

航空器失事緊急應變處理之風險因素探討 — 以復興航空 GE235 事件為例

Risk Factors in Emergency Response to Aircraft Accidents – Case Study of TransAsia Flight GE235

張有恆 (Yu-Hern Chang)^{1*}、盧竹瑄 (Chu-Hsuan Lu)²

摘要

2014 年及 2015 年國內發生兩起重大的空難事件，使得國內飛航安全之議題又受到國人的重視。然當空難發生時，為減少損失，緊急應變處理乃為救援之關鍵因素。另外，在安全管理系統 (Safety Management System, SMS) 中，「緊急應變計畫之協調」係屬於「安全政策與目標」之項目，因此本研究將詳加探討航空器失事後之緊急應變風險因素。

為達系統性之考量，本研究利用 AcciMap 意外事件分析為架構，並佐以決策實驗室分析法 (DEMATEL) 與分析網路程序法 (ANP) 進行研究。最後，本研究發現良好之「聯合演練」、完善之「地方政府之地區災害防救計畫」與「監督機制與跨單位整合」之緊急應變能力，將有助減少應變過程中產生疏失，且為緊急應變處理之優先改善項目，可提升航空器失事之緊急應變處理效率，降低應變過程中之疏失。

關鍵字：航空器失事之緊急應變、AcciMap、決策實驗分析法、分析網路程序法、相關性分析

Abstract

According to the records of Aviation Safety Council (ASC) from 2005 to 2014

^{1*} 通訊作者，國立成功大學交通管理科學系特聘教授；聯絡地址：701 臺南市東區大學路 1 號，國立成功大學交通管理科學系；E-mail: yhchang@mail.ncku.edu.tw。

² 國立成功大學交通管理科學研究所碩士；E-mail: chuhsuan111@gmail.com。

in Taiwan, the average aviation accidents rate of transportation operation category airplane was 5.18 per million departures. Many organizations may emphasize risk factors analysis of aviation safety rather than emergency response which can be either a neglected or urgency condition. Therefore, there will also be many uncertain risks in the processes and the procedure needed to be improved.

The purpose of this study is to identify the risk factors grouped into five levels based on AcciMap theory. Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) and Analytic Network Process (ANP) methods are used respectively to analyze the causal relationship and the relative importance of these 20 risk factors via expert questionnaire surveys. Moreover, there is a case study of TransAsia GE235 accident to verify the credibility of the risk factors by using correlation analysis. The result suggests that the top three rankings for the risk factors in emergency response are “Joint training”, “Disaster Prevention and Response Operation Plan from local government” and “Supervisory mechanism and cross-department integrated,” which have a high implementation priority. This paper contributes to emergency response to aircraft accident by developing an AcciMap and the relationship among the risk factors, thereby helping management authorities, airports and airlines improve major operational and managerial weaknesses, reducing the failure possibility related to emergency response to enhance the efficiency as well.

Keywords: Aircraft accident, Emergency response, AcciMap, Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL), Analytic Network Process (ANP)

壹、前言

我國於 2014 年至 2015 年之間發生兩起震驚全球的重大空難事件，根據 Flight Safety Foundation (FSF) 2014 年及 2015 年之線上統計資料顯示，各國空難事件所造成死亡的總人數高達 2,050 人，其中，

在臺灣所發生的事件總死亡人數就占 91 人，分別為復興航空 GE222 與 GE235 兩起空難事件。另外，就我國飛航安全調查委員會 (Aviation Safety Council, ASC, 2015) 飛安統計報告顯示，臺灣自 2005 年到 2014 年國籍民用航空運輸業共計發生 14 起事故 (國際民航組織定義為

Accident)，其機上死亡人數達 48 人，平均事故率為 2.15 次 / 百萬飛時，且為 5.84 次 / 百萬離場。

藉此，航空器之事故傷亡勢必受到重視，然而，當空難災害發生後，事故現場往往是環境複雜、情勢混亂、分秒必爭且須面對執行面所產生許多不確定的風險，緊急應變之處理便為空難發生後之關鍵議題，為的就是能在最短時間內採取適當措施、減少災害後所衍生的各項損失與傷亡。面對未來各種災害的規模與嚴重性可能增加，人類不僅僅只須著重於飛安風險的探討，對於緊急應變系統的瞭解亦變得更加迫切，同時也須發展更多有效率的災害應變系統，以因應不可莫測的未來。

再者，國際民航組織 (International Civil Aviation Organization, ICAO) 於 2013 年發表第 19 號附約 (Annex 19)，主要論及安全管理系統 (Safety Management System, SMS) 之架構與規範，其中緊急應變計畫係屬於「安全政策與目標」之下，而安全管理系統之主要目的又為降低飛安風險，藉此建立組織之安全文化，因此，為因應該系統於航空安全之降低風險的原則，本研究期以安全政策與目標下之緊急應變處理程序詳加探討，進一步關注航空器發生失事後之緊急應變所可能產生之風險。

2015 年 2 月 4 日，我國籍復興航空公司編號 GE235 班機從臺北松山機場飛往金門尚義機場，在起飛後不久即墜毀於臺北市南港區基隆河，造成 43 人死亡之

不幸的意外事故。事故發生後，民航局、臺北市政府、國軍及其他民間慈善與救難團體等相關單位均出動機具與大批人力至現場作業，一同投入大量資源協助救災。而根據媒體報導可得知，救災期間一度因機具過大導致搶救延誤，且因失事地點位在河流中，又正值氣候嚴寒之際，故搶救困難度高。經由此次事件得以瞭解當意外事件發生之時，緊急應變作業將涉及各個層級之相關單位，雖然航空器失事所處狀況各有不同，但由於皆須在最短時間內達致最有效率之搶救，且不論旅客、機場、航空公司甚至災難發生所在地之居民都將因緊急應變處理之過程而受到影響，在在均顯示當航空器發生失事之時，須有即時且妥善之緊急應變處理，且避免於緊急應變處理過程中產生疏失而衍生更多傷害。

然而國內對於航空器失事之緊急應變處理未有一套系統性的風險評估機制，且在過去研究中，也多以緊急應變之關鍵因素各別做探討，較少透過系統性的概念及整體架構來界定緊急應變處理過程中之風險因素，亦未詳述我國緊急應變相關單位在不同層級間之相互關係。因此，為達到系統性之考量，且根據上述之國際規範與國內所制定之程序，我國在航空器失事之緊急應變處理程序上仍須詳加探究其潛在的風險，因應層出不窮的意外事件，降低其所帶來的龐大損失。故本研究希冀能分析緊急應變處理過程中之風險因素，找出重要度高之風險因素以及各因素間之相互

關係，以提升緊急應變處理之效率且供國內各個相關單位改善緊急應變處理計畫之參考。根據上述研究動機，本研究所希望達成的目的如下：

1. 回顧國內外緊急應變之相關文獻，探討緊急應變處理產生疏失之風險因素。
2. 以 AcciMap 為理論基礎，建立航空器失事緊急應變處理風險因素之架構，透過相關單位專家之觀點，找出可能影響航空器失事後緊急應變處理產生疏失之關鍵因素。
3. 結合 DEMATEL 與 ANP，對各層級風險因素進行因果關係與權重值間之分析與排序，可評估各層級之關鍵影響因素，並建立 AcciMap 圖，以供相關單位於緊急應變處理過程之參考。
4. 以復興航空 GE235 失事事件之緊急應變處理為實證對象，透過個案分析瞭解航空器失事緊急應變處理風險因素之重要性，並探討緊急應變處理可改善之處。

貳、文獻回顧

2.1 航空器失事之緊急應變計畫

2.1.1 航空器失事

根據國際民航組織 (ICAO, 2001) 第 13 號附約針對飛機失事 (Aircraft Accident) 之定義：從有人在飛機上意圖飛行開始，至機上所有人離開飛機為止，任何飛機相

關運作產生之下列情況，謂之失事。包含：有人員死亡或重傷之情況、飛機遭到損壞或結構失效或是飛機失蹤或完全受損之情況。另外，依據「災害防救施行細則」對航空器運作中所發生之事故，造成人員傷亡、失蹤或財務損失，或航空器遭受損害或失蹤者，定義為「空難」。

2.1.2 緊急應變計畫與規範

我國之緊急應變相關計畫與手冊皆有參考國際民航組織 (ICAO) 之規範，而其針對空難事件緊急應變處理之相關規範與計畫有 Annex13 (Aircraft Accident and Incident Investigation)、Annex14 (Aerodrome Standards)、Annex19 (Safety Management)。其中，ICAO (2013) 所編訂之「Doc 9859 安全管理手冊 (Safety Management Manual, SMM)」，目前為第三版，於第五章附件三針對緊急應變計畫制定執行細則，以利各相關組織有所依循。其涵蓋項目包含：緊急應變計畫、緊急應變計畫之目的、緊急應變計畫之考量項目、檢核表及培訓與訓練。

然國內之相關規範主要有行政院內政部 (2008) 之《災害防救法》、行政院交通部之《空難災害防救業務計畫》、《交通部民用航空局災害緊急通報作業要點》、《交通部民用航空局空難災害搶救作業標準手冊》、《國內民用航空器空難事件處理原則》與交通部民用航空局 (2004) 之《機場緊急應變計畫應注意事項》，另地

方政府與航空站亦有地區災害之防救計畫與空難搶救作業之處理程序(臺北市工務局, 2015; 高雄國際航空站, 2015)。而本研究針對災害發生後之緊急應變為主要探討階段, 故著重於災害緊急應變之回顧, 其項目分別為: 災情之蒐集、通報、通訊之確保; 緊急應變體制; 搜救、滅火及緊急醫療救護; 緊急運送; 臨時收容; 公共衛生與醫療服務、消毒防疫及罹難者遺體處理; 建立心理諮詢服務; 提供受災民眾災情資訊; 支援協助之受理; 飛航事故調查與其他之緊急應變。藉上述之規範, 可綜整出七大要項, 分別為災害通報、消防搶救作業、傷檢救護作業、現場指揮與管制、罹難者與家屬安置作業、殘骸清運作業以及災後心理輔導。

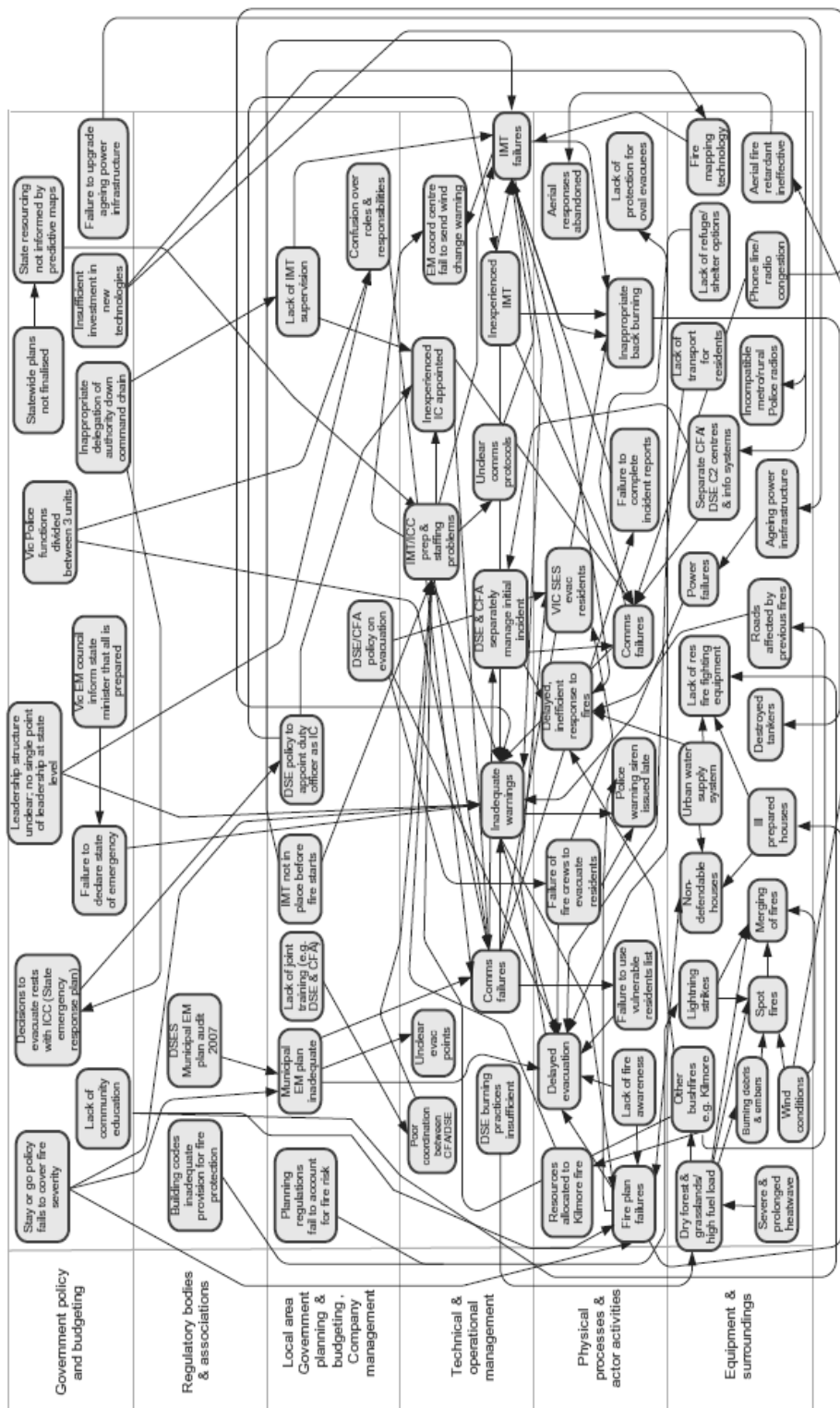
2.2 澳洲森林大火之緊急應變 案例回顧

根據 Salmon et al. (2014) 以澳洲 Murrindindi 叢林大火的事件作為案例, 透過 AcciMap 系統化的方法來探討應變叢林大火時會有哪些影響因素, 並驗證該方法確實是適用於災難應變的分析。Salmon et al. (2014) 將 Murrindindi 叢林大火之 AcciMap 用來驗證 Rasmussen 風險管理架構 (Rasmussen, 1997; Rasmussen, 2000) 對於複雜的社會科學系統所建立的一套完整預測, 是否適用於以系統為基礎架構的災難應變分析。從結果可以得知災難應變會受到各個

層級間不同角色、決策與行動而影響整個系統的績效。

由圖 1 最底層「設備與環境」層級中的因素, 包含環境的條件或是叢林大火本身燃燒的狀態, 例如: 熱浪、叢林與草地乾燥、機具失效等, 而這些因素或許是受到其他層級的影響, 亦可能進一步造成其他層級的疏失; 在「實際過程與參與者行動」的層級則是著重當地居民與緊急應變在地面上的活動, 像是當地居民缺乏火災的意識、延誤撤離居民、警示公告太慢或是溝通上的失誤等都是在實際操作過程中時常產生的疏失; 「技術與作業管理」層級主要著重在事件的管理, 同時涵蓋了層級較高的指揮單位, 其事件管理的團隊與其他單位間的互動也包含在內。例如: 交接不當、沒有足夠的現場資訊、救援團隊未做好相互協調或是沒有實務經驗等。

在「地方政府、公司管理、規劃與預算」中的因素, 像是沒有明確減輕叢林大火風險的計畫、未與其他相關單位進行聯合演練、緊急事件管理的計畫缺乏詳細的資料, 如: 逃生路線、人口數、學校與醫院的位置或是疏散的權責單位等, 這些因素都包含在這個策略層級當中, 主要涵蓋其應變的決策與行動。另外, 市政府在執行緊急應變監督時, 未能察覺其計畫中缺乏準備、應變與回復的詳細內容, 因此該因素便被歸類於「政府主管機關與組織」層級當中的疏失。最後, 在「政府政策與規劃預算」層級中, 政府要決定當地居民



資料來源：Salmon et al. (2014)。

圖 1 Murrindindi 叢林大火之應變 AcciMap

去留的政策相當重要，因此，當該政策無法考慮到火災的嚴重度時，便會有所疏失，另外，缺乏教育社區居民的政策、領導架構不明確、緊急應變的公告疏失、沒有足夠資金投資新的技術，或是老舊的設施不足以應變災害的發生等各項因素皆可能在政府政策與規劃預算層級中導致緊急應變疏失。

AcciMap 近來被廣泛運用於多種類型之事故分析，包含戶外活動 (Salmon et al., 2010)、恐怖攻擊之應變 (Jenkins et al., 2010)、太空旅行 (Johnson and Muniz de Almedia, 2008)、公共衛生 (Vicente and Christoffersen, 2006; Cassano-Piche et al., 2009)、森林大火 (Salmon et al, 2014) 與職業災害 (Goode et al., 2014) 等，但尚無應用在航空器失事之案例。

藉由上述針對 AcciMap 各個層級中的因素做簡單的概述後，得以瞭解 AcciMap 所呈現的結果能夠跨越不同系統層級，並界定各個因素間的相互關係，不僅可以清楚瞭解不同因素在應變過程中的角色，亦可以知道各層級為何會有不同的因素產

生。為了以系統化的角度瞭解且提升災害應變的績效，Salmon et al. (2014) 提出以 Rasmussen 風險管理架構結合 AcciMap 的方法來達成此目的，並透過 Murrindindi 叢林大火的實際案例驗證其結果。Salmon et al. (2014) 最後也認為唯有透過全面性的考量，系統化的基礎分析才得以是最佳災害應變績效的第一步。本研究即參考 AcciMap 應用在 Murrindindi 叢林大火之應變計畫經驗，來探討航空器失事緊急應變處理之風險因素。

參、研究方法與流程

首先本研究為透過系統性的角度瞭解緊急應變處理過程中之疏失，以 AcciMap 之架構為基礎，進行第一階段之專家問卷設計。其流程依序為下圖 2 所示。

參照上述之第一階段專家意見，得以界定一般性之緊急應變風險因素，篩選出適合國內且重要度較高之風險因素，藉以建立第二階段之分析要項；並藉由產、官

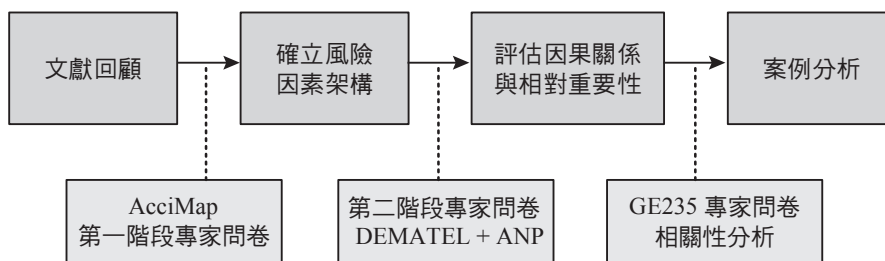


圖 2 研究方法之流程圖

與學界之專家問卷發放，結合決策實驗分析法 (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL) 與分析網路程序法 (Analytic Network Process, ANP) 進行分析，由於本研究所探討緊急應變之各風險因素間具有相依性，故本研究先是透過 DEMATEL 釐清各風險因素間之因果關係，並結合 ANP 之應用，有效處理內外相依之問題，並計算各風險因素之相對權重，排列其優先順序，探討其因果關係與重要度間的影響關係，進而可找出重要度高且應優先改善之風險因素，以利檢視航空器失事於緊急應變處理過程中之疏失。經綜整分析結果後，得以瞭解航空器失事之緊急應變處理過程中各層級之風險因素及其相互影響關係，找出應改善與執行之優先順序。

最後一部分則針對復興航空 GE235 失事事件，進行專家問卷發放，以 GE235 事件為對象，判斷緊急應變處理風險因素之重要性，為探討第一階段之一般性分析與實際案例兩者結果是否有明顯的共變關係存在，將其進行相關性分析，以利驗證本研究所篩選之風險因素之可信度。

肆、風險因素研擬

本研究參照 AcciMap 之六個層級作為基礎，藉由「政府政策與預算」、「政府主管機關與組織」、「地方政府、公司管理、

規劃與預算」、「技術與作業管理」、「公/私部門實體過程與參與者行動」、「設備與環境」作為影響緊急應變疏失因素之分析構面，然而，因「政府政策與預算」及「政府主管機關與組織」皆屬中央政府之層級，故本研究將此兩構面合併做討論，並以此架構擬定各個層級之風險因素，如圖 3。而其中風險因素之擬定是參照過去相關研究，並基於國內外法規以及各相關單位之緊急應變作業所研擬。此外，為使各層級所涵蓋之風險因素更具代表性，本研究透過第一階段之專家問卷發放，以專家之知識與經驗作為基礎，進行風險因素之界定，並篩選出重要性較高之風險因素，以利組成 ANP 之分析架構。

伍、實證分析

本研究旨在找出航空器失事緊急應變處理過程中重要之風險因素，第一階段專家問卷共發放 17 份，回收 17 份；第二階段專家問卷共發放 26 份，回收 25 份；針對 GE235 事件之專家問卷因受限於有接觸該事件之專家人數較少，故共發放 8 份，回收 6 份，問卷對象囊括機場與航空領域之產業界、政府機關與學術界之專家。產業界含中華航空、華信航空、臺北航空站、臺中航空站、高雄航空站、桃園機場公司與臺灣航勤公司；政府單位含民航局及飛安會；學術界則含五位運輸相關

系統層級	影響失誤之風險因素
政府政策與 規劃預算 / 主管機關與 組織	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">法規是否涵蓋實際緊急應變處理</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">防救災人員之緊急應變教育與資訊</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">投入新技術與更換老舊設備之資金</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">監督機制與跨單位之整合</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">定期更新災害防救計畫之內容</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">適當的指揮鏈</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">緊急應變消息之通報</div> </div>
地方政府、公 司管理、規劃 與預算	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">地方政府之地區災害防救計畫是否完善</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">聯合演練</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">救援預算</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">權責分配</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">風險評估</div> </div>
技術與作業 管理	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">搜救人員之訓練與經驗</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">安全措施</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">緊急應變之 KPIs</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">人員接班或調派</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">救援單位間之溝通協調</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">救援機具之管理及維修</div> </div>
公 / 私部門 實體過程與 參與者行動	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">當地居民之緊急應變意識</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">妥善安置罹難者、傷者與其家屬</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">提供心靈慰助</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">即時通報相關單位與家屬並公告最新資訊</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">各單位 / 媒體間之溝通</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">現場指揮能力與支援單位之派遣</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">搜救人員之人數或疲勞</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">搶救時機</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">確實通知家屬或提供查詢電話</div> </div>
設備與環境	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">救援裝備之數量或機具之使用</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">運輸工具與救援動線</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">評估天氣狀況</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">時間壓力</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">通訊連繫或溝通</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin: 5px;">救援環境</div> </div>

資料來源：本研究整理。

圖 3 影響緊急應變失誤之風險因素圖

科系教授。透過專家問卷之分析，本節共具下列五部分，並有助於提供緊急應變相關單位於實務上執行改善之參考。

5.1 篩選後之緊急應變處理風險因素

本研究採用專家問卷調查方式，首先於前測問卷部分請產業界與學術界一位相

關專家進行修訂，以確認問卷之適用性。另藉由資深及管理階層之航空領域專家提供意見，採以李克特 (Likert) 五點量表進行評分。為避免各構面之風險因素因門檻值設定的影響，造成某些重要風險因素被忽略，或使得構面因素的數量差異太多，因此本研究將各個構面之門檻值酌予降低，以使每個構面至少有四個因素保留到

後續分析網路程序法之分析，亦即採取各構面中排名前四項之風險因素進行後續探討，其結果如表 1。

由結果顯示，「政府政策與規劃預算 / 主管機關與組織」構面之風險因素有「適當的指揮鏈」、「監督機制與跨單位之

表 1 航空器失事緊急應變處理風險因素重要度之幾何平均數

構面	風險因素	幾何平均數	構面間排序	總體排序
政府政策與 規劃預算 / 主管機關與 組織	法規是否涵蓋實際緊急應變處理	3.784	6	27
	防救災人員之緊急應變教育與資訊	4.147	3	11
	投入新技術與更換老舊設備之資金	3.949	5	21
	監督機制與跨單位之整合	4.355	2	5
	定期更新災害防救計畫之內容	3.535	7	30
	適當的指揮鏈	4.439	1	3
	緊急應變消息之通報	3.991	4	17
地方政府、 公司管理、 規劃與預算	地方政府之地區災害防救計畫是否完善	3.991	2	18
	聯合演練	3.974	3	19
	救援預算	3.634	5	29
	權責分配	4.227	1	9
	風險評估	3.890	4	23
技術與作業 管理	搜救人員之訓練與經驗	4.272	3	7
	安全措施	4.290	2	6
	緊急應變之 KPIs	3.349	6	32
	人員接班或調派	3.744	5	28
	救援單位間之溝通協調	4.486	1	2
	救援機具之管理及維修	4.025	4	15
公 / 私部門 實體過程與 參與者行動	當地居民之緊急應變意識	3.045	9	33
	妥善安置罹難者、傷者與其家屬	4.008	6	16
	提供心靈慰助	3.816	7	25
	即時通報相關單位與家屬並公告最新資訊	4.050	5	14
	各單位 / 媒體間之溝通	4.272	3	8
	現場指揮能力與支援單位之派遣	4.553	1	1
	搜救人員之人數或疲勞	4.129	4	12
	搶救時機	4.439	2	4
	確實通知家屬或提供查詢電話	3.810	8	26
設備與環境	救援裝備之數量或機具之使用	4.068	2	13
	運輸工具與救援動線	3.974	3	20
	評估天氣狀況	3.440	6	31
	時間壓力	3.932	4	22
	通訊連繫或溝通	4.209	1	10
	救援環境	3.874	5	24

整合」、「防救災人員之緊急應變教育與資訊」與「緊急應變消息之通報」；「地方政府、公司管理、規劃與預算」構面之風險因素有「權責分配」、「地方政府之地區災害防救計畫是否完善」、「聯合演練」與「風險評估」；「技術與作業管理」構面之風險因素有「救援單位間之溝通協調」、「安全措施」、「搜救人員之訓練與經驗」與「救援機具之管理及維修」；「公/私部門實體過程與參與者行動」構面之風險因素有「現場指揮能力與支援單位之派遣」、「搶救時機」、「各單位/媒體間之溝通」與「搜救人員之人數或疲勞」，由於專家建議該構面中之「各單位/媒體間之溝通」與「即時通報相關單位與家屬並公告最新資訊」可合併討論，因此，本研究將兩風險因素整併為「即時通報各單位、媒體及家屬並公告最新資訊」，最後「設備與環境」構面之風險因素則包含「通訊連繫或溝

通」、「救援裝備之數量或機具之使用」、「運輸工具與救援動線」及「時間壓力」。

5.2 決策實驗室分析法 (DEMATEL) 之風險因素因果關係

為分析航空器失事緊急應變處理風險因素之因果關係，本研究首先將 20 項風險因素分別以 0 至 4 分，作為風險因素間是否具有因果關係及其關聯度強弱之評比，並以 DEMATEL 進行分析，得一總影響矩陣 T ，透過列總和 (i_d) 與欄總和 (r_j) 得其關聯度 (行列和 $D+R$) 與原因度 (行列差 $D-R$)，而此兩項數據可整理為各風險因素間之因果關係 (Gabus and Fontela, 1973)。

根據圖 4 所示，若 $(D-R)$ 值為正，此風險因素歸類為「因」；若 $(D-R)$ 值為負，則歸類為「果」。而本研究屬因群之風

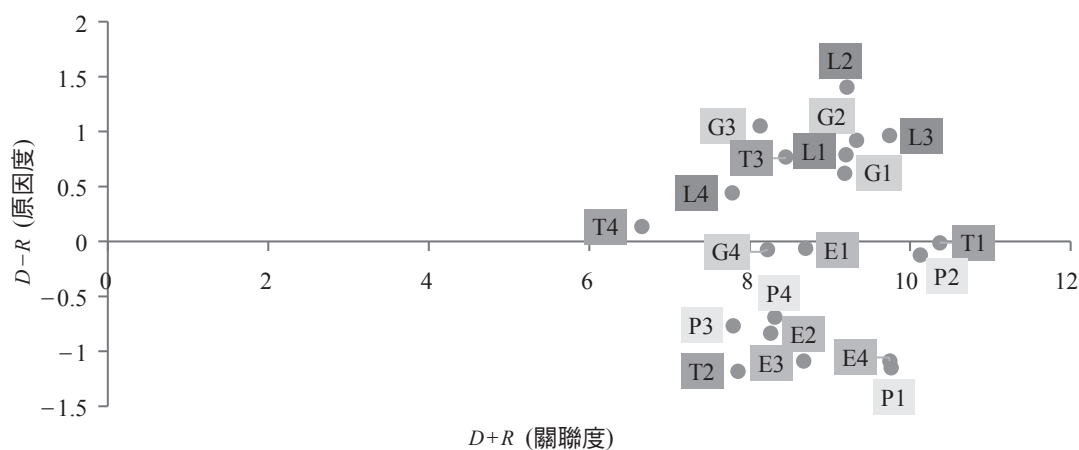


圖 4 航空器失事緊急應變處理風險因素之 DEMATEL 座標圖

險因素共有九項，分別為：G1「適當的指揮鏈」、G2「監督機制與跨單位之整合」、G3「防救災人員之緊急應變教育與資訊」、L1「權責分配」、L2「地方政府之地區災害防救計畫是否完善」、L3「聯合演練」、L4「風險評估」、T3「搜救人員之訓練與經驗」以及 T4「救援機具之管理及維修」。此結果顯示，若航空器失事之緊急應變處理針對此九項風險因素，其可調整改善的彈性與績效較大。本研究以影響程度最大之兩項風險因素作呈現，如下圖 5 所示。

由下圖 5 所示，L2「地方政府之地區災害防救計畫是否完善」及 L3「聯合演練」除未與 T4「救援機具之管理及維修」有顯著之影響外，其餘之風險因素皆有影響關係，此兩項風險因素為因群中與其他風險因素具有最多關聯性之因素，表示若針對此風險因素進行改善，可間接降低許多航空器失事緊急應變處理之疏失。

5.3 決策實驗室分析法 (DEMATEL) 結合 AcciMap

本研究將 DEMATEL 各項風險因素之因果關係結合 AcciMap 架構，透過系統化方法整合各項風險因素，並呈現於一完整架構圖。過去 AcciMap 之組成多建立在專家之主觀判斷或質性方法的驗證之下，然本研究則藉由 DEMATEL 量化專家意見，並結合 AcciMap 方法呈現其結果，下圖 6 共呈現重要度較高之 20 項風險因素，建立航空器失事緊急應變處理風險因素一系統性之架構，各相關單位得以參考此 AcciMap 圖瞭解自身與其他層級間之關係，並作為緊急應變處理改善之參考。

5.4 分析網路程序法之相對重要性

本研究為解決航空器失事緊急應變處理風險因素間相依 (Dependency) 與回饋

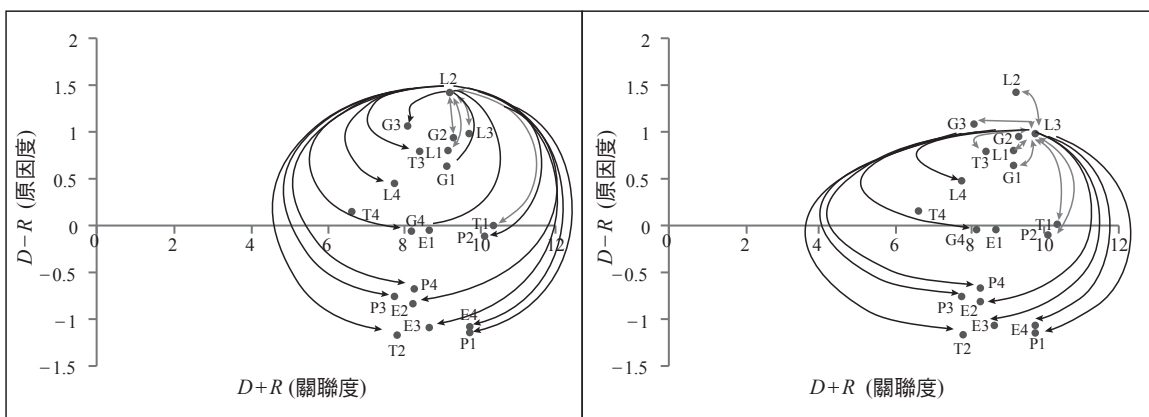


圖 5 L2、L3 與其他風險因素之因果關係圖

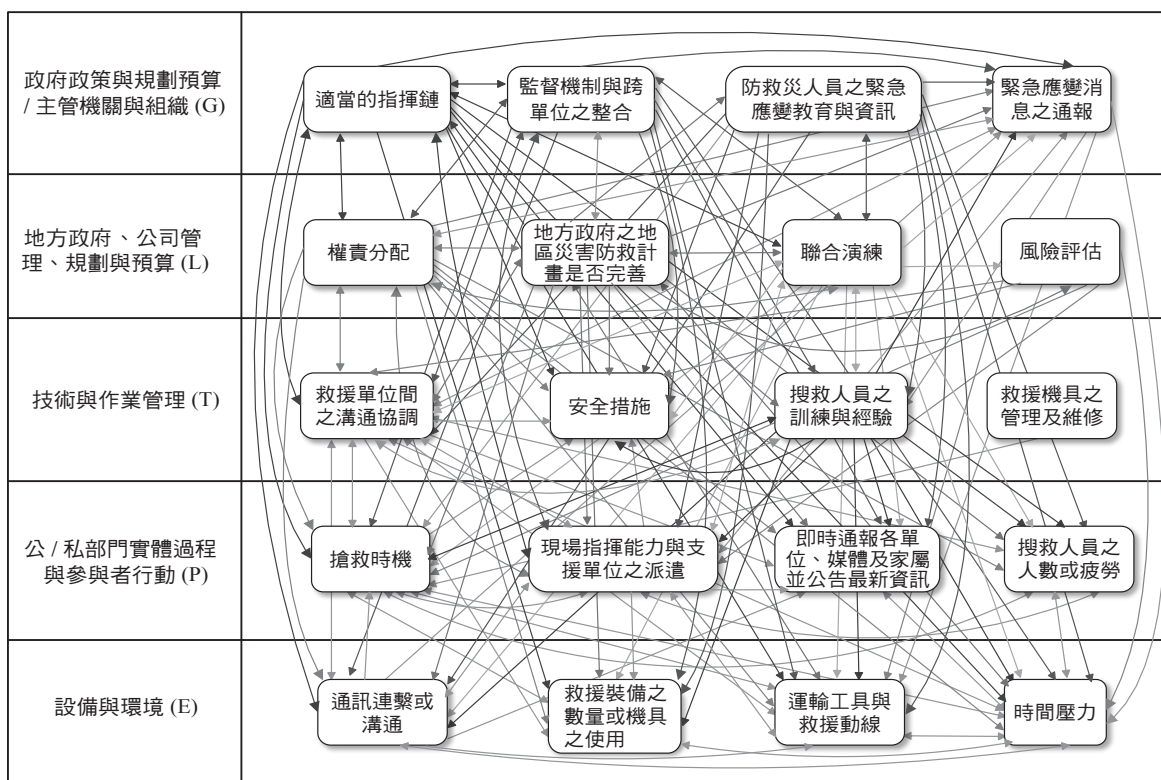


圖 6 航空器緊急應變處理風險因素之 AcciMap 圖

(Feedback) 之網絡關係，透過 ANP 計算出各風險因素間之權重，以對風險因素進行重要度之評估。然欲建構 ANP 之網路層級架構，須先瞭解各風險構面間之相互關係，本研究先是採皮爾森 (Pearson) 相關分析，期進行構面間相關性之探討，然因問卷填答結果變異性過小，使其相關性不顯著，故本研究便根據 DEMATEL 之分析結果，建立航空器失事緊急應變處理風險因素間之因果關係後，可進一步得知各風險構面間內部相依 (Inner dependence) 與外部相依 (Outer dependence) 關係，如圖 7，並以此關聯性作為依據，探討風險因素間

之相對重要性，藉此找出於航空器失事緊急應變處理過程中重要度高之風險因素。

本研究先是利用 DEMATEL 定義航空器失事緊急應變處理風險因素之結構，並分析五大構面與 20 項風險因素間之相互影響關係，依其結果顯示，構面 G「政府政策與規劃預算 / 主管機關與組織」與 L「地方政府、公司管理、規劃與預算」、T「技術與作業管理」、P「公 / 私部門實體過程與參與者行動」皆有雙向影響，而 L「地方政府、公司管理、規劃與預算」又雙向影響 T「技術與作業管理」及 P「公 / 私部門實體過程與參與者行動」，其中 T

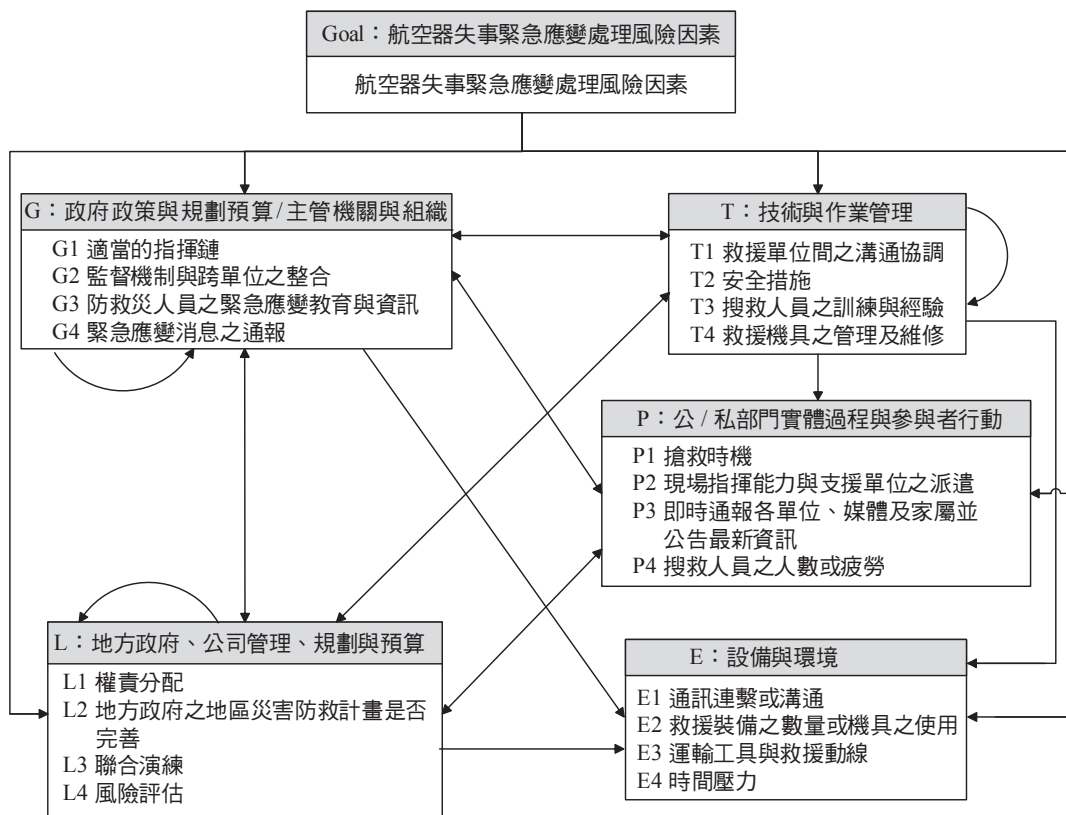


圖 7 ANP 網路層級架構

「技術與作業管理」單向影響 P「公/私部門實體過程與參與者行動」，另 E「設備與環境」構面則受到上述四大構面之單向影響，由於該構面之風險因素皆為果群，且其矩陣中之數值皆低於總體平均值，因此判定其對於上述四大構面並無顯著之影響關係。此外，構面 G「政府政策與規劃預算/主管機關與組織」、L「地方政府、公司管理、規劃與預算」與 T「技術與作業管理」亦與自身有內部相依。

具其影響關係後，得以進行成對比較矩陣之建立，基於 Bodin and Gass (2003)

所提出 C.R. 值小於或等於 0.2 之篩選標準，共剔除 10 份無效問卷，並利用 Super Decisions 軟體 (version 2.6.0-RC1) 進行構面間與風險因素間權重之演算求解，進一步求得構面矩陣、未權重化之超級矩陣、權重化之超級矩陣與極限化之超級矩陣。經上述之演算，整體專家觀點認為影響航空器失事緊急應變處理產生疏失之風險構面，如表 2，由權重高至低依序為：「政府政策與規劃預算/主管機關與組織 (G)」(0.2999)、「地方政府、公司管理、規劃與預算 (L)」(0.2592)、「公/私部門實體過程

與參與者行動 (P)」（0.1825）、「技術與作業管理 (T)」（0.1433）及「設備與環境 (E)」（0.1151）。而整體專家認為影響航空器失事緊急應變處理之風險因素前三項分別為：

1. G2：監督機制與跨單位之整合 (相對重要性：0.1095)

政府單位之角色屬最上層之位階，當航空器發生失事之時，不僅須執行各項緊急應變措施之外，於事件發生前之監督與管理，亦為減少緊急應變處理過程中產生疏失之關鍵因素。根據國內目前空難災害

防救業務計畫之管制與考核，係依照計畫中之各項重點工作自行擬定評估指標並定期檢查，另交通部會選定重點項目，會同主辦單位進行每年一次之檢討作業，其餘則由各主辦單位自行列管。若政府單位徹底落實緊急應變處理之監督與管理，方能使各相關單位事先備有良好的緊急應變計畫與執行。此外，緊急應變處理過程涉及各個層級之相關單位，故中央政府除應監督各級單位外，亦須進行跨單位之整合，如：交通部應與國防部、內政部、海巡署

表 2 緊急應變處理風險構面與風險因素權重之排序 (整體)

構面	風險因素	極限值 (幾何平均數)	整體排序	構面間排序	整體權重	構面排序
政府政策與規劃預算 / 主管機關與組織 (G)	G1	0.0907	3	2	0.2999	1
	G2	0.1095	1	1		
	G3	0.0292	14	4		
	G4	0.0705	5	3		
地方政府、公司管理、規劃與預算 (L)	L1	0.0866	4	2	0.2592	2
	L2	0.0490	9	3		
	L3	0.0970	2	1		
	L4	0.0266	17	4		
技術與作業管理 (T)	T1	0.0587	8	1	0.1433	3
	T2	0.0355	12	3		
	T3	0.0460	10	2		
	T4	0.0032	20	4		
公 / 私部門實體過程與參與者行動 (P)	P1	0.0700	6	1	0.1825	4
	P2	0.0614	7	2		
	P3	0.0235	18	4		
	P4	0.0276	15	3		
設備與環境 (E)	E1	0.0296	13	2	0.1151	5
	E2	0.0222	19	4		
	E3	0.0363	11	1		
	E4	0.0270	16	3		

及地方政府等所整合災情，以有效避免航空器失事緊急應變處理之過程中衍生更多疏失。

2. L3：聯合演練 (相對重要性：0.0970)

根據我國空難災害防救業務計畫對於災害防救演習及訓練之規範，分別針對交通部(民航局、航空站)、民航業者以及地方政府等相關部會進行緊急應變與啟動通報聯繫機制之訓練及聯合演練，其中，須包含跨縣市災害緊急應變之對策、鄰近航空站民眾之災害防救觀念宣導、軍民合用機場共同演習及訓練以及進行聯合演練後之檢討與評估。而我國各級單位目前雖早有進行聯合演練，然國內近兩次重大空難事件之應變處理，仍存在不少須改善之處。就復興航空 GE235 事件而言，有專家認為政務官或是首長不清楚災害防救法之執行細節，缺乏研習之訓練以及決策教育，且跨政府部門之高司推演 (Tabletop exercises) 或實兵演練太少，這也顯示航空器失事緊急應變處理之聯合演練尚須加以落實。

3. G1：適當的指揮鏈 (相對重要性：0.0907)

國內空難事件之應變處置分為中央與地方兩部分，就中央而言，發生重大空難事件係由交通部長擔任指揮官，若是發生空難事件，則由民航局長擔任召集人；反觀地方政府，若重大空難事件及空難事件發生於機場內，由航空站主任擔任該站緊急應變小組召集人，發生於機場外之陸地

上則由事發地點之地方政府首長擔任指揮官，若發生於海上，則由港區管理機關首長擔任指揮官。以復興航空 GE235 空難事件來說，失事地點位處臺北市與新北市之交界處，且估計為重大空難事件，此狀況牽涉中央與地方之職掌，故當時有引起權責單位之爭議。因此，當空難發生時，雖各級單位共同協力救災，但指揮體系明確且單一亦為重要之影響因素。

5.5 DEMATEL 結合 ANP

Tzeng et al. (2007) 提到在進行 ANP 未加權之超級矩陣前，須先透過 DEMATEL 之分析來判斷其內部相依關係，且 DEMATEL 可提供決策時更多有價值的資訊，故本研究先透過 DEMATEL 方法確立各風險因素間是否具有關聯性或是內部相依，再進一步運用 ANP 方法評估緊急應變處理風險因素之重要性，因此，在 ANP 分析過程中會受到 DEMATEL 因果關係之影響，產生其重要性之排序。此小節係整合緊急應變處理風險因素之因果關係與相對重要性，在尚未考量資源之情況下，以分析航空器失事緊急應變處理風險因素之優先改善順序。以下彙整三項值得優先改善之風險因素供相關單位參考：

1. L3：聯合演練

首先，根據 DEMATEL 之結果，前五項風險因素分別為「救援單位間之溝通協調 (T1)」、「現場指揮能力與支援單位之

派遣 (P2)」、「搶救時機 (P1)」、「時間壓力 (E4)」及「聯合演練 (L3)」，然僅有聯合演練屬於因群之風險因素，且權重值排序高，其影響範圍又涵蓋其餘 18 項因素，僅不含「救援機具之管理及維修 (T4)」，其中，與 G1、G2、G3、L1、L2、T1、T3 與 P2 間有雙向影響關係，顯示若航空器失事之緊急應變計畫能落實跨單位之聯合演練，將進一步減少受該項影響之風險因素，並有利提升航空器失事後緊急應變處理之效率。

2. L2：地方政府之地區災害防救計畫是否完善

根據因果關係與相對重要性結果得知，L2 同樣屬於因群，且影響範圍涵蓋 18 項風險因素，與上述 L3 相同，僅不含「救援機具之管理及維修 (T4)」，其中僅與 G2、L1、L3 與 T1 有雙向影響，顯示擬定完善之地方政府之地區災害防救計畫將有助於改善其餘 18 項風險因素。雖整體專家評估其重要性不高 (權重值：0.0490；排名 9)，然若以長遠角度思考，地方政府於航空器失事時，皆須協助救援，並扮演各項協調與調度之應變角色，故於事前著實改善此項風險因素亦可影響各單位執行緊急應變處理之作業，值得先行強化。

3. G2：監督機制與跨單位之整合

該風險因素屬於因群，雖重要度最高，然其影響範圍涵蓋 15 項風險因素，

較上述之風險因素所影響之範圍小，且與六項風險因素有雙向影響關係，分別為：G1、L1、L2、L3、T1、與 P2，表示該風險因素亦容易受到其他項目之疏失而影響，雖本研究未將此風險因素歸為首要改善之項目，但其重要度顯示政府單位仍應優先考量該項風險因素，將有助於降低其餘 15 項有相互關係之風險因素產生疏失之機會。

5.6 復興航空 GE235 班機之緊急應變相關性分析

本節透過有接觸該案之專家進行問卷發放，將上述航空器失事緊急應變處理風險因素專家問卷分析之專家認知均值，與復興航空 GE235 事件之緊急應變處理風險因素分析結果做一比較，並採無母數統計資料分析，瞭解專家對於一般性與 GE235 事件之緊急應變風險因素的相關性，進一步顯示本研究之風險因素於實際案例有其可信度。

相關分析 (correlation analysis) 是探討變數間關係的方向與程度大小的統計方法，其表示有兩種形式，分別為計算相關係數及繪製散佈圖，散佈圖如圖 8 所示。本研究因專家問卷受測人數少，非屬常態分配，而為屬質資料且依類別排列，故採用 Spearman 及 Kendall's τ 等級相關係數分析探討篩選後之一般性航空器失事緊急應變處理風險因素專家認知均值與復

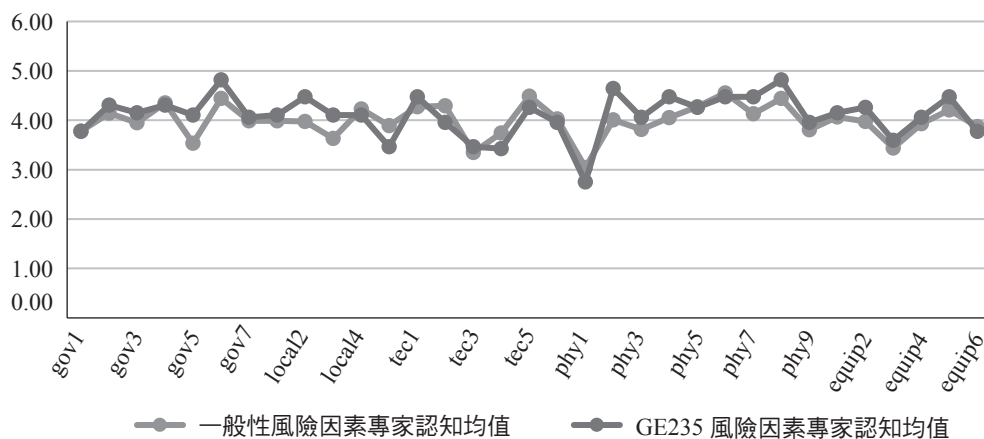


圖 8 一般性航空器失事與 GE235 事件緊急應變處理風險因素之專家認知均值比較圖

與航空 GE235 事件緊急應變處理風險因素專家認知均值之相關性。相關性分析結果如圖 9 所示，在顯著水準 0.01 雙尾檢定測試下，Spearman 等級相關係數 $\rho_s = 0.722^{**}$ ，Kendall 等級相關係數 $\tau_b = 0.551^{**}$ ，相關係數之顯著水準 p 皆小於 0.01，達顯著水準，且可解釋變異量 ($R^2 = 0.609$) 在五點尺度量表下，因變異量不大，故 0.609 已有良好的解釋能力，表示兩結果具有顯著關係，其顯著水準相關強度介於中等至高度相關之間。

經由復興航空 GE235 事件之實證研究結果可以得知兩者間確實存在顯著相關，證明本研究所提之航空器失事緊急應變處理風險因素有其可信度，值得提供相關單位研擬改善計畫、政策制定及教育訓練之參考。

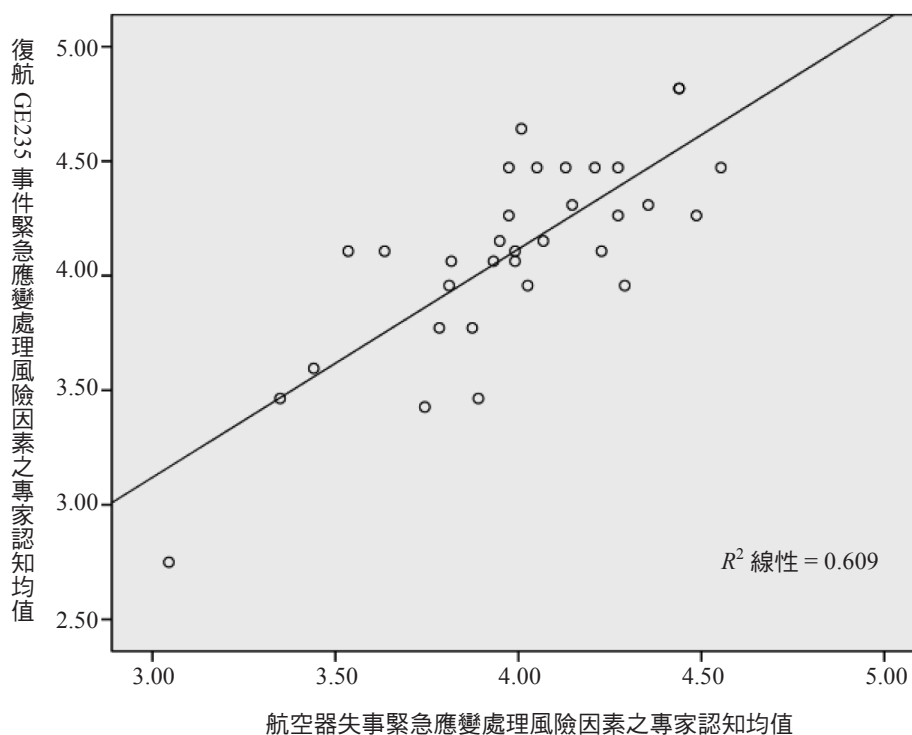
陸、結論與建議

6.1 結論

本研究旨在探討航空器失事緊急應變處理之風險因素，概因緊急應變處理之目的為減少空難事件影響程度，進而避免因緊急應變處理所產生之風險，因此分析於航空器失事後緊急應變處理之風險因素，據以加強緊急應變之管理，對增進航空器失事緊急應變之執行有正面的裨益與貢獻。根據本研究所分析之結果，彙整研究目的與相呼應之結論如下：

1. 研究目的之一：回顧國內外緊急應變之相關文獻，探討影響緊急應變處理產生疏失之風險因素。

綜合國內外緊急應變計畫與實際失事事件之緊急應變探討，本研究發現因航空器失事事件機率低，事件發生後之緊急



註：Spearman $\rho_s = 0.722^{**}$; Kendall's $\tau_b = 0.551^{**}$; ** All correlation coefficients are statistically significant at the 0.01 level (2-tailed).

圖 9 一般性航空器失事與 GE235 事件緊急應變處理風險因素之專家認知均值相關分析圖

應變處理往往容易被忽略，故緊急應變處理過程中之風險有其值得探討之處。透過全面性之觀點回顧國內各級單位之緊急應變作業，顯示最高位階之中央政府扮演指揮、監督與管理之角色；地方政府為落實災害應變中心之運作，則屬協調、聯繫、彙整與調度之單位；然當失事發生於機場內或附近之陸地時，航空站便須扮演緊急應變過程之中樞者，執行指揮、通聯與協調等作業；而失事之航空公司不僅應執行救援與善後，亦是與家屬間溝通之關鍵角色。另綜整國內外緊急應變之相關規範，

本研究歸納出主要七項應變作業，分別為災害通報、消防搶救作業、傷檢救護作業、現場指揮與管制、罹難者與家屬安置作業、殘骸清運以及災後之心理輔導。

2. 研究目的二：以 AcciMap 為理論基礎，建立航空器失事緊急應變處理風險因素之架構，透過專家觀點，找出可能影響航空器失事後緊急應變處理產生疏失之關鍵因素。

本研究採用 AcciMap 作為風險因素架構之基礎，包含「政府政策與規劃預算 / 主管機關與組織」、「地方政府、公司管

理、規劃與預算」、「技術與作業管理」、「公/私部門實體過程與參與者行動」、「設備與環境」五項構面，並透過系統性的思維，建構各級單位執行緊急應變作業所可能產生之風險因素，共計 33 項。

3. 研究目的三：結合 DEMATEL 與 ANP，對各層級風險因素進行因果關係與權重值間之分析與排序，可評估各層級之關鍵影響因素，並建立 AcciMap 圖，以供相關單位於緊急應變處理過程之參考。

經整合 DEMATEL 與 ANP 分析結果，整體專家評估「聯合演練 (L3)」、「地方政府之地區災害防救計畫是否完善 (L2)」、「監督機制與跨單位之整合 (G2)」、「適當的指揮鏈 (G1)」與「權責分配 (L1)」乃航空器失事緊急應變處理最應優先改善之風險因素。此結果顯示整體專家以長遠思考的角度切入，考量上述五項風險因素之影響性，及其所涉及之單位與應變作業項目，可從結果得知航空器失事事件發生前之緊急應變處理風險相對重要且具影響性，因此，透過聯合演練之落實、強化地方政府之地區災害防救計畫以及政府單位監督機制的執行與整合跨單位之救援，並配合適當的指揮鏈與權責的分配，將可避免航空器失事緊急應變處理過程衍生更多疏失，亦有助於後續緊急應變處理作業之執行，進而提升各級單位之整體應變效率。綜合以上之分析結果皆可提供相關單位於緊急應變處理作業之參考。

4. 研究目的四：以復興航空 GE235 失事事件之緊急應變處理為實證對象，透過個案分析瞭解航空器失事緊急應變處理風險因素之重要性，並探討緊急應變處理可改善之處。

本研究透過無母數統計相關分析進行兩階段問卷之航空器失事緊急應變處理風險因素比較，研究結果發現一般性風險因素之專家認知均值與復興航空 GE235 緊急應變處理風險因素之專家認知均值存在顯著之關係，其顯著水準之相關強度介於中等與高度相關之間，證明本研究所擬定之航空器失事緊急應變處理風險因素有其可信度，值得提供國內各層級相關單位之計畫擬定與優先改善之參考。

6.2 實務建議

1. 對政府單位之建議

政府單位應加強督導各相關單位執行航空器失事緊急應變處理之聯合演練，且應協助跨單位之整合，如：可透過情境模擬結合地方政府、機場與航空公司三方面之聯合演練，必要時政府可提供相關資源協助執行，確保各單位對緊急應變重要性之認知，此外，政府單位也應適時檢視緊急應變之指揮鏈與權責是否有做好適當的分配與協調，以確保航空器失事發生時，指揮官得以正確行使職能，掌握救災過程，各救援單位也可清楚瞭解自身的任務。另外，緊急應變需要有良好的施行計畫，因此，地方政府應定期檢討地區災害

防救計畫之完整性，透過每一次緊急應變任務之執行，反覆檢視地區災害防救計畫是否符合實際狀況，亦須持續改善緊急應變計畫程序及相關緊急應變之文件，以提升緊急應變處理效率，將過程之風險降至最低。

2. 對航空站之建議

當航空器失事於機場內或是附近之陸地上，航空站所能提供之消防救援能力及緊急醫療程序對於緊急應變處理有相當大之影響，因此，為提升機場緊急應變處理之效率，航空站須協調航空公司、消防單位與鄰近地區之保全及醫療等單位，進行航空器失事後緊急應變之演練，加強緊急狀況之模擬訓練及溝通，亦或是邀請國外具經驗之專家進行指導。而就本研究結果顯示，救援單位間之溝通協調亦為技術與作業管理構面中最重要之風險因素，故本研究建議各航空站不僅應落實消防訓練與演習之外，亦可藉由過程中之協調配合，協同各級相關單位執行事前之預防。此外，也應確保航空站之消防救援能力皆有符合國際標準，並應建立適當的備援機制，使航空站得以有效處理各類緊急狀況。

3. 對航空公司之建議

航空公司面對空難事件可說是首當其衝，依據本研究結果顯示，搶救時機為公 / 私部門實體過程與參與者行動之最重要的風險因素，由於空難事件發生後，航空公司各個救援小組須即時啟動緊急應變

作業，亦須建立與家屬間之溝通橋樑，因此，建議航空公司應與國家搜救指揮中心保持密切的通報機制，掌握搶救時機。然透過研究結果顯示，搶救時機亦會受到許多風險因素所影響，如上述所提之聯合演練與跨單位之整合，因此，航空公司也應加強人員之聯合訓練，建立人員對緊急應變作業之重視性，避免各小組不清楚本身之負責業務而耽誤救援。

6.3 後續研究建議

本研究僅針對航空器失事事件進行探討，然飛航安全相關事件仍包含航空器重大意外事件、航空器意外事件及非在運作中所發生之地面安全事件，其緊急應變處理之作業會因類別不同而有所差異，建議後續研究可納入其他事件之風險因素進行統整與比較。而本研究在尚未實際考量資源之情況下，並無針對風險因素進行可改善性之評估，建議後續研究者可將此分析納入研究中，並研擬具體之改善措施，使緊急應變處理之作業更加完善。

研究結果之 AcciMap 圖為使各單位得以較清楚並簡易地理解風險因素之項目，故僅呈現專家所篩選重要度較高之風險因素，並未羅列所有影響緊急應變處理產生疏失之因素，建議後續研究可深入分析多項相關風險因素並納入考量，使緊急應變處理之 AcciMap 圖得更完整地呈現。另建議後續研究可加入國內實際執行緊急應變之單位為對象，評估其航空器失

事緊急應變處理之績效，並可結合理想解類似度順序偏好法 (Technique of Ordering Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS) 建立績效評估模式，針對不同單位執行航空器失事緊急應變處理之績效進行評估，進一步探討實際改善之效益。

參考文獻

- 內政部消防署，2008，災害防救法，內政部消防署，臺北市。
- 交通部，2009，空難災害防救業務計畫，交通部，臺北市。
- 交通部民用航空局，2004，機場緊急應變計畫應注意事項，交通部民用航空局，臺北市。
- 飛航安全調查委員會 (ASC)，2015，臺灣 2005-2014 飛安統計報告，飛航安全調查委員會，臺北市。
- 高雄國際航空站，2015，高雄國際航空站空難搶救作業處理程序，高雄國際航空站，高雄市。
- 臺北市政府工務局，2015，搶救復興航空墜落基隆河飛機殘骸及墜毀擦撞環東高架橋護欄緊急處理總結報告，臺北市政府；臺北市。
- Bodin, L. and Gass, S.I., 2003. On teaching the analytic hierarchy process. *Computers & Operations Research*, 30(10), 1487-1497.
- Cassano-Piche, A.L., Vicente, K.J. and Jamieson, G.A., 2009. A test of Rasmussen's risk management framework in the food safety domain: BSE in the UK. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 10(4), 283-304.
- Gabus, A. and Fontela, E., 1973. Perceptions of the world problematique: communication procedure, communicating with those bearing collective responsibility. *Battelle Geneva Research Centre*, Geneva, Switzerland.
- Goode, N., Salmon, P.M., Lenné, M.G. and Hillard, P., 2014. Systems thinking applied to safety during manual handling tasks in the transport and storage industry. *Accident Analysis & Prevention*, 68, 181-191.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), 2001. *Annex 13 – Aircraft Accident and Incident Investigation*, Ninth Edition, ICAO: Montreal, Canada.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), 2013. *Annex 19 – Safety Management*, ICAO: Montreal, Canada.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), 2013. *Safety Management Manual*, Third Edition, Doc 9859, ICAO: Montreal, Canada.
- Jenkins, D.P., Salmon, P.M., Stanton, N.A. and Walker, G.H., 2010. A systemic approach to accident analysis: a case study of the Stockwell shooting. *Ergonomics*, 53(1), 1-17.
- Johnson, C.W. and de Almeida, I.M., 2008. An investigation into the loss of the Brazilian

space programme's launch vehicle VLS-1 V03. *Safety Science*, 46(1), 38-53.

Rasmussen, J., 1997. Risk management in a dynamic society: a modelling problem. *Safety Science*, 27(2), 183-213.

Rasmussen, J. and Svedung, I., 2000. *Proactive Risk Management in a Dynamic Society*, Swedish Rescue Services Agency: Karlstad, Sweden.

Salmon, P.M., Williamson, A., Lenne, M.G., Mitsopoulos, E. and Rudin-Brown, C.M., 2010. Systems-based accident analysis in the led outdoor activity domain: application and evaluation of a risk management framework. *Ergonomics*, 53 (8), 927-939.

Salmon, P.M., Goode, N., Archer, F., Spencer, C., McArdle, D. and McClure, R.J., 2014. A systems approach to examining disaster response: using AcciMap to describe the factors influencing bushfire response. *Safety Science*, 70, 114-122.

Tzeng, G.H., Chiang, C.H. and Li, C.W., 2007. Evaluating intertwined effects in e-learning programs: a novel hybrid MCDM model based on factor analysis and DEMATEL. *Expert Systems with Applications*, 32(4), 1028-1044.

Vicente, K.J. and Christoffersen, K., 2006. The Walkerton E. coli outbreak: a test of Rasmussen's framework for risk management in a dynamic society. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 7(2), 93-112.

