

應用空間資訊輔助山域搜救之決策分析模式

張哲豪^{*}、涂佳好[†]、蔡明奮[‡]

摘要

考慮到受難人員的維生能力，山域搜救就是在跟時間賽跑；不僅如此，又因為地形天候的環境不確定性很高，人力物力資源也相當受限，必須投入在最有可能且最為有效的作為上。在這麼嚴苛的決策環境中，事前掌握必要的空間資訊來輔助決策作為有其可行性。基於科學化邏輯，結合台灣山區過去案例與搜索理論統計分析，本研究提出以時序結合 e 化作業流程，幫助幕僚與搜救人員執行分秒必爭之路線與範圍規劃。配合台灣登山者行為模式之統計資料劃定搜索計畫之時序安排，第一時間以快速搜索(Hasty Search)進行已知起終點與 IPP(初始計劃點)間的線性搜索。第二階段研究將以 IPP 為主要搜索基準點作為決策者在進行規劃之核心，結合地理特徵之 E 化圖資，分析判定可能的搜索路線。其後階段，則將關注路線擴大為多邊形範圍，持續將考慮的空間資訊延伸到坡度與 NDVI(常態化差異植生指標)等，產生搜索熱區範圍，並設置攔截點控制有效搜索區域。此外，考慮電信基地台之申請與等待之時間差，會在取得通訊紀錄後隨即進行視域分析，列出無訊號範圍，併入最後階段之熱區的滾動修正。透過本研究提出之空間資訊的協助方式，搜救作業能夠充分涵蓋區域內的空間資訊，在通盤考慮下界定高機率之合宜範圍，使幕僚與搜救人員集中資源來完成搜救作業。

關鍵字

搜索理論(The Theory of Search)、空間資訊(Geographic Information)、快速搜索(Hasty Search)、初始計劃點(IPP, Initial Planning Point)、搜索熱區

* 臺北科技大學土木工程系 教授

† 臺北科技大學土木工程系 研究生

‡ 內政部消防署 分隊長

本研究參考引述張哲豪教授指導蔡明奮先生之碩士論文「應用空間資訊系統改善山域事故搜索作業之探討」，詳細內容可參考原論文內容。

應用空間資訊輔助山域搜救之決策分析模式

張哲豪、涂佳妤、蔡明奮

一、研究背景與動機

山域事故救援機制自民國 100 年起，歷經白姑大山張姓學生、大霸尖山歐姓夫婦及大劍山黃姓民眾等大規模迷途者搜索事件考驗，對於搜索與救助技術兩方面的整合，特別凸顯山域與消防兩機關間有效協調與組織的必要性。

消防機關通常接獲報案後，須自平地集結動員馳援至事故地點，與其他機關據點相較，前置作業消耗更多時間；消防機關勤務繁重情況更難以兼顧平地及山域救援勤務，卻仍得面對逐年成長山域事故案件，即便年成功救援 9 成，社會輿論仍就部分救援個案有所爭議；最大事故主因迷途及遲歸（失聯）案件占 46.3%，是類案件如無法第一時間掌握迷途者情報以及事故地資訊，造成消防機關動員大量人力、物力及長時間投入救援。

我國地方消防機關對於山域環境複雜特性及危險區域熟悉度，遠較各國家公園管理機關及林務管理機關人員（含巡山員）、警察局之山地派出所員警（含山地義警、山青）或山地區及原住民族區內在地居民為低，且加上民眾出入山域訊息掌握度有限，消防據點與國家公園管理機關、林務管理機關及警察機關在山地鄉區設置據點距離不同，於就近即時有明顯差異。

根據交通部 2003 年「臺灣地區國民休閒生活調查摘要分析」顯示，每年從事登山健行人口，已達 551 萬人次以上，平均每 4 人即有一人從事登山活動（約 25%），從發生件數趨勢線分析，越來越多人投入山域活動中，相對的事故發生的機率也會跟著增加。本研究彙整出歷年案件數歷年分析圖，如圖 1、圖 2 所示，民國 91 年至 100 年間為第一波高峰期，108 年行政院宣示山林開放政策、109 年嚴重特殊傳染性肺炎出國限制影響大量民眾轉向山林活動，形成「登山旅遊化」，大量新手湧進山林，致使 109 年山域事故案件倍增以往。因應嚴重特殊傳染性肺炎（COVID-19）疫情，110 年 5 月 19 日時由中央流行疫情指揮中心宣佈頒布全國第三級警戒，延長至 7 月 26 日，持續 2 個月的全國警戒使案件數創新低，使 110 年份事故案件數有減少之趨勢（蔡，2021）。

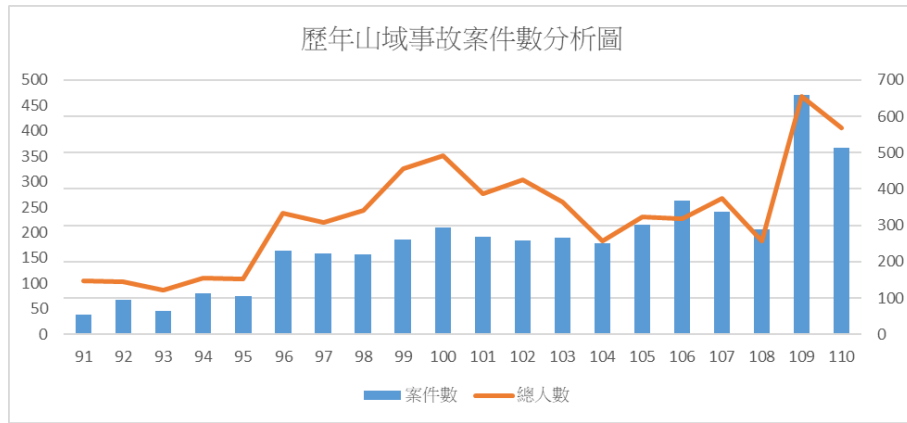


圖 1 山域事故案件數與成長率分析圖 (資料來源：內政部消防署)

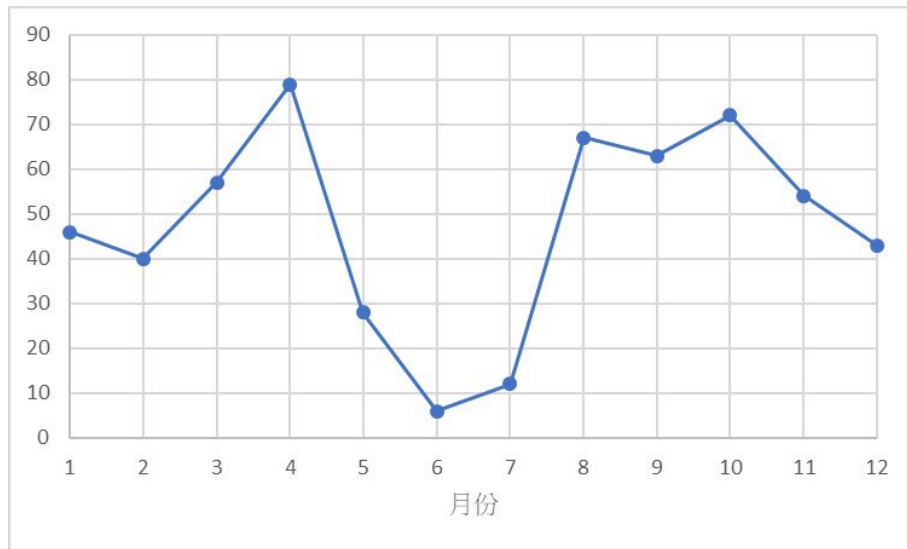


圖 2 110 年度事故案件數月份統計圖 (資料來源：內政部消防署)

面對山域事故成長趨勢，為解決迷途型案件所造成消防機關勤務壓力及社會輿論對於政府救援效能要求，根據內政部消防署與中華民國產物保險商業同業公會分析近 10 年大型「搜索」事件中，救援人力及救援費用，將隨「搜索」時間比例成長，如表 1 所示。

表 1 救援人力、經費與「搜索」時間關係表（蔡，2021）

救援天數		1 天	2 天	3 天	4 天	5-10 天	11 以上
民間(人*天)(註 2)		6	11	13	22	28	179
消防 (人*天)	平均	4	10	16	24	50	372
	高(註 3)	6	14	22	34	70	521
	低(註 3)	2	6	10	14	30	224
協同處理機關人員 (註 1)占消防人員比重		25%	25%	30%	30%	30%	30%

註：

- 指非消防單位之公家機關人員，例如國家公園或林區管理處、警察、國軍等。
- 民間(人*天)統計係依據內政部消防署資訊計算各種救援天數情況下，民間出動人力(人*天)的平均值。
- 指針對可能派出人力(人*天)以高低來表示可能合理範圍，假設救援天數 1 天的平均派出人力為 6(人*天)，可能合理派出的人力有 7 成的機率會落在 4-8(人*天)的範圍，則”高”=8，”低”=4。
- 人事成本：
 - 消防人員：基本薪資以外勤最低 5 職等年功俸(如隊員)計算，每天薪資平均 2,058 元；超勤加班費為每小時 222 元，一天以 8 小時計，平均一天 1,776 元，合計 3,834；外勤最高薦任 9 職等年功俸(如大隊長)計算，每天薪資平均 3,080 元，超勤加班費為每小時 350 元，一天以 8 小時計，平均一天 2,800 元，合計 5,880。
 - 協同處理機關：國家公園管理處及林務局，約 3,146 元；其他機關以實際俸點計算。
 - 警察人員：比照消防人員最低 3,834 元，最高 5,880 元。
 - 成本計算以人*天，如
- 後勤成本：糧食、裝備、燃料等後勤成本，以 102 年大劍山黃姓登山客案例分析約占 5%，不同救援天數、地區每天消耗成本差異不大。(註：比例的計算係以消防人員之金額為基礎。)

案由	天數	消防人員		協同機關人員		糧食、裝備、燃料	
		金額	比例	金額	比例	金額	比例
臺中市(大劍山)	11	1426248	100%	459580	29%	64834	5%

- 救援費用除人事成本、後勤成本外，另徵調(用)機關、團體或民間使用搜索犬、救災機具、車輛、航空器等裝備、土地、建築物、工作物，與所需飼料、油料、耗材及水電費等費用以實價另計，以航空器油料、耗材為最高。依 106 年內政部空中勤務總隊公布飛行成本 UH-60M 型直升機(黑鷹)每小時飛行成本為 194,727。

資料來源：中華民國產物保險商業同業公會，蔡(2021)整理。

本研究綜整國外山域事故迷途者行為模式與搜索理論，重新審視國內搜索作業應重視迷途者資訊管理及善加分析利用，嘗試透過國內山域事故歷史案件統計分析，確立國內登山族

群迷途者行為模式，並結合地理空間資訊系統，作為本研究之探討重點，期望能提供山域事故指揮與幕僚人員作為決策判斷工具，縮短各地消防機關間救援能力落差與達到資源有效利用。

臺灣山域事故救援現況在跟時間賽跑前提下，地方消防機關如何在前述「熟悉」度不足困境上，尋求搜尋作業改善空間，本研究嘗試透過下章搜索作業探討作為介紹，透過歷史事故案件數據分析、圖資以及地理空間資訊系統輔助，提出一套作業搜索作業模式進行說明，將資源投入最有效率的方法中，期許未來可提供國內指揮及幕僚作業輔助性參考工具。

二、搜索作業探討

(一) 搜索理論

「搜索理論」的主要概念：「在於既有的搜索資源下，以某種方式分配給定量的搜索工作量，在搜索時間和空間存在的條件下，可以最大程度地提高機率，成功找到搜索目標的可能性，並最大程度地減少了找到目標物的時間。」。「搜索理論」的應用，在於可作為三個相關的計劃任務：(1) 界定初始搜索區域和細分；(2) 評估搜索效果(3) 基於成功性分配後續資源優先順序(蔡，2021)。

Syrotuck 迷途者分類與被尋獲距離概率環研究工作，是通過搜救統計數據進行分析，他分析了 229 件案例將數據分為六類，並根據統計學創建了搜索距離概率環(Syrotuck, 1976)。國際間對於迷途者行為模式研究權威 Robert Koester，進一步利用四分位數，以 IPP 與事故者被尋獲點間距離、高程、事故地特徵與迷途者行為模式，修正為現今 IPP 搜索距離概率環(Koester, 2008)。

IPP 搜索距離概率環，通常是從 IPP 繪製與迷途者 2 點間直線距離環。為了能瞭解歷史各迷途者相對應於 IPP 間直線距離，Robert Koester 運用了四分位數去表現下四分位數(25%)，中位數(50%)，上四分位數(75%)和 95%的距離；換句話說這提供了搜索指揮官或幕僚作業人員，對於事發當下，新迷途者可能分布於環內各環至 IPP 間所占機率，同時亦賦予搜救隊伍第一時間可於 IPP 距 50%區間距，依現地特徵、迷途者行動距離推估等資訊，進行快速搜索，提高相對成功機率。

對於我國消防機關來說，在山域熟悉度弱勢下，對於執行山域搜索作業，假如無法得知當事人當下位置，又無法達成聯繫情況下，那就成了大海撈針般機率性問題。指揮官與幕僚群，將面臨不知從何找起，以及該如何限縮劃定搜索範圍，投入多少搜救資源的管理性問題(蔡，2021)。

(二) 迷途者行為模式

對迷途事件搜救指揮與幕僚群來說，初始搜索作業點到尋獲點間歐幾里得距離距離 (Euclidean distance)，也就是兩點之間直線距離，對於搜索範圍界定重要性，遠大於瞭解迷途者實際行走距離，實際行走距離受到多個變量影響，例如地形類型、地形密度、天氣及當事人心理，最重要的是，指揮與幕僚群要知道是，過去迷途者在這距離間所占百分比，來判斷搜尋機率高低，便於進行搜救資源分配，而不是知道迷途者是如何抵達迷途地點。Syrotuck 的研究的樣本量雖小，但是他的搜索距離概率環在美國相關搜索管理教科書中都已眾所周知並得到了總結 (蔡，2021)。

此外還有心理學教授 Ken Hill 研究了迷途者的生理反應，並撰寫了許多有關失蹤者行為的文章，包括癡呆或智力低下族群。他也發現老人在戶外發燒迷途時，走的路要比認知障礙的流浪者走得更遠。其他人則在迷途者行為中仿效了這些早期研究，蒐集更加本地化的數據，以便於在當地國搜索作業中使用，如來自英國 Perkins 等和澳大利亞 Twardy 等之研究(Doke, 2012)。

迄今為止，對於迷途者行為模式最全面分析者，是來自美國 Robert Koester，dbS Productions 搜救培訓公司首席執行官。延續前人統計分析，他是第一個透過海量迷途事故者族群蒐集，並按事故地點生態區域進行分類，除以 IPP 搜索距離概率環修正 William Syrotuck 搜索距離概率環外，並加入迷途者高程、偏離角度、尋獲地形、路徑偏離距離、移動時間及生存狀態等統計分析，並陸續發表於國際搜索與救援事件數據庫 (ISRID, International Search & Rescue Incident Database)，報告了 41 個主題類別，其中包含 50,000 多次迷途者搜救事件，同時也提出了初始搜尋策略及其他迷途者情資調查問題建議，編著了迷途者行為模式(Lost Person Behavior)一書提供給當代搜救團隊最具數據化權威性參考(Koester, 2008)。

(三) 快速反應作業

本研究透過山域搜索管理訓練，來自美國過去擔任過首席巡山員、國家公園管理處處長、搜救調度官的 Hugh Dougher 表示，基於迷途事件代表著攸關生命緊急事件，認為搜索作業不該著迷於數學邏輯計算與推理上，因為生命亦將隨著時間一分一秒流逝，同時在事故現場從事計算作業，很容易陷入現場作業緊張感，代入計算者主觀意識，進而影響決策，例如，當計算出 IPP 下坡處擁有較高 80%成功機率可搜索到目標，便放棄 20%區域，分配資源於高機率區域避免人員疲累，像這樣的數學迷思有可能影響著搜救計畫擬定與執行。

Hugh Dougher 認為相關數據研究，提供的是一個方向，而非絕對性指標，最重要的是儘早執行初期快速反應行動。因此部分實踐者採取行動手段，根據搜索目標初步情資包含人事

背景（年齡、性別、身心健康狀況、經濟狀況、社交等）、事發地山域圖資、天文氣象、事發地點目擊者（隊友、其他登山者）及可參考證據（迷途者登山前計畫、現場遺留證據保全調查等）等資訊蒐集（蔡，2021）。

搜索隊伍指揮官則依據調查所得結果劃定搜索範圍，派出快速搜索隊，體能佳、裝備足，能快速往返的隊伍先進行步道上勘查，更有實務者如 Robert J.Koester 依據前節所述迷途者行為模式資料，制定出搜救人員快速反應作業程序，又稱為腳踏車輪快速反應(Bike Wheel Model)，供搜救人員快速確定初始任務，如圖 3。

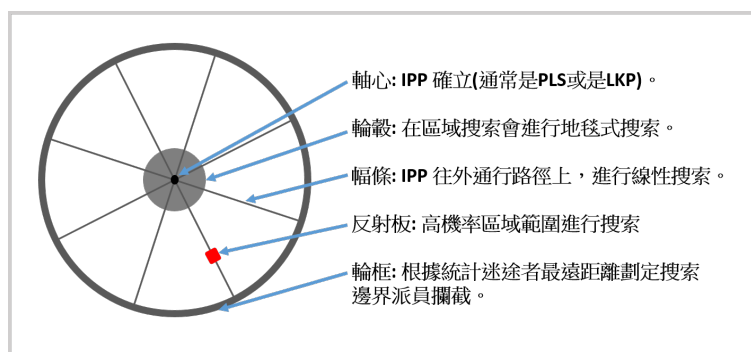


圖 3 腳踏車輪快速反應(Bike Wheel Model)示意圖
(資料來源：dbS Productions，本研究翻譯繪製)

Bike Wheel Model 決定初始搜索作業程序如下：

(1) IPP 確立 (軸心)

- 針對迷途者 IPP 初始搜索作業點進行確立，並立即派遣快速搜救小組、路徑追蹤犬、航空器等搜索資源，在 IPP 位置展開搜尋，必要時反覆搜尋，直到確認迷途者行進方向。
- IPP 通常是當事人最後被目擊的地點(PLS, Point Last Seen)，例如同行者或步道上山友報告、監視器影像等，或是最後已知的地點(LKP, Last Known Position)，例如當事人報案敘述、登山計畫目標、當事人登山前網路查詢紀錄、留守人或親友轉知等訊息地點。

(2) 攔截點設置 (幅條、交叉幅條及反射板)

在步道、小路、登山口、景點（如營地、停車場、休息亭）等位置調派後續支援人力設置攔截點，以及透過統計數據上最大行進距離，在事故地圖資上確立搜索邊界（最遠距離），並視人力往 IPP 點前進攔截迷途者。

(3) 區域搜索 (輪轂)

- 以 IPP 搜索距離概率環(25%)為邊界區域內，進行地毯式搜索，尤其是在 300m 或更短距離內進行至少 2 次地毯式搜索，以發現當事人可能遺留下來事跡(線索)為主要搜索目標。

B. 有關 IPP 搜索距離概率環，將在下章進一步說明。

(4) 線性搜索 (幅條)

將快速搜索小組分配於事故地 IPP 點可往外通行路徑上，例如小徑、主徑、水文線（野溪、小河、緩稜或其他可供通行路徑等）進行線性搜索，直至斷崖、大河等可能阻止當事人移動決定點為止。

(5) 高機率區域搜索 (反射板)

將搜救小組、路徑追蹤犬、航空器等搜索資源，分配於統計上熱點區域範圍、高危險性、過去歷史位置、及可能吸引當事人區域(取決於當事人族群分類)進行區域搜索。

根據 ISRID 歷史案件統計分析，多數迷途者第一時間偏移 IPP 點間區域，將落於 25% IPP 距離概率環中，對應於 ISRID 所蒐集迷途者所走的下四分位數(25%)，中位數(50%)，上四分位數(75%)和 95%的描述統計分布距離結合路徑線、水文線、障礙線，

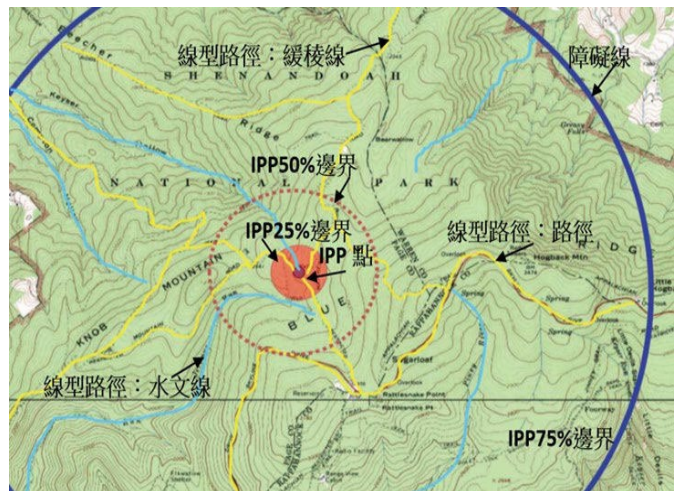


圖 4 以 IPP 劃定初始搜索範圍情形 (Stoffel, 2006)

三、臺灣迷途者行為模式結合 IPP 搜索概率環

本研究仿效美國搜索作業核心之一，迷途者行為模式統計及 GIS 應用，作為改善山域事故搜索作業策進方法，乃就臺灣山域事故迷途案件進行彙整，並以登山活動目的為主題，並就相關資訊進行分類，以建立臺灣登山族群迷途者行為模式。

(一) 案件彙整

為瞭解臺灣山域事故迷途者行為模式，搭配內政部消防署救災救護指揮中心災情通報資訊過濾，本研究為配合 Quantum GIS 製圖及 Google Earth 疊圖座標精準度所需，茲就研究範疇所需類別製表如表 1 所示，案件以內政部消防署山域意外事故救援資訊管理系統自 2015 年建置至 2021 年間為研究樣本，救援事故案件中，迷途案件占 38%；遲歸（失聯）案件占 4%，如圖 5 所示。

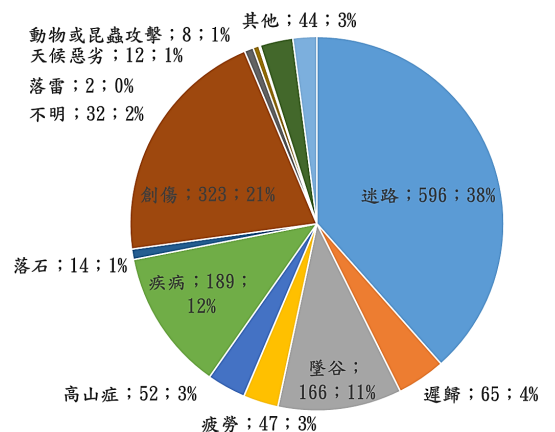


圖 5 民眾求援事故態樣圖
(資料來源：內政部消防署)

表 2 迷途及失聯（或遲歸）案件分析表（蔡，2021）

1.縣市與搜救時間	<p>郊山型山區消防分隊據點多，集結動員人數快且多，加上行動通訊網路較無通訊不佳之處，可透過值班人員視訊或報案 APP 軟體引導，迅速獲得馳援，因此於 24 小時內尋獲比率為高；反之，若山域為多以中央山脈所生迷途事件，地處偏遠，山區消防分隊據點少，行動通訊不佳，搜索或引導較耗費時；搜索時間長短與迷途者生存機率間並無絕對關聯，全臺案件數與搜索時間比例，24 小時內為 82% 超過 24 小時以上為 18%。各地發生迷途案件，以易發生迷途次數頻率而言，前 5 名依序為臺中市(137 件)、新北市(128 件)、南投縣(88 件)、新竹縣(76 件)及桃園市(62 件)，如表 3 所示。</p>
2.距 IPP 狀態(上下坡)	<p>本項次發現，受限研究資料樣本數，無法完整呈現迷途者如保持上坡求援，是否有助提高存活機率；惟實務救援中，經常發現迷途者嘗試上坡，主要目的在於尋求通訊訊號，對於求援是有助益的，且再次發生意外機率遠低於下坡者。</p>
3.尋獲地型	<p>本項次發現迷途者尋獲（或原地等待）地形主要為密林，其次依序為可通行路徑，本項次將就密林情形，結合數值地形模型(DTM, Digital Terrain Model)，及常態化差值植生指標(NDVI, Normalized difference vegetation index)進一步套圖驗證改善搜索作業效率中，植被影響關聯性。經新聞報載，臺灣迷途者倘發生迷途時，在苦等救援人員抵達前，倘周遭環境接鄰溪谷情況下，多因心理恐慌及生理需求因素，嘗試下切溪谷尋找出路，遠多於待在原地求援情形。</p>
6. IPP 與步道偏移距離	<p>IPP 與步道坐標點位與尋獲點間距離，為本研究主要核心-搜索範圍參考劃定所需，為求 2 點間直線距離精準，本次係使用 Google earth 路徑功能，尋獲點與 IPP 間海高度差異透過 Google earth 來進行測量，如圖 6 所示。</p> <p>步道偏移距離測量，除套疊紙本地圖轉換，測量圖資步道與尋獲點間距離外，另本研究徵得魯地圖(Taiwan Topo)工作者同意，取得 2020 年全臺登山客軌跡，以補齊步道圖層不足（截至 2020 年 12 月，山域管理機關所轄步道、路徑多提供大眾化、熱門路線），如圖 7 所示。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="363 1435 919 1794"> </div> <div data-bbox="935 1435 1410 1794"> </div> </div>

圖 6 IPP 與尋獲點間直線距離測量方式

圖 7 紙本圖資套疊測量方式

表 3 直轄市、縣（市）消防機關山域意外事故迷途案件統計表（蔡，2021）

縣市別	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	合計
臺北市	13	12	7	11	4	4	3	54
新北市	11	12	14	7	0	47	37	128
桃園市	11	5	12	10	3	14	7	62
臺中市	15	12	23	16	8	37	26	137
臺南市	0	0	0	0	0	0	0	0
高雄市	0	0	0	2	1	3	1	7
基隆市	0	1	1	0	0	0	0	2
新竹市	0	0	0	0	0	0	0	0
嘉義市	0	0	0	0	0	0	0	0
宜蘭縣	0	2	7	5	2	3	1	20
新竹縣	2	7	2	19	15	20	11	76
苗栗縣	4	13	4	9	2	13	6	51
彰化縣	0	0	1	0	0	1	0	2
南投縣	4	12	10	9	17	24	12	88
雲林縣	0	0	0	0	0	0	0	0
嘉義縣	0	0	2	4	2	10	6	24
屏東縣	2	0	6	6	5	14	6	39
花蓮縣	11	5	13	2	3	6	10	50
臺東縣	1	0	1	0	3	2	2	9
澎湖縣	0	0	0	0	0	0	0	0
金門縣	0	0	0	0	0	0	0	0
連江縣	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	74	81	103	100	65	198	128	749

資料來源：為各縣市消防機關所報資料。

（二）IPP 搜索距離概率環

Willam Syrotuck 是最早提出統計學分析研究者，對迷途者行為分佈產生深遠的影響，以至於相關搜索管理手冊在對於統計學說明上，仍多半沿用常態分佈說明。Robert J. Koeste 透過海量數據分析發現，山域事故迷途者與 IPP 間距離並不呈現常態分析。國際間對於迷途者行為模式研究權威 Robert Koester，延續前人 Syrotuck 迷途者分類與被尋獲距離概率環研究工作，進一步利用四分位數，對於 IPP 與事故者被尋獲點間距離、高程、事故地特徵與迷途者行為模式，修正為現今 IPP 搜索距離概率環（或同心圓），如圖 8 所示。

IPP 搜索距離概率環，通常是從 IPP 繪製與迷途者 2 點間直線距離環。為了能瞭解歷史各迷途者相對應於 IPP 間直線距離，Robert Koester 運用了四分位數去表現下四分位數(25%)，中位數(50%)，上四分位數(75%)和 95%的距離；換句話說這提供了搜索指揮官或幕僚作業人

員，對於事發當下，新迷途者可能分布於環內各環至 IPP 間所占機率，同時亦賦予搜救隊伍第一時間可於 IPP 距 50% 區間距，依現地特徵、迷途者行動距離推估等資訊，進行快速搜索，提高相對成功機率。

對於我國消防機關來說，在山域熟悉度弱勢下，對於執行山域搜索作業，假如無法得知當事人當下位置，又無法達成聯繫情況下，那就成了大海撈針般機率性問題。指揮官與幕僚群，將面臨不知從何找起，以及該如何限縮劃定搜索範圍，投入多少搜救資源的管理性問題。

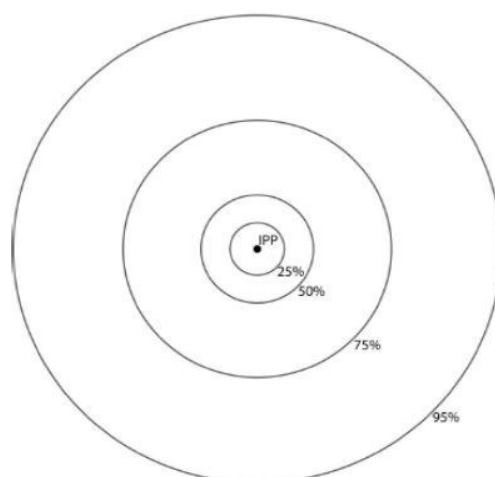


圖 8 IPP 搜索距離概率環 (蔡, 2021)

本研究樣本係從各縣市所填報資訊過濾可用數據外，擇定特定縣市製作 IPP 搜索距離概率環，另外亦就步道與登山客軌跡偏移距離及具 IPP 海拔高度進行統計，如下表 4。

表 4 臺灣 5 縣市 IPP、步道偏移、距 IPP 高度距離概率表 (蔡, 2021)

縣市別		IPP(m)	步道(m)	距 IPP 下坡高度(n=178)
臺北市(*42) *為樣本數	25%	284	148	45
	50%	619	182	262
	75%	1131	245	502
	95%	4260	667	912
臺中市(51)	25%	415	149	75
	50%	840	319	344
	75%	1369	772	712
	95%	8190	1584	1356
苗栗縣(42)	25%	1019	197	65
	50%	1412	390	234
	75%	2181	761	496
	95%	6061	1260	1058
南投縣(45)	25%	509	207	82
	50%	1115	461	279
	75%	1719	891	502
	95%	4400	1623	1972
屏東縣(45)	25%	183	152	65
	50%	320	183	244
	75%	831	334	586
	95%	3438	1930	1186

資料來源：蔡(2021)彙整，其中距 IPP 上坡樣本總數 47，且分布各縣市態樣不等，因而暫不列為本次研究參考值。

四、E化搜索作業應用案例

本節將就 2020 年 6 月 6 日屏東縣某副院長攀登棚集山案，基於前述搜索理論與進行地形分析，加上行動通訊基地臺製作視域分析圖，與迷途者可通行之地理特徵，結合臺灣迷途者行為模式推估，擬以此案例展示前述「二、搜索作業探討」與「三、臺灣迷途者行為模式結合 IPP 搜索概率環」的作業程序；從而解說採用數位化的空間資訊建立 e 化搜索作業的優勢，可使決策者更能視覺化判斷，並以數據化證據，排除搜救現場疑慮，提升現場搜索作業效能。

(一) 確立初始搜索作業點(IPP)

救災救護指揮中心受理報案或轉報後，釐清當事人最後目擊點或已知點作為 IPP 確立。

(二) 快速搜索

快速搜索路線主要以受理時詢問之主要攀登路線為主，並隨路線上易迷失路徑(如緩稜、獸徑、叉路、錯置登山布條等)搜尋可疑跡象，此時搜尋狀態呈現線狀搜索。

本案當事人之最後目擊點為與友人最後會面點，便以先行登頂為由離開，標示 IPP 位置及棚集山三角點方向後，先派遣快速搜救小隊 2 至 4 名人員，前往 IPP 周遭與往三角點處進行搜索，並以當事人可能留下事跡為搜索重點，如圖 9。



圖 9 IPP 位置確立及標示迷途者最後行進目標

(三) 圖資分析建立搜索熱區範圍

基於全臺山城管理機關步道圖資取得有限，選擇魯地圖(Taiwan TOPO by Rudy http://rudy.basecamp.tw/taiwan_topo.html)所提供全臺登山客軌跡試作。

從 IPP 距離概率環觀察如圖 10，本次驗證目標即位於過去迷途者行為模式之機率範圍 75%內，然依本次模擬初期救援行動開始時，即可根據概率圖及步道偏移圖，協助指揮與幕僚群先規劃初期搜索區域，優先派遣快速搜索小隊以

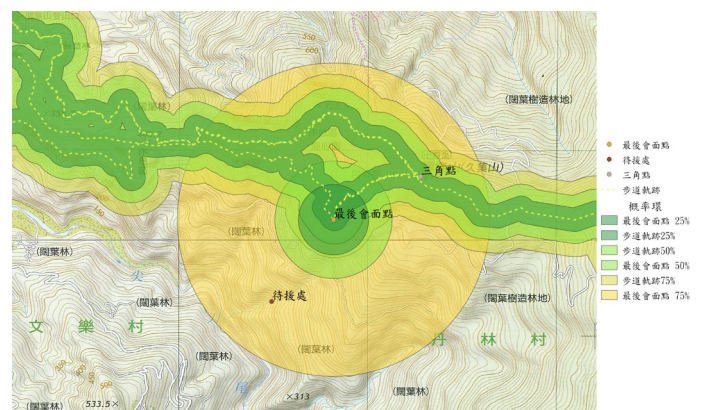


圖 10 IPP 距離概率環與步道 Buffer 圖資

IPP 概率環 50%(320m)及步道 50%(182m)範圍內進行搜索，因為 50%機率範圍內搜尋面積小，且將更高機會於初期搜尋到迷途者留下跡證甚至當事人，搜索小隊行動時亦可獲得需往外推進搜索距離心理準備，同時對應攜帶足夠裝備(包括繩索)。

1. 數值地形模型(DTM, Digital Terrain Model)資料整合表

表 5 DTM 資料整合表 (蔡, 2021)

坡度	水文線
<p>前述統計數據中，80%迷途者選擇下坡處移動，本項次以臺灣 20m DTM 資料，選擇屏東縣棚集山地區 DTM 切割範圍來進行坡度分析；至於坡度選擇數值，國外即有學者，以度為單位測量傾斜層的傾斜度，並分析遠足類型人員無法穿越 60° 以上的物體(Doherty, 2014)。</p> <p>因此本項次將以 60° 到 90° 間透歷史事故座標進行比較，最終選擇坡度 70° 向量化後，作為迷途者行進障礙圖層，此外，坡度 70° 除作為障礙外，也有可能是迷途者跌落區，指揮與幕僚可藉此，綜觀事故地觀全貌，指引現場搜救小組做出反應。</p>	<p>透過 DTM 分析現場水文線，部分潛在水文線於一般紙本地形圖資（如上河文化出版地形圖）並未呈現，除了熟於地圖可逕就判斷稜線與水文線差別外，一般人員尚未能輕易辨識，尤其指揮與幕僚人員更易頻度高之救援單位，對於圖資辨識更需累積學習經驗，透過 GIS 分析產出，可加速現場指揮與幕僚人員作業時間，同時結合四位數 IPP 及步道偏移 BUFFER 圖層，藉此判斷吸引迷途者可能性行進區域，如圖 11 所示。</p>

2. 劃定初期搜索範圍

本研究模擬在派遣快速搜救小隊後，持續蒐集相關情資，套疊屏東縣 IPP 概率環 25% 範圍及步道偏移 50% 範圍，連結 IPP 位置周遭可能行進路徑，如山稜線、水文線及步道，作為初期搜索範圍及邊界，並適時提供快速搜索小隊及後續支援搜救隊伍，作為下一階段搜索重點區域，如圖 12 所示。



圖 11 稜線與水文線分析結果

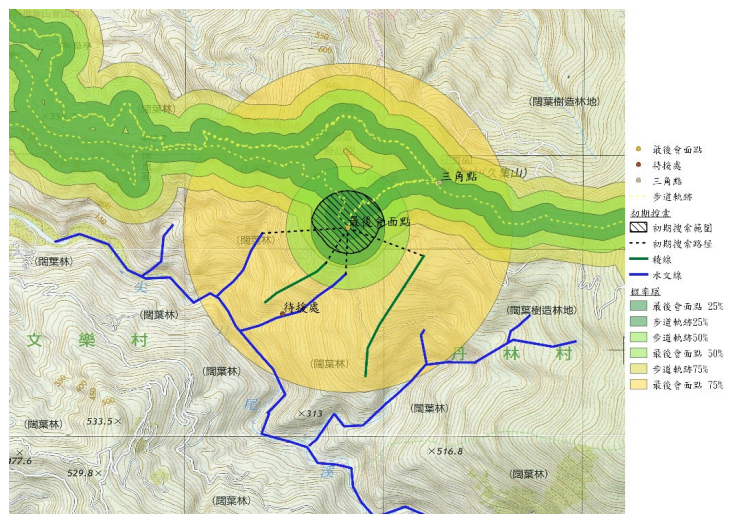


圖 12 劃定初始搜索範圍

3. 邊界內搜索

本研究假設 IPP 周遭及往棚集山方向搜尋未果，快速搜索小隊則於邊界內可依初期搜索範圍及地理特徵路徑進行邊界內搜索，指揮同時可分配後續支援隊伍，於 IPP 50%(320m)範圍內及步道偏移 50%(距離 183m)至 IPP 下坡 50%(244m)及步道偏移 25%(152m)間進行路徑搜索。針對範圍內之溪邊及嘗試下山訊息，加強搜尋鄰近溪邊（藍線）、緩稜（綠線）等可通行路徑搜尋，如圖 13 所示。

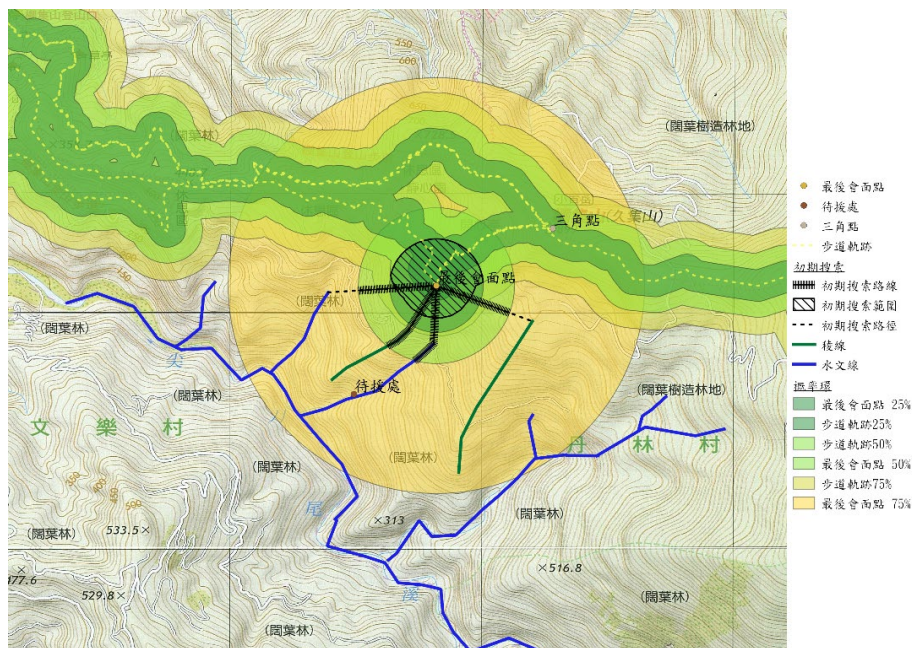


圖 13 邊界內路徑搜索

4. 搜索熱區

a. 常態化差異植生指標(NDVI)

根據前述搜救數據統計分析中，迷途者尋獲時地形為密林占 73.3%，意味多數迷途者將有極高機率位於密林等植被覆蓋區域，然而植被通常會受到氣溫變化、植物型態、地表溫度及微氣候等影響而有所變化，為此，山域管理機關如林務局為測量植物生長之良好指標及監測植物生長面積變化，經常運用常態化差異植生指標（NDVI, Normalized Difference Vegetation Index）作為植物判釋資訊之用。NDVI 是 Rouse et al. (1973)第一次提出 NDVI 的概念，NDVI 的定義為近紅外光波段與紅光段的差值除以兩者之和（Elvidge & Chen, 1995）。

本研究模擬在搜索時間拉長之下，路徑上仍未尋獲當事人相關線索時，則於邊界內根據迷途者行為模式，套疊容易受阻植被與坡度等地形分析圖，並以 IPP 25%（黃色區塊）內及 IPP 50%（淺紫色區塊）內，分配適當搜救隊伍，從原先路徑搜索擴大進行區域搜尋，每次結束搜尋，下次搜尋仍以 IPP 位置作為開始，如圖 14。

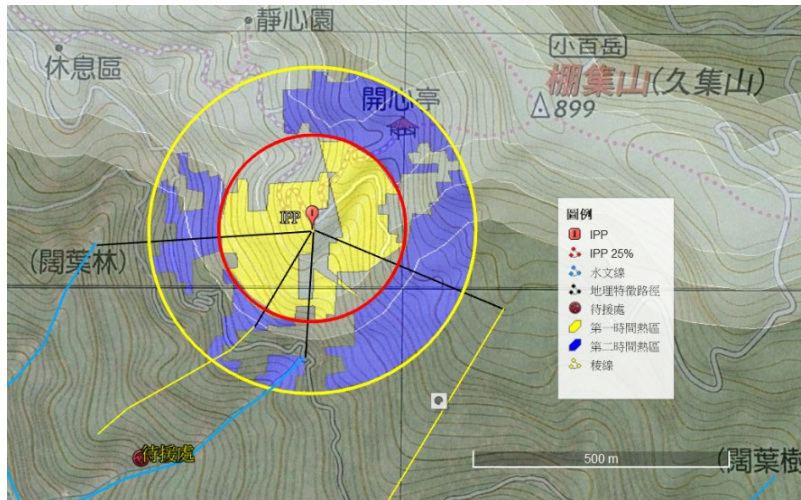


圖 14 搜索時間拉長搜索範圍界定及攔截

b. 封鎖邊界地毯式搜索

再次隨著搜索時間拉長，本研究則套疊 IPP、步道偏移及地形分析 75%圖資，並於邊界上可移動路徑上設置攔截點，避免目標循徑走出，而未有搜救隊伍察覺。攔截點可分配搜索能力較低搜救隊伍留守，並指派隊伍由攔截點往 IPP75%內（淺綠色區塊）進行地毯式搜尋，透過檢視繳回軌跡，反覆派員補足淺綠色區塊；如支援人力足夠，再就 IPP50%區域（淺紫色區塊）內反覆搜索，每次結束搜尋，下次搜尋仍以 IPP 位置作為開始，如圖 15。

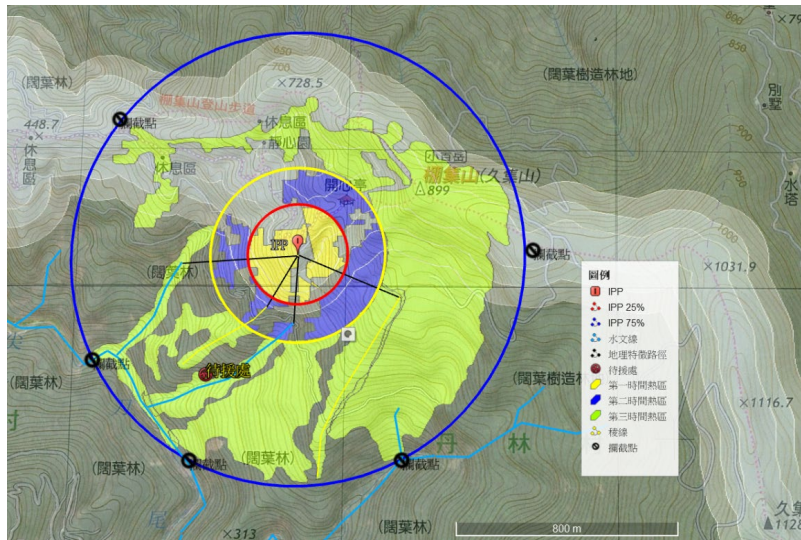


圖 15 封鎖邊界地毯式搜索圖資套疊

(四) 視域分析

目前搜救實務界，嘗試透過 Google Earth 視域分析方法，進行行動通訊涵蓋範圍模擬，視域分析是指找出由一點（具高度）所能觀察或通訊的範圍，常用於評斷景觀的能見度，由

於無線射頻涵蓋範圍與視線所及範圍同理，透過視域分析亦可找出微波或雷達的死角。目前視域分析除可透過 Google Earth 進行操作外，另外亦有提供專業通訊人員及工程師用來設計網絡，檢查覆蓋範圍並發布地圖軟體工具 Cloud-RF，可直接於 Google Earth 進行外掛。

研究樣本數 225 件迷途事件中，僅有 13 件當事人未攜帶通訊裝備，除藉由過去事故及數據推估外，對於行動電話通訊收訊狀況進行推估迷途者可能區域，在過去，救援單位透過當事人行動電話與基地台間的無線電鏈結交遞及註冊紀錄，以三角定位方式，推估手機可能所在位置，然而技術上，可因業者所提供基地臺資訊錯誤而造成誤判。

本研究以屏東縣棚集山案件為例，在取得基地臺座標資訊後，透過軟體模擬便可推估基地臺涵蓋範圍，且具有相當精準可確信度，將搜索熱區圖資套疊於 Google Earth 上，再搭配視域分析，便可得到具參考價值之情資圖層。本案當事人因透過手機簡訊回報之搜救情資，目前透過基地臺查詢與當事人行動電話註冊紀錄，尚需向業者申請查明提供，無法立即知悉，在前面幾個搜索階段尚未尋獲任何情資時，隨時留意通訊查證情形，一旦獲得註冊紀錄，便可透過視域分析，繪製通訊障礙範圍圖資並套疊，如圖 16。

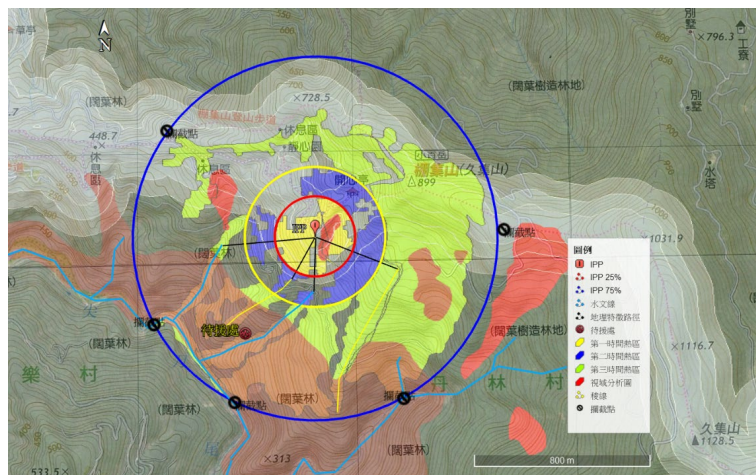


圖 16 排除障礙地形套疊配置（淺綠色區塊）與視域分析圖（紅色區塊為通訊死角或不佳區域）

除反覆派員補足排除障礙地形（淺綠色）區塊外，並以通訊障礙（紅色）區塊內為重點，派員地毯式反覆搜索。每次結束搜尋，下次搜尋仍以 IPP 位置作為開始，套疊配置搜救隊伍進行地毯式搜索。

透過上述確立 IPP、劃定初始搜索範圍、路徑搜索、區域搜索、封鎖搜索範圍、套疊排除障礙地形及視域分析等圖資作業，配合搜索作業程序結果來看，本案當事人尋獲處正位於視域分析後行動通訊為涵蓋處與搜索熱區範圍內，證明 E 化後搜索作業模式確有輔助。將有助於提供各搜救隊伍明白自己所負責搜索範圍邊界以及現地障礙地形，指揮與幕僚人員也易於

從 3D 顯示之 Google Earth 平臺上，更能視覺化對現地地形有所瞭解，同時也能透過各搜救隊伍繳回軌跡，或根據搜救隊報告搜救經過，以瞭解各搜救隊伍實際搜救效能；更重要的是，依據歷史事故迷途者被尋獲與步道偏移等數據，更有利於指揮者向外界說明，而非僅靠經驗或無根據猜測，劃定分配搜救隊伍。

五、應用成果討論與建議

(一) 討論

(1) GIS 分析圖資對於劃定搜索範圍影響

根據本研究查閱國內文獻及承辦山域救援業務瞭解，提出臺灣山域迷途搜索法，統計臺灣山域事故迷途者被尋獲地點與最後目擊點或已知點間距離，以及步道偏移距離，配合 GIS 數值地形分析植被、坡度、水文線以及行動通訊障礙區域視域分析等圖資，劃定山域事故搜索區劃作法，並重新擬定 E 化搜索作業程序，從結果來看當事人亦處於搜索範圍內，係屬國內首創。更重要的是，視覺化的 GIS 圖資可提供未到事故地之指揮與幕僚人員對於現地環境瞭解，以及事故現場搜救人員對於所負責搜索區域，有著水平及垂直間距離上概念(蔡, 2021)。

(2) 迷途者移動路徑選擇對於搜索作業影響

本研究研究提之臺灣山域迷途搜索法，透過空間資訊歸納出地形坡度及常態化差值植生指標，用以定義出臺灣登山族群對於坡度大於 70° 以及 NDVI 值小於 40% 植被地形，即產生抗拒影響登山族群移動路徑，對於搜索過程中係具有參考效益。此外，本次樣本資料本研究先就登山型迷途者進行統計，並著重於 IPP、步道偏移及尋獲時相對 IPP 間高度等數據，以及可能影響迷途者行進地形特徵劃定搜索範圍，未來研究者，如能就性別、年齡、歷史氣候、時間等變量資料對照，進而規劃出之搜索範圍將可更為臻善(蔡, 2021)。

(二) 建議

提供山管機關設置對應設施降低迷途事件發生

登山步道通常是一條連續的線性，迷途事件通常發生在步道的連續性發生模糊時產生，這樣的模糊性包含但不限於獸徑、大石區、碎石區、過溪點、新倒木、新下雪區域、營地區、植被變化、舊步道、舊林道、遇崩壁改道、步道方向轉折等因素而導致路線不再明顯或可預期。這樣的模糊點透過機率概率環及數值地形分析圖，或許可供山域管理機關以低成本、低維護方式設置指引或警示標語，預防迷途事件於無形，並適時於事故好發期間公布，預先預警入山民眾提早預防及因應，同時也可預置相關救援人力，更可進一步做為機關人事預算爭取，是政府部門相當值得考慮的管理策略(蔡, 2021)。

參考文獻

1. Doherty, P. J., Guo, Q., Jared Doke, and Don Ferguson, “An analysis of probability of area techniques for missing persons in Yosemite National Park.”, 2014, pp.99-110.
2. Doke, J., “Analysis of Search Incidents and Lost Person Behavior in Yosemite National Park”, 2012.
3. Frost, J. R., “Principles of Search Theory” Response 17,1999, pp. 2-3.
4. Koester, R. J., “Lost Person Behavior: A Search and Rescue Guide on Where to Look for Land, Air, and Water” ,2008 , pp. 63-92.
5. Koester, R., Cooper, D. C., Frost, J. R., Robe, R. Q., “Sweep Width Estimation for Ground Search and Rescue”, U.S. Department of Homeland Security, 2004, pp. 4.
6. Search and Rescue Optimal Planning System 2021 取自 wikipedia , 點選時間：2021 年 1 月 13 日 , https://en.wikipedia.org/wiki/Search_and_Rescue_Optimal_Planning_System 。
7. Stoffel, R.C., “Managing Land Search Operations”, ER International, Cashmere, W A,2006.
8. Syrotuck, W. G., “Analysis of Lost Person Behavior”, 1976, pp. 23-35.
9. 何中達等,〈山區緊急救援體系檢討與建議之研究〉,內政部消防署委託研究報告(國科會 GRB 編號：PG9302-0656),臺北市,2004,頁 3-4。
10. 林世峻、莊智瑋、何世華、林昭遠,〈植生指標對影像分類準確度影響之研究〉,中興大學水土保持學報,第 40 卷第 03 期,2008,頁 317。
11. 陳世英,〈不同背景群發生山難事故的變項之差異研究〉,碩士論文,臺北市立體育學院,臺北市,2002。
12. 陳龍佳,〈登山隊組織變革與山難事故增加的關聯〉,2015 全國登山研討會論文集,宜蘭縣,頁 54- 55。
13. 楊南郡,《台灣百年花火-清末日初台灣探險踏查實錄》,臺北：星月出版社,2002,頁 263。
14. 蔡明奮,〈應用空間資訊系統改善山域事故搜索作業之探討〉,碩士論文,台北科技大學,台北市,2021。
15. 鄭安晞、陳永龍,〈戰後臺灣山難事故報導初探(1950-2008 年) 〉,2010 國家公園登山研討會論文集,南投縣,2010,頁 122-140。