
	河	4.5 公尺河寬之河流及我方有 1.5 公尺高之河堤水深在 1.5 公尺以上之河流。
其他	湖泊、沼澤、稻田、泥潭地、深雪等。	
	陷阱	(1)選定裝甲車輛必經之谷地、隘路、道路要點及橋樑附近，阱寬 4-5 公尺，阱深 2-3 公尺。 (2)陷阱加以掩蓋偽裝恢復原狀誘敵陷入。
	峭壁斷崖	通常在 35 度-45 度山坡上或梯田最低層，修築一條 3-4 公尺高之斷崖。
人工障礙	防戰車壕	利用農田灌溉渠，與地形、火力相結合，加以整修寬 4-5 公尺深 3-4 公尺壕溝。
	三角連環坑	三邊等長 6-7 公尺，深 2-3 公尺，間隔 10-15 公尺以交通壕連接構成連環。
	石(木)條樁	直徑 30-40 公分，長 1-2 公尺，以二分之一埋於地下向敵方取 35 度傾斜，樁間隔 1-2 公尺。
障礙	大石塊	就地取材按戰術要求設置，以塊石設置，要正面廣，縱深長，密度大為原則。
	廢爛刺絲	將其堆置於狹隘或戰車不易轉向地區，以遲滯其行動，並使不易排除。
	雜亂樹枝	設置要領同廢爛刺絲。
其他	絕壁	在山地四週或一面以除土形成。
	樹枝與樹幹	利用道路兩側樹砍倒，交叉倒置於路上，樹桿直徑在 40 公分以上，樹桿樁留 1.5 公尺。
	石壁	在敵必經之道路上堆成 2-3 公尺高、2 公尺厚之石壁，用以阻擋。
障礙	三角木欄	在隘路用直徑 30 公分以上之圓木砌成 2 公尺高之木欄。
	其他	戰防雷、三角環、銅柵、鐵軌條、龍齒等障礙

四、研究成果與分析

4.1 適宜性分析及最佳路徑選擇方案

4.1.1 作戰地形適宜性分析

有關國軍戰場情報準備作業步驟中，分析作戰區域地形為最重要的項目之一；通常會將其天氣、地形、軍事特性、勤務支援及政治、經濟、社會、心理等因素納入分析，研判其對敵我雙方之影響，使其成為具有參考價值之空間情報資訊。在本研究中僅對於作戰地區內之地形限制因子進行分析，而天氣狀況，敵我人員、裝備數量等因素則予以不考量。經「地形分析」後將其成果，與相關專長領域的戰術教官針對作戰環境中各類地物地物種類進行研討，以律定各兵科載具因受不同地形地物影響

而造成其運動能力限制之因素。本研究利用「全國土地利用調查資料」、「坡度」及「人口密度分布狀況」等相關數值圖資資訊，探討裝甲部隊之各類載具在作戰期間，受地形地物影響最大的主要之限制因素，見圖 4.1(a)、(b)、(c)所示。並假設天氣、人員、裝備、數量及特別狀況等因素均一致相同外，以上述三項限制因子（土地利用資料、坡度、人口密度）作為本研究主要探討之分析項目，由於各圖層屬性意義不同，必須定義一種共同的權重比值範圍，以分出各種圖層的屬性權重及花費成本。

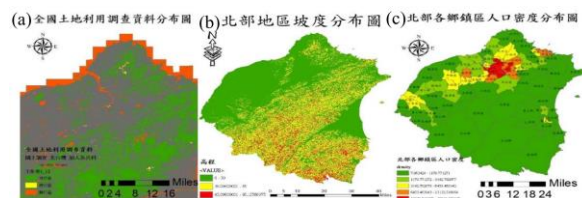


圖 4.1 (a)全國土地利用、(b)坡度、(c)人口密度分布圖

4.1.2 作戰地形限制因素影響評估

本研究中以「模糊理論」進行有關作戰地形限制因素影響程度的評估，將依據 Rensis Likert(1932)將「影響程度」劃分成五個尺度量表若模糊語意措辭為 medium low、low、medium、medium high、high，則就可利用模糊尺度將其轉換為模糊數，轉換尺度的函數圖形，並經由其轉化方法轉換成介於閉區間【0，1】的連續性明確分數以獲取權重（見圖 4.2 所示）[22,23]：

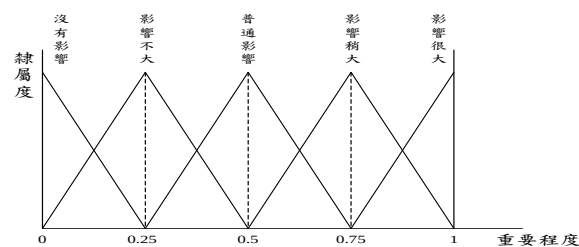


圖 4.2 模糊尺度之隸屬函數

在評估作戰地形限制因素的影響程度，將「影響程度」的語意變數劃分為「影響很大」、「影響稍大」、「普通影響」、「影響不大」、「沒有影響」五個語意尺度來影響，其各語意的花費成本見表 4.1 所示。

表 4.1 語意尺度及模糊數

影響程度 模糊數	沒有影響	影響不大	普通影響	影響稍大	影響很大
花費成本 (1-100)	0-10	10-20	20-50	50-75	75-100

接著我們將各限制因子種類做級距區別，首先依照內政部全國土地利用調查資料及賦予裝甲部隊在通過不同地域環境越野能力，可區分為可行區、緩行區及難行區三大類，假設花費成本分別為 1、40、100；在坡度部份，依照裝甲部隊運動障礙限制因素中，大於坡度 45 度以上視為難行區域，故將分別假設給定成本為 1、20、100；人口密度部份共分五個級距代表各鄉鎮區疏密狀況，分別假設給定成本為 1、10、20、50、90。最後將賦予不同方案的權重值比例，進行加權套疊後，以 ArcGIS 軟體工具集的 Cost Distance、Cost Backlink 功能選定起點位置，計算出所需花費的成本距離分析依據（見圖 4.3）及相互坡向關係示意圖（見圖 4.4）。

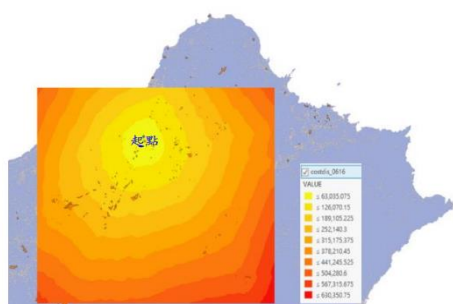


圖 4.3 成本距離分析示意圖

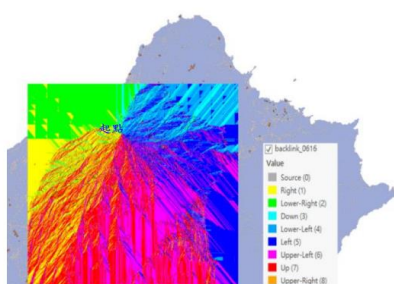


圖 4.4 相互坡向分析示意圖

在套疊各類加權圖資後，得知在受到多項限制因子的情況下，兩點之間的直線距離不一定是最好的，必須使用加權方式計算出花費最低成本之路徑，所以藉由各類網格圖層加權比例過後的權值，運用 ArcGIS 內的 Cost Path 工具集，先選定終點位置，而後定義出最低成本值即為最易通過之區域，再依不同方案的多

組參數設定（見表 4.2-表 4.6），分別得出不同的路徑網格、距離及花費時間（假設速率為部隊行軍速率），最後以 Cost Path as Polyline 分別轉換輸出成向量圖層（見圖 4.5-圖 4.9），可以得出不同的路徑選擇以供戰場指揮官下達決策。

4.1.3 想定研擬

國軍各部隊在戰演訓期間，「部隊機動」重點乃依據計畫所律定之時間、地點，按時到達各待命位置或責任區域，完成攻擊或防禦準備，以利任務之遂行。其中機動路線的先期規劃是依據各部隊在執行不同任務時的決策方案，例如戰鬥部隊在攻擊時，應朝著接近直線的方向前進攻擊，以利迅速殲滅敵方；後勤部隊在補給資源時，應朝著道路及橋樑的方向實施運輸補給作業；在戰鬥支援部隊實施掩護主力轉進時，應避開人口密集區域前進。因此，本研究將以不同權重比例の想定方案來探討不同任務狀況下的路徑規劃，各項想定方案如下所示：

一、想定一（三項因子近乎等權）

在假設機動車輛及花費成本均相同的情況下，想定一則是用近乎等權的方式來做權重分配，所得路徑距離及時間分別為 16.03 公里及 10.69 分鐘。

表 4.2 各類限制因子權重及花費成本（近乎等權）

限制因子	種類	權重值(%)	花費成本(1-100)	網格數量	路徑距離(M) 花費成本(T)
全國土地利用調查資料	可行區	34%	1	768	16.03 km 10.69分鐘
	緩行區		40		
	難行區		100		
坡度	0-30度	33%	1		
	30-45度		20		
	45-81度		100		
人口密度	7.96-1179.77	33%	1		
	1179.77-3142.7		10		
	3142.7-6453.46		20		
	6453.46-13132.51		50		
	13132.51-35819.16		90		

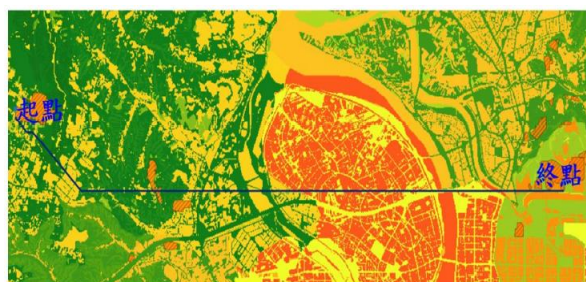


圖 4.5 方案一最低成本路徑示意圖
(近乎等權)

二、想定二（三項因子不等權）

假設機動車輛及花費成本均等權下，想定二則以土地利用資料來做最大權重分配，所得路徑距離及時間分別為 18.96 公里及 12.64 分鐘。

表 4.3 各類限制因子權重及花費成本
(以土地資料為最優先考量)

限制因子	種類	權重值(%)	花費成本(1-100)	網格數量	路徑距離(M) 花費成本(T)
全國土地利用調查資料	可行區	100%	1	859	18.96 km 12.64分鐘
	緩行區		40		
	難行區		100		
坡度	0-30度	0%	1		
	30-45度		20		
	45-81度		100		
	7.96-1179.77		1		
人口密度	1179.77-3142.7	0%	10		
	3142.7-6453.46		20		
	6453.46-13132.51		50		
	13132.51-35819.16		90		
	7.96-1179.77		1		
	1179.77-3142.7		10		



圖 4.6 方案二（不等權）最低成本路徑示意圖
(以土地資料為優先)

三、想定三（三項因子不等權）

假設機動車輛及花費成本均等權下，想定三則以坡度資料來做最大權重分配，所得路徑距離及時間分別為 16.02 公里及 10.68 分鐘。

表 4.4 各類限制因子權重及花費成本
(以坡度為最優先考量)

限制因子	種類	權重值(%)	花費成本(1-100)	網格數量	路徑距離(M) 花費成本(T)
全國土地利用調查資料	可行區	0%	1	768	16.02 km 10.68分鐘
	緩行區		40		
	難行區		100		
坡度	0-30度	100%	1		
	30-45度		20		
	45-81度		100		
	7.96-1179.77		1		
人口密度	1179.77-3142.7	0%	10		
	3142.7-6453.46		20		
	6453.46-13132.51		50		
	13132.51-35819.16		90		
	7.96-1179.77		1		
	1179.77-3142.7		10		

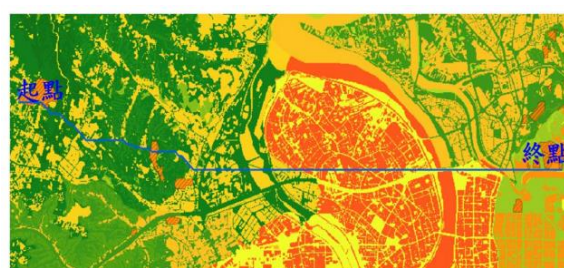


圖 4.7 方案三（不等權）最低成本路徑示意圖
(以坡度為優先)

四、想定四（三項因子不等權）

假設機動車輛及花費成本均等權下，想定四則以人口密度資料來做最大權重分配，所得路徑距離及時間分別為 22.84 公里及 15.22 分鐘。

表 4.5 各類限制因子權重及花費成本
(以人口密度為最優先考量)

限制因子	種類	權重值(%)	花費成本(1-100)	網格數量	路徑距離(M) 花費成本(T)
全國土地利用調查資料	可行區	0%	1	989	22.84 km 15.22分鐘
	緩行區		40		
	難行區		100		
坡度	0-30度	0%	1		
	30-45度		20		
	45-81度		100		
	7.96-1179.77		1		
人口密度	1179.77-3142.7	100%	10		
	3142.7-6453.46		20		
	6453.46-13132.51		50		
	13132.51-35819.16		90		
	7.96-1179.77		1		
	1179.77-3142.7		10		



圖 4.8 方案四（不等權）最低成本路徑示意圖
(以人口密度為優先)

五、想定五（三項因子不等權）

假設機動車輛及花費成本均等權下，想定五則以繞越密集區域來做權重分配，所得路徑距離及時間分別為 24.6 公里及 16.4 分鐘。

表 4.6 各類限制因子權重及花費成本
(以繞越密集區域為最優先考量)

限制因子	種類	權重值(%)	花費成本(1-100)	網格數量	路徑距離(M) 花費成本(T)
全國土地利用調查資料	可行區	20%	1	1071	24.6km 16.4分鐘
	緩行區		40		
	難行區		100		
坡度	0-30度	20%	1		
	30-45度		20		
	45-81度		100		
人口密度	7.96-1179.77	60%	1		
	1179.77-3142.7		10		
	3142.7-6453.46		20		
	6453.46-13132.51		50		
	13132.51-35819.16		90		



圖 4.9 方案五（不等權）最低成本路徑示意圖
(以繞越密集區域為優先)

由此得知，在多組不同實驗的參數設定下，所需花費最低成本的路徑也不盡相同，最後歸納出的行進路線類型一、二、三比較見圖 4.10 所示。

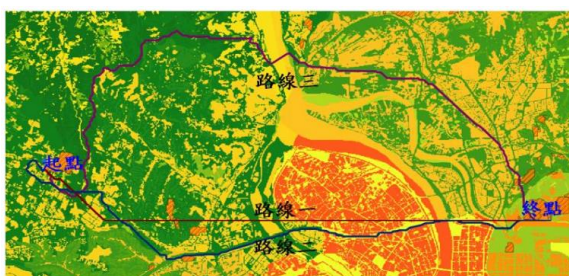


圖 4.10 不同行進路線分析比較示意圖

考量在戰演訓或防救災期間的不同狀況發布，需有不同的最低成本路徑規劃來相互支援，以確保在任務執行期間順遂，減少人車傷亡機率。

以上述多組參數加權計算得出之三大類路線來做分析說明如下：

- (一) 路線一：作戰（救災）發生時，為加速救援戰區（災區）人員及車輛，國軍各部隊需第一時間派遣重型機具（主要以履帶型為主）及人員到達現場實施第一階段障礙物排除及前置作業。
- (二) 路線二：作戰（救災）期間，陸續派遣大量人力物力及車輛（主要以輪型為主）前往戰區支援作業。
- (三) 路線三：作戰（救災）期間，為確保後勤補給（糧秣、油料）順暢無虞，需選擇避開人口密集區域，減少運輸時間，以利任務順利遂行。

4.2 案例模擬分析

本研究以既有蒐集到的圖資作為地形要素應用圖資，並配合戰場情報準備作業相關規範，利用 ArcGIS 軟體內的空間分析模組 (Weighted Overlay, CostDistance, CostPath)，實施圖資套疊整合，後續將以營區駐地位置機動到戰術位置實施狀況模擬，驗證最佳行進路線規劃及後勤補給支援相關作為，以提供戰場指揮官決策方案下達。

4.2.1 狀況模擬

○年○月 D 日 0700 時，第三軍團發起自力反擊後，敵大部就殲，目前部隊刻正實施戰力整補後，向北轉用兵力，此刻 A 營區接獲國防部電令，需派遣相關機具及人員至 B 營區實施戰區支援作業，預計於 D+1 日 0900 時出發，請貴部妥善規劃行進路線及後勤補給作為，途中如遇任何突發狀況請立即回報。

D 日 0900 時指揮官召集各單位主官任務賦予後，即刻分工實施相關作戰地形圖資蒐集、先期偵查及後勤補給作業，接著各業參依照本研究蒐集之土地利用調查資料、坡度及人口密度等圖資實施套疊，形成混合障礙地形圖，利用上述所設定的不同權重比例得出不同的加權地圖，再依 A 營區為起點計算週邊路徑成本距離及相互坡向關係（見圖 4.11）。

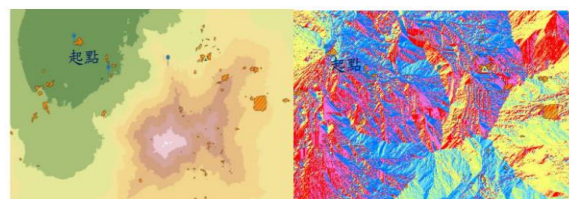


圖 4.11 路徑成本距離及相互坡向示意圖

最後我們以 B 營區為終點做計算，並運用中央大學太空遙測中心的 SPOT 2019 年衛星影像來介接套疊[24]，得出不同方案類型的最低成本路徑規劃（見圖 4.12）。

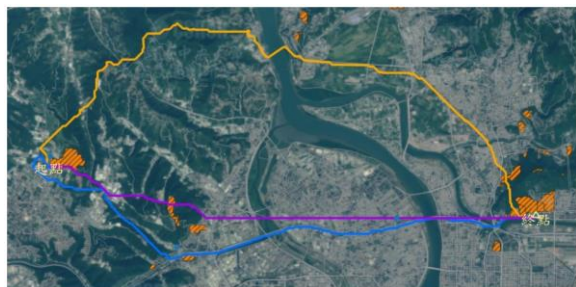


圖 4.12 不同方案的最低成本路徑規劃圖

同時配合相關機動載具整備及部隊編成，區分為三個梯隊，首先由偵查排於 D 日 1400 時實施路線勘查及警戒部署，檢查行進路線是否通暢、是否需排除障礙、是否需架設橋樑等等因素後，返回駐地回報現況做立即處置。

D+1 日 0845 時，由單位主官召集各車車長實施勤前教育及最後的任務提示，0900 時第一梯隊（偵查車輛*2）出發，0915 時主力部隊（履帶型車輛*4）出發，0930 時第三梯隊（輪型車輛*3）出發，預計 30 分鐘內到達 B 營區。

突發狀況一：0910 時第一梯隊偵查車輛發現前方 3 公里處有一道路崩塌，影響部隊行進路線，必須立即重新尋找另一條繞越障礙物路線，此時運用本研究建立之空間分析工具實施最低成本路徑計算，可以在第一時間依據模組及參數設定得出最適合的行進路線（見圖 4.13），以利到達目標位置。



圖 4.13 遭遇第一障礙物繞越的行進路線圖
（紅色實框為虛框的放大區域）

突發狀況二：在繞越第一障礙物後，0916 時第一梯隊偵查車輛再次發現前方 1 公里處有一橋樑損壞，影響部隊行進安全，需立即尋

找另一條可通過的橋樑，此時運用本研究建立之空間分析工具實施最低成本路徑計算，可以在第一時間依據模組及參數設定得出最適合的行進路線（見圖 4.14），以利到達最終位置。

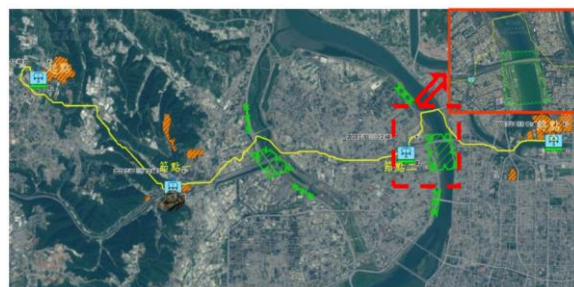


圖 4.14 遭遇第二障礙物繞越的行進路線圖
（紅色實框為虛框的放大區域）

由此可以驗證，在不同的節點遇到不同的障礙物時，均能以本研究所建立的空間分析模組即時判斷出所需前進的最佳路徑方向，並提供指揮官參考運用，下達正確的決策。

在經由上述案例驗證中，我們可以發現不同的地形環境及障礙物，所規劃出的最佳路徑均不盡相同，但考量到在當下的任務狀況及指揮官決策下達，相關業參必須全面評估機動車輛屬性、後勤資源補充及有無需派遣兵力提前架設橋樑或實施爆破等行為，以利得出到達目標位置的最短時間及其他補給路線的規劃，確保在任務執行期間順遂。

4.2.2 小結

經由上述案例模擬，有下列幾點結論：

1. 在利用有限的數值圖資，依據起迄點成本距離的條件，以地理資訊系統為平台，透過圖資編輯、套疊、整合，並運用加權方式進行模組分析，可以得出不同權重比例的最低成本路徑，提供指揮官決策參考。
2. 由模組分析瞭解，案例模擬的結果取決於資料量的多寡、障礙限制因子與加權計算等條件，不同的作戰任務、部隊特性、戰場環境等等，都會影響分析結果。在兩次的案例中，依據戰場情報準備作業相關規範及部隊機動車輛特性，針對不同的限制因子訂定不同的評估權值，加以分類加權進行分析，找出最適合行進路線的參考。上述所取決之評估標準與加權模式並非絕對，但由案例模擬結果證明，經由合理的條件與權值的分配，可以有效發揮圖資整

合及成本距離計算，獲得合理之戰場地形資訊及最低成本路徑規劃。

3. 目前國軍部隊因應數位化戰場的來臨，數值圖資的建置、應用與分享將會直接影響到各級部隊的戰演訓模擬兵推及戰力提升，期許未來相關軍事單位能蒐集到更完整的情資與圖資，建立地形資料庫，發揮資源共享功能。

五、結論與建議

5.1 結論

就國防軍事應用而言，「戰場情報準備 (IPB)」在作戰上有其重要實用價值，其運用範圍十分廣泛，並以圖表取代文字的方式，使指揮官及參謀人員很快速在不同的戰場狀況下判斷出敵我雙方最大可能行動方案；而其科學、具結構性的分析方式，很適合運用 GIS 作業，如能妥善設計規劃，使之結合 C⁴ISR 系統，將可使作戰時發揮最大自動化效能，應付當前瞬息萬變的戰場環境，根據本研究的研究成果，可得出下列幾項結論：

1. 蒐集臺灣地區的土地利用調查資料，並依各種地形地物賦予各兵科載具在通過不同區域之限制因素。
2. 運用地理資訊系統將蒐集的數值圖資加權套疊，並給予不同的權重比例，得出不同任務狀況下的混合障礙地形圖。
3. 依據各部隊作戰時的駐地（起點）及戰術（終點）位置，計算其花費的成本距離及相互坡向關係，得出不同方案下的最低成本路徑，提供戰場指揮官決策參考。
4. 以案例模擬的方式驗證不同任務狀況下的加權圖資及最低成本路徑分析，作為未來基層部隊作戰行動路徑規劃之決策參考方案。

5.2 建議

1. 本研究僅以既有蒐集到的數值圖資及影像圖進行模擬分析，對於戰場諸多地形要素，尚無法全般掌握，建議後續研究人員能運用更多元的圖資及影像來做分析整合，以達最大效益。
2. 本研究針對戰場情報準備的作業四大步驟，僅就戰場空間界定、作戰地形分析及

我軍行動方案作探討，若能將其天氣、軍事特性、勤務支援及敵方各項因素納入分析，使其更具有參考價值之空間情報資訊。

3. 本研究所使用的模組分析，係使用圖層套疊加權方式，進行決策評估及最低路徑選擇，後續可以結合軟體內建的 Python 程式碼執行一個迴圈，讓實驗的數據資料更多元，亦可以歸納出更合適的權重比例值。
4. 本研究之門檻值設定模式，是依北部區域地形特性訂定，建議後續可結合既有分析模組及經驗法則等方式在臺灣其餘地區進行相關實驗，使得模式評估更加客觀。

參考文獻

- [1] 于成森，“現代戰爭型態下我國陸戰戰略之研究”，臺灣臺北，國防雜誌第二十四卷，第五期，第 96 頁，2009 年。
- [2] 鄭來龍，“地理資訊系統技術在戰場情報準備之運用研析”，臺灣臺北，陸軍學術月刊第三十九卷，第四五四期，國防部，中華民國 92 年 6 月 1 日。
- [3] FM 34-130, “Intelligence Preparation of the Battlefield,” Headquarters, Department of the Army, 1994.
- [4] 陸軍總司令部情報署，戰場情報準備，陸軍總司令部印頒，桃園龍潭，1990 年。
- [5] 內政部國土測繪中心，105 及 106 年度國土利用調查成果更新維護報告書，內政部，台灣台中，2016 年。
- [6] 行政院主計總處，<https://www.dgbas.gov.tw/ct.asp?xItem=11385&ctNode=2391> (日期：109 年 2 月 12 日)。
- [7] 藍書網，<http://pinpicl.com/content/id/692598.html> (日期：109 年 2 月 12 日)。
- [8] 黃明江，“無人飛行載具於大面積數值地形模型建置之精度評估—以池上斷層鄰近區域為例”，碩士學位論文，國立臺北科技大學，臺灣臺北，第 19 頁，中華民國 105 年 7 月。
- [9] 羅永昇和王明志，“戰場環境資訊測繪與應用—以城鎮戰為例”，臺灣臺北，中華民國地圖學會會刊，2008 年 9 月。
- [10] 張啟隱、詹景裕、羅文泉、尹治平，“三維電子地圖上機動車輛最佳路徑規劃與 GPS 之整合應用”，航空、太空及民航

- 學刊系列 B，臺灣臺北，第三十八卷，第一期，第 65 頁，民國 94 年 12 月。
- [11] ESRI 網頁，ArcGIS for Desktop，<http://desktop.arcgis.com/zh-cn/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-weighted-overlay-works.htm>（日期：109 年 3 月 5 日）。
- [12] ESRI 網頁，ArcGIS for Desktop，<http://desktop.arcgis.com/zh-cn/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/creating-the-least-cost-path.htm>（日期：109 年 3 月 5 日）。
- [13] ESRI 網頁，ArcGIS for Desktop，<https://desktop.arcgis.com/zh-cn/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/creating-a-least-cost-corridor.htm>（日期：109 年 3 月 5 日）。
- [14] ESRI 互動國際_Spatial_Distance，距離分析工具。
- [15] Lotfi A. Zadeh, 1965, "Fuzzy Sets" information and control, Vol.8, Page 338-353.
- [16] 戴禹祺，“活用戰場情報準備”，陸軍學術月刊第 40 卷，第 461 期，民國 93 年 1 月 1 日。
- [17] google 圖片，<http://www.ifuun.com/a20179305663144>（日期：109 年 4 月 1 日）。
- [18] 內政部戶政司全球資訊網，<https://www.ris.gov.tw/app/portal/346>（日期：109 年 4 月 1 日）。
- [19] 畢家麟，“國軍 M60A3 主戰車性能提升研改延壽之芻議”，陸軍學術雙月刊，第五十三卷，第 553 期，2017 年 6 月。
- [20] 尖端科技軍事圖庫，<http://www.dtmimage.com/showphoto/search.asp?%A4%A4%AB%AC%BE%D4%B3N%BD%FC%A8%AE>（日期：109 年 4 月 10 日）。
- [21] 陸軍總司令部，反裝甲作戰準則，國軍常用反裝甲障礙資料表，附表十六，2009 年。
- [22] Chen, S. J., and Hwang, C. L., "Fuzzy Multiple Attribute Decision Marketing: Method and Application," Springer-Verlag, Germany., Page 465-486, 1992.
- [23] Liang Gin-Shun and Wang Mao-Jiun, "A fuzzy multi-criteria decision-making method for facility site selection," International Journal of Production Research –INTJ PRODRES, Vol. 29, Iss.11, Page 2313-2330, 1991.
- [24] 國立中央大學太空及遙測研究中心，http://140.115.110.11/index_WMTS.（日期：109 年 4 月 1 日）。