

# 航空公司有效綠色運輸策略與方案之研究<sup>①</sup>

## Effective Green Transport Strategies and Alternatives for Airlines

盧華安 (Hua-An Lu)<sup>②\*</sup>、余坤東 (Kung-Don Ye)<sup>③</sup>、蕭凱珊 (Kai-Shan Hsiao)<sup>④</sup>

### 摘要

**本**研究旨於蒐集國內、外文獻中航空公司施行之綠色運輸策略與方案，並透過專家意見評比，分析出較為適用並能於不同營運型態航空公司優先採行之方案。經歸納後，綠色運輸策略構面包括修訂航線規劃思維、改善設備或動力之使用、改變飛航作業流程、運務作業及客艙減重措施、文件業務無紙化、改善地勤飛機服務作業等六項，所屬方案準則共 29 項。透過排序成對比較法計算訪談專家之相對權重，獲得改善設備或動力之使用為最適用之策略構面，並對各構面中之方案準則進行相對評比。再者，利用可行—有效分析法針對兩種不同航空公司營運型態進行全體方案之評比。結果發現大多數方案對組合型航空公司較具有效性，但對低成本航空公司則較具可行性。

**關鍵字：**綠色運輸、排序成對比較法、可行—有效分析法、組合型航空公司、低成本航空公司

### Abstract

This study firstly reviews green transport strategies and alternatives employed by airlines from previous literatures, and then comparing higher adaptable and

<sup>①</sup> 本文為科技部補助大專學生研究計畫(計畫編號：104-2815-C-019-019-H)部分成果，特申謝忱。

<sup>②\*</sup> 通訊作者，國立臺灣海洋大學航運管理學系教授；聯絡地址：202 基隆市北寧路 2 號，國立臺灣海洋大學航運管理學系；電話：02-24622192 轉 3431；E-mail: halu@ntou.edu.tw。

<sup>③</sup> 國立臺灣海洋大學航運管理學系教授。

<sup>④</sup> 國立臺灣海洋大學航運管理學系學士。

applicable alternatives for airlines and summarizing different green business models by investigating industrial experts. The green transport strategies include revising the concepts of route planning, improving the use of equipment and power, altering the procedure of flight operation, de-weighting schemes in traffic operation and in cabin, paperless documents, and improving aircraft service on ground. In total, there are 29 sub-strategies affiliated with these 6 strategies. This study used a rank pair-wised comparison (RPC) process to measure the relative weights of compared green strategies and sub-strategies for their rankings. The results show that improvement of equipment and aircraft power plants is the most feasible green strategy. Furthermore, this study used a feasibility-effectiveness analysis (FEA) technique to compare the effectiveness of all sub-strategies for combination carriers and low cost carriers (LCCs). Most of sub-strategies are found to be more effective for combination carriers, but majority of sub-strategies are found to be more feasible for LCCs.

**Keywords:** Green transport, Rank pair-wised comparison (RPC), Availability-effectiveness analysis (AEA), Combination carrier, Low cost carrier (LCC)

## 壹、前言

隨著科技進步及航空事業的蓬勃發展，讓我們不受地域限制，能快速飛行到更遠的距離，然而伴隨經濟效益而來的，卻是整個人類居住環境漸受危害。1997 年於日本所召開的聯合國氣候變化公約會議，明訂造成地球暖化關鍵溫室氣體減緩排放之共識。聯合國所列舉的七項溫室氣體為 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>、HFCs、SF<sub>6</sub>、NF<sub>3</sub> 和 PFC，其中航空器所排放之氣體包含大多數在內。國際航空運輸協會 (International Air Transport Association,

IATA) 統計航空產業在 2012 年所排放的二氧化碳占全世界百分之二，預估未來 2050 年更會提升至全球總量的百分之三。

面臨此一重大議題，國際航空運輸協會與國際民航組織 (International Civil Aviation Organization, ICAO) 亦提出相關期望，作為所屬會員努力的目標。如 IATA 訂出三項目標，期望能達到實質效果 (IATA, 2016)：(a) 從 2009 到 2020 年間，燃油效率平均每年提高 1.5%；(b) 2020 年碳排放達到零成長；(c) 2050 年碳排放量降為 2005 年之半。並提出下列四大策略以達成減少碳排放目標：

1. **科技技術提升**：針對機身重量、引擎改進、再造環保技術，減少耗油和碳排放量技術進行改善。
2. **改善基礎設施**：改善機場備航時之基礎設施及其管理資訊系統。
3. **有效的飛行操作**：有效進行飛機之起飛、降落與巡航。
4. **單一全球市場策略**：填補排放之落差。

不僅如此，IATA 尚對航空貨運業提出相關建議，如使用較輕型的單位裝載設備 (Unit Load Device, ULD)、以環保材質製作裝載醫藥品之貨櫃、回收塑膠材質之貨物墊板 (Cargo pallets) 等。

ICAO 乃為聯合國所轄之國際民航事務機構，同樣訂立目標希望組織成員共同達成，如禁止或減少飛機產生對人有害之噪音、禁止或減少飛機造成當地空氣污染、禁止或減少飛機排放的溫室氣體造成更嚴重的氣候變遷，而當務之急，ICAO 希望能夠先減少飛機進場造成的引擎排放和噪音污染。

歐盟也意識到溫室氣體的影響，非僅限於個別區域內，而是無國界隨意飄散，故提出他們對環境保護議題重大政策。其中對航空產業影響最為深遠的是，歐盟境內之成員國民航機需接受溫室氣體排放的總量管制，並施行排放氣體交易機制 (European Union Emission Trading Scheme, EU ETS)。此外全球性三大航空公司聯盟，即星空聯盟 (Star Alliance)、寰宇一家 (Oneworld Alliance) 和天合聯盟 (Sky Team

Alliance)，也允諾旗下航空公司將達成對減少溫室氣體造成環境污染影響之共識，並且督促各家航空公司善盡責任持續提升機組作業效率，共同降低航空產業所造成之影響。

航空產業對環境所造成的影響受到產業和學界之重視，然而以往研究多針對各別商業模式進行探討，較缺乏全面性之綜整分析與比較，故本研究彙整目前航空公司較為可行之綠色運輸做法進行比較，以期提供航空公司決策之參考。易言之，本研究目的旨於綜合國內外相關學術研究、相關機構提出之策略研究以及航空公司之做法，參照專家學者的意見，綜整評量航空公司在營運策略上較為適用之優先綠色運輸方案。

本研究首先蒐集航空公司有效綠色運輸策略構面與相關可能方案準則，採用排序成對比較法 (Rank Pair-wised Comparisons, RPC) 進行問卷設計、專家調查與權重計算，以綜整衡量各策略與方案在航空產業施行的適用性排序，並針對組合型航空公司 (即同時經營客運與貨運之傳統服務型航空公司) 和低成本航空公司經營特色的不同，進行有效綠色運輸方案之評比，輔以類似重要性與表現性分析 (Importance-Performance Analysis, IPA) 之雙軸平面概念，建立各方案之可行性和有效性評估，此乃因適用的策略可能由於營運型態的差異會產生不同的效果，甚至產生執行上的難易，舉例而言共用班號和貨

運方面等方案，可能較適合組合型航空公司，不一定適用於低成本航空公司，但仍可與其他方案一起評估適用性的排序。有關研究設計與所得成果，於次節之可行方案文獻回顧後詳述。

## 貳、可行方案文獻回顧

航空器發展對環境產生的影響是顯而易見的，孫偉碩 (2000) 曾以臺灣地區為主探討航空器對局部大氣環境之影響，透過資料蒐集分析五種飛行狀態下的耗油率與六種氣體之排放係數，再根據起降次數與飛航頻率計算排放總量，以瞭解臺灣地區機場附近空氣汙染程度。Lee (2010) 探索航空器的能源使用、氣體的排放以及對環境的影響是否能夠有效改善，能跟上日益發展蓬勃的航空業腳步。其研究雖已有深入的探索，但氣候未知性因素對引擎排放仍有阻礙，故還需更加確認氣候對航空器之影響，幫助航空產業重視環保議題及持續投入更多研究資源。

如何減少航空器之危害排放也是公務部門關切之課題，盧曉櫻等人 (2009) 進行國際航空器廢氣排放減量調查，並提出我國能夠因應之相關策略，所彙整機場可行之空汙減量措施，包括飛機起降與航管、飛機地面操作、機場內地面專業車輛、航廈、聯外運輸與市場經濟措施等六個面向。而適用於航空公司策略，包括航

空器在降落採取連續降落進場 (Continuous Decent Approach, CDA)，飛機地面操作關閉發動機或是開啟輔助電源供應系統，針對不同機型與引擎排放之廢氣量徵收不同之降落費和徵收空汙費用等。

本研究則將目前的文獻探討區分為經濟手段與航線規劃思維、改善設備或動力、飛航作業、運務及客艙作業及地勤作業分別進行回顧。

### 2.1 經濟手段與航線規劃思維

石俊賢 (2004) 以廠商不確定行為模式，針對排放交易制度及國家政策限制進行探索，發現若是交易價格提高，廠商違規效果小於誘因效果，有利環境改善；交易價格之高低亦影響信用交易與環境績效，政府善盡監督之義務與健全交易制度可使環境績效最佳化。

Morrell and Lu (2007) 探討是否利用轉運中心 (hub) 進行轉運，或以直運方式對環境成本之影響較小，研究發現從直接飛行不透過轉運的方式之氣體排放和噪音汙染較轉運方式影響較小。此外，王俐驊 (2011) 建構數學模式評估歐盟碳排放交易機制，並探討該機制對臺籍航空公司之影響。研究結果顯示，航空公司可藉由中停型態取代直飛與派飛省油之機型，減少碳排放成本。後續開闢之歐洲航線可採排定較多班次，並增加旅客人數與腹艙載貨，免費增加碳排放額度。當預期碳權價格上漲時，採取相對油料避險策略，亦可減少

碳排放成本，或者採取將碳排放成本反應在票價上，多收取相關燃油附加費。吳佩璇 (2012) 也探討航空運輸業對歐盟碳排放交易機制應採取措施，並針對航空公司航線網路規劃作為主要研究主題。結果發現採用環保新機可降低碳排稅，多設航點改以轉機之形式進入歐盟國家，可有效縮短至歐盟飛行距離，亦具有降低碳排稅之效益。三者所提之概念相左，此或許因為研究範圍不同所致，後兩者均以歐盟特定區域將予以課稅角度進行探討，但 Morrell and Lu (2007) 之研究設計較偏向航空公司一般性航線規劃概念。

Lu (2009) 利用數學方法計算引擎排放與飛機噪音應收費用，並套用在評估歐洲內陸不同商業模式下兩大城間六條短程航線，結果顯示不論商務旅客或是休閒旅客，組合型航空公司相較於低成本航空公司容易因收取費用而受到影響。

Rothengatter (2010) 認為針對氣候變遷之政策，應該更積極提出有效之做法，以達成 IATA 訂立 2020 年到 2050 年之目標，至於歐盟碳排放交易機制，其認為對於中期目標影響甚小，應該訂定額外做法去創造足夠誘因，使整體航空產業減少對環境汙染之影響。

沈懷玲 (2013) 針對我國航空公司不同航線與機型，進行國際民航組織規定下之分析性數學模式建構，列計不同機型巡航及起降階段之排放量，利用敏感度分析探討碳交易以及碳抵銷策略對航空公司營運

之影響。Girardet and Spinler (2013) 評估現值及購買選擇權之碳排放成本，對於短程或長程飛機採購之影響，其中購買選擇權是以彈性價值之未確定燃油價格與碳排放價格制定。結果發現現值碳排放成本平均影響短程飛機 110 萬歐元，長程飛機 410 萬歐元；而購買選擇權，一單位碳排放成本影響長程飛機 43 萬歐元，短程飛機影響則較少，由此可知碳排放和燃油成本對長程飛機之重大影響。Chao (2014) 提出一套航空貨運於飛行各階段的碳排放量計算方式，調查機型與飛航路線產出之碳足跡，並估算因為歐盟碳交易徵收稅所增加的運輸成本。實證採用六種貨運航線與機型，結果顯示各機型與航線增加航空貨物運輸成本大約範圍為 0.5% 至 5.27%。

綜上所述，跟隨國際市場脈動所進行之碳排放影響，是近年來熱門的研究主題，而其中不管是對客運或貨運，均有不同的購機、航線或航班調整的建議，甚至利用科學性分析模式進行量化計算，以評估不同方案可能帶來的效益。航空公司如何利用航線規劃思維的調整，達到最佳綠色運輸實為關鍵的實務作業之一。

## 2.2 改善設備或動力

Egelhofer et al. (2007) 探討飛機在設計過程中因氣候影響的改變，根據所建立之評估模型，可以運用在計算過去航空器之油耗與未來預測，結果顯示 1995 至 2005 之航空器發展，有效減少 6% 至 7% 的燃

油消耗。邱翰暘(2011)針對引擎排放物與噪音，進行新型航空器與舊型航空器之比較，探討氣候變遷對人類健康之影響，以及衡量採用新型航空器對機場和社會環境之效益，衡量社會成本之分析性數學模式驗證結果顯示，B787-8 對於機場、航空公司、環境皆有正面效益，但在最後進場階段表現最佳者，仍是較小型的單走道窄體客機。

2016 年波音環境報告 (Boeing, 2016) 提及，航空器燃油所消耗的成本、效率以及利潤，都關係著航空公司 40% 的操作成本預算，故飛機製造商長久以來在技術層面上皆重視燃油的消耗效率，並且盡量減少碳排放量。因此在新期的航空器製造上，波音更加重視燃油效率，在設計上有了更多創新改變，如機翼設計、引擎的使用。而較新型之 Dreamliner Family 能夠達到 20% 至 30% 的燃油效率，並減少 2% 至 30% 的碳排放。

而長榮航空 (2016) 以機隊現代化計畫，汰換舊型飛機，主機隊改用 777-300ER 長程環保節能客機，另外陸續採購 A321 型客機取代原本 MD-90，其網站以 777-300ER 飛行臺北到美國洛杉磯來回航班計算二氧化碳排放量，結果發現較 747-400 節省約 225,622 公斤，減少二氧化碳排放比例達到 34.1%。

另外根據 Rose and Raybould (2014) 於路透社的報導，指出波音公司與中國政府在近幾年合作，將回收的廢棄食用油轉換

為飛機燃油，此做法可使中國一年產出 1.8 億公升的燃油。經過初步測試，每年預計可將 24 萬公升的回收油轉成燃料，而且較傳統噴射機減少 50% 至 80% 的碳排放，目前已經用於 1,600 架次的商業航班。波音預估未來 2033 年中國將需要超過 6,020 架新飛機，這將關係著未來中國使用燃油與碳排放量增長與否的一大關鍵。

此外，航空公司亦該留意提升航空器油耗性能之方案，如上弦月 (2011) 提及飛機外部塗層的平滑度會影響飛行阻力。如果使用奈米塗層技術，若飛機塗裝重量為 700 千克，便意味著飛機每年每公斤可少用燃油 150 到 250 升；又或是如國泰航空減少外層塗裝，僅保留局部塗裝，即可使飛機減輕約 200 公斤，每年大概能節省燃油費用在 150 萬元左右。另外，翼尖小翼屬於選裝部件，加裝於飛機時可於飛行時減少阻力，南方航空公司在波音 737-800 飛機上安裝了翼尖小翼，每飛行小時可節省燃油 50 到 80 公斤。

近年來航空器的技術改善首重環保節能，只要飛機製造商能不斷提升油耗性能與對空氣污染之改善，其對環保的衝擊將是最為直接的。航空公司的考量應在於是否能定期更新機種，此與公司飛機汰舊換新政策和財務可行性有關。在無法時時更新機隊的顧慮下，部分設備或動力上的更新，以及實質飛機減重方案，均能減少其變動成本的負擔。

## 2.3 飛航作業

陳恩崧 (2008) 探討不同航空器機型之引擎排放與班次安排頻率對於航空公司營運成本之影響，從所建構的數學模式和實例驗證中發現，航空器引擎排放成本會隨著航線距離愈長、機型愈大，其營運成本則愈會增多。

謝龍泉 (2009) 針對各種影響飛航因素的設定，利用數學規劃技巧建立最適飛航路徑，以求得極小化飛航總成本為目標。從國籍航空公司的實證結果中得知，適當的路徑規劃可有助於航空公司降低飛航過程中之成本浪費，尤其當面臨油價高漲之趨勢，經營長程航線的航空公司之燃油成本比例，相較於經營短程航線的航空公司為重。

Dalmou and Prats (2014) 探討連續爬升航行時，燃油與時間節省之成效，經由窄體飛機與廣體飛機最佳化航行軌跡與適當連續操作之比較，發現連續巡航爬升可有效節省燃油，A320 節省 0.5% 至 2% 燃油，A340 減省 1% 至 2%，航行時間也能有效減少 1% 至 5%。

Khoo and Teoh (2014) 提出綠色機隊指標 (Green Fleet Index, GFI)，並建構一個雙目標動態規劃模式，在遵守噪音和燃料消耗方面限制下，極小化 GFI 和利潤極大化，以求得最佳的飛機購置 (租賃或購買) 方案。結果顯現把綠能策略視為其次目標將得到更佳綠能機隊，即使航空公司的利

潤受到限制，但仍可以從節約效果成本中回收，若能增加旅客乘載率可有效提升航空公司的環保表現與利潤增加。

飛航作業非常專業，前述 ICAO 就飛機飛航過程中所做的努力與建議，即為能將每次飛航對環境的影響降為最低，這些飛航流程建議如連續降落或起飛，不一定能在各個機場都施行，但實務上航空公司仍有既定之觀念也會帶來節能影響，如飛機配重課題、飛航航路選用之規劃，以及機師停機之操作準則等。

## 2.4 運務客艙作業

根據黃如萍 (2013) 於中時電子報報導指出，華航於 2012 年實施空運進口貨物艙單無紙化作業、旅客採用電子登機證服務、或使用在地食材與低碳餐點、改採用輕質餐具與餐車等系列管理措施，可減少約三萬四千公噸二氧化碳排放量，相當 92 座大安森林公園吸收量。

澳門民航學會之民航資源網 (2014) 整理些許航空公司減重策略，提及如芬蘭航空改採超輕型複合材料之餐具，較原本餐具減重 10% 到 20%；春秋航空依據航線配給適當水量；維珍航空減少機上食品之包裝、引進輕型垃圾桶及座椅，每年每架飛機可以減輕數千噸重量。加拿大航空駕駛艙內改以 i-pad 系列取代紙本手冊，能減少飛機重量亦可定期更新內容；全日本航空勸導旅客登機前先行如廁，讓飛機減重，進而減少碳排放量。

Yin et al. (2015) 利用航空公司數據分析飛機機型、客運承載量以及貨物承載量在澳洲國際航班的碳排放效率。結果顯示航空公司的二氧化碳排放量，不僅取決於所使用的飛機機型和乘客量，尚包括每架航班的貨運量。

華航 (2016) 在官網中也提及，華航客機實際做法採用如餐車減重、紙本減重、衡量適當飛機加水量、採用新型輕型行李貨櫃以及多使用環保材質用品，其中越洋航班將原 20 公斤改為輕型 17 公斤之餐車，每班航機可減少 100 公斤重量；又改用較輕化的餐具，減少 7% 的重量，對於越洋 747 航班的使用，能夠減少 33 公斤重量。

上述客艙減重措施之目的，也在於能節省飛航過程中的油耗，航空公司無不想方設法的減少不必要的重量。客機部分的取設在於是否會影響客艙中旅客的服務品質，如餐具改為塑膠品質是否影響旅客搭機之服務質感；減少免費商品實體存放，除須有完整的提領後勤系統支援，也須顧及旅客的機上購物習慣。再者，文件無紙化可能是航空公司最易推動的作為，大部分僅止於公司內部的影響，與旅客或客戶有關者，通常需要科技的協助，需要達到一定的施行普及程度。

## 2.5 地勤作業

華航 (2016) 在綠能飛航網頁中提及，定期維護能夠使飛機在飛行中，有效減少

燃油消耗，故華航地勤作業會安排人員定期清洗發動機，並且依據國際航空協會之規定，定期每六個月清洗一次，能夠有效降低 0.5% 耗油效率。另外也定期清洗機身附著的灰塵或油漬或是定期檢修飛機設備，維持機身光滑度，減少飛行阻力降低耗油。除此，華航亦隨時檢查飛機備品量，依航線需求配給，減少飛機載重。其實在許多例行的地勤作業中，都有可探討環保或永續性改善的程序，但不一定出現於學理文獻中，如加油加水的規劃、機上垃圾分類與清潔等。

雖然上述文獻列舉諸多可行的做法上，但航空公司真正決策是否執行時，仍須考慮不同營運型態的差異性，甚至不同方案所需之成本負擔，因此有必要確認哪些策略構面或方案就不同營運型態的可行性與有效性。

## 參、研究設計與方法

本研究針對航空公司有效綠色運輸策略，進行專家問卷調查，並利用排序成對比較法進行問卷設計，將專家意見加以分析比較適用性的排序。為要區分不同航空公司經營類型所可能產生差異，進一步再以類似重要性與表現性分析法之概念，將調查所得不同類型航空公司之方案施行的可行性和有效性，進行綜合探討。本節分別說明研究設計與研究方法之內涵。

### 3.1 研究設計

研究設計部分首先如第貳節所述，透過資料蒐集確認航空公司執行的可行綠色運輸方案，彙整後予以歸類，並透過專家評估分類與方案的適切性，藉由其建議進行修正，以確立策略構面與可行方案進行排序成對比較法之問卷內容。

第二階段問卷之第一部分，乃藉排序成對比較法建立各專家之成對比較矩陣，再以所有專家之幾何平均進行矩陣彙整，

透過行向量平均值標準化法，得到策略構面間、方案準則間之相對比較權重，藉以評估其適用性的優先順序。

此外，問卷內容的第二部分乃以李克特五點尺度進一步詢問專家，若就組合型航空公司和低成本航空公司而言，施行方案準則的可行性與有效性，尺度從極高、高、普通、低至極低。所得結果藉由雙正交軸表示，可看出不同類型航空公司實施方案的評估差異。整體研究設計之內容，詳如圖 1 所示。

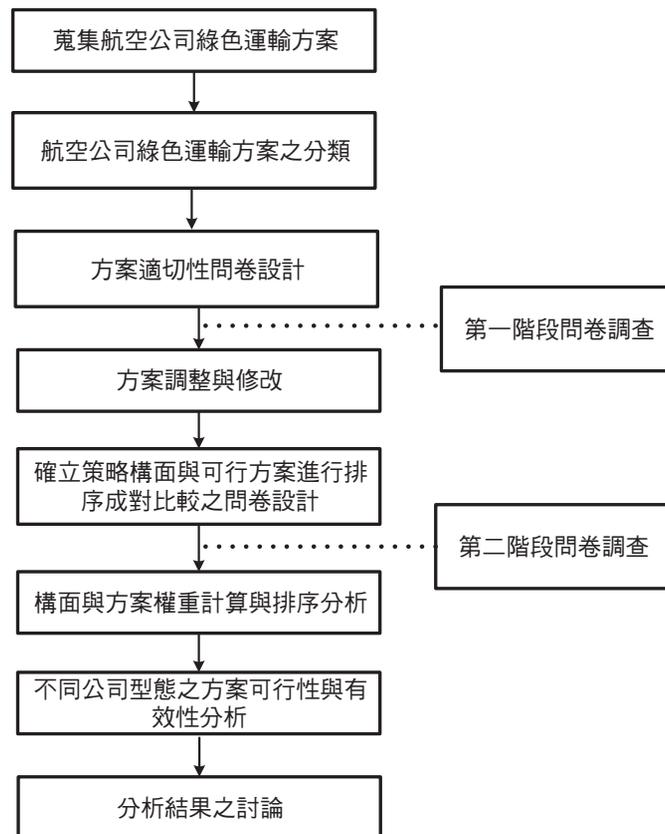


圖 1 研究設計內涵

### 3.2 排序成對比較法

排序成對比較法原先乃是搭配層級分析程序法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 之概念，所建置的一種較簡易地成對比較矩陣運算方式 (Lu and Liu, 2014; Lu and Mao, 2015)。傳統 AHP 成對比較矩陣需求得個別準則間之相對權重，故任意兩個準則皆必須進行比較，取得彼此相對重要性，再利用倒數原則，建構成對比較矩陣。當設計問卷有過多準則時，往往造成專家在當下無法明確比較相對權重，導致問卷的一致性不容易符合學理要求，專家需重新填寫造成不便，此乃因受訪者未能在心中先建立完整的比較排序。故本研究採取 RPC 之方法，請填寫者先對準則排序，並在兩順序間比較其重要性，利用重要性相乘法和倒數原則，填滿成對比較矩陣中的其他元素，則此成對比較矩陣必滿足一致性等於 1。

排序成對比較法之運算概念可簡要說明如後，假設有 1 至  $n$  個準則欲進行相對性之比較， $r_1$  至  $r_n$  為某受訪者所排序之準則，又根據上述說明受訪者表達  $p_{r_1, r_2} = \frac{w_{r_1}}{w_{r_2}}$ ， $p_{r_2, r_3} = \frac{w_{r_2}}{w_{r_3}}$ ， $\dots$ ， $p_{r_{n-1}, r_n} = \frac{w_{r_{n-1}}}{w_{r_n}}$  之相對權重，而其他非相鄰排序準則間的權重計算如下：

$$p_{r_1, r_3} = \frac{w_{r_1}}{w_{r_3}} = \frac{w_{r_1}}{w_{r_2}} \times \frac{w_{r_2}}{w_{r_3}} = p_{r_1, r_2} \times p_{r_2, r_3},$$

$$p_{r_1, r_4} = p_{r_1, r_3} \times p_{r_3, r_4}, \dots, p_{r_1, r_n} = p_{r_1, r_{n-1}} \times p_{r_{n-1}, r_n}$$

$$p_{r_2, r_4} = \frac{w_{r_2}}{w_{r_4}} = \frac{w_{r_2}}{w_{r_3}} \times \frac{w_{r_3}}{w_{r_4}} = p_{r_2, r_3} \times p_{r_3, r_4},$$

$$p_{r_2, r_5} = p_{r_2, r_4} \times p_{r_4, r_5}, \dots, p_{r_2, r_{n-1}} = p_{r_2, r_{n-1}} \times p_{r_{n-1}, r_n}, \dots,$$

$$p_{r_{n-2}, r_n} = \frac{w_{r_{n-2}}}{w_{r_n}} = \frac{w_{r_{n-2}}}{w_{r_{n-1}}} \times \frac{w_{r_{n-1}}}{w_{r_n}} = p_{r_{n-2}, r_{n-1}} \times p_{r_{n-1}, r_n}$$

由於上述之計算為遞移性之定義，因此再依倒數原則將其他元素填滿，此一成對比較矩陣就具完全一致性，但這會導致  $\frac{w_{r_1}}{w_{r_2}}$  與  $\frac{w_{r_1}}{w_{r_n}}$  之相對權重值差異過大。在問卷調查時，多數會利用語意變數進行尺度設定，通常最小尺度為 1，最大尺度令為  $s$ ，每個選項之尺度間距為 1，以容易反映受訪者內心主觀之衡量尺度。但若使用排序成對比較法，又希望兩兩準則相對權重維持在  $s$  的評判範圍內，就得調整尺度間距，使原本の間隔為 1 之距離縮小。令縮減間距尺度為  $d$ ， $d$  值之一般計算方式如式 (1) 所示，留意此處經調整後之最小尺度仍為 1。

$$d = \frac{s-1}{s^{n-1}-1} \quad (1)$$

表 1 列出上述概念之調整，常用的評選尺度 ( $s$ ) 與不同之評估準則數量 ( $n$ )，在使用排序成對比較法時之新調整尺度間距 ( $d$ )，新衡量尺度可透過式 (2) 加以計算修正。

$$a_{ij} = 1 + d \times (a_{ij} - 1) \quad (2)$$

當矩陣建立完成後，可利用 Saaty (1996) 提出之近似法，計算各準則的權向量，其中行向量平均值標準化法如式

表 1 縮減尺度間距對應表

| 衡量尺度<br>(s) | 比較準則數量 (n) |         |          |         |          |          |          |          |
|-------------|------------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|
|             | 2          | 3       | 4        | 5       | 6        | 7        | 8        | 9        |
| 1~5         | 1          | 0.16667 | 0.032258 | 0.00641 | 0.00128  | 0.000256 | 5.12E-05 | 1.02E-05 |
| 1~7         | 1          | 0.125   | 0.017544 | 0.00250 | 0.000357 | 5.1E-05  | 7.29E-06 | 1.04E-06 |
| 1~9         | 1          | 0.1     | 0.010989 | 0.00122 | 0.000135 | 1.51E-05 | 1.67E-06 | 1.86E-07 |

資料來源：劉蓉蓉 (2012)。

(3) 所示，其乃先將矩陣各行標準化，將標準化各列元素相加後，再除以各列元素的個數。

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

### 3.3 策略分類與可行方案之確認

第一階段專家問卷調查目的，在於藉由專家、學者的寶貴經驗與專業知識，針對本研究初步擬定的航空公司有效綠色運輸策略進行修訂。本研究在蒐集相關報導與文獻後，共研擬六大策略分類，並在各分類中建構四到五項方案準則，總共達 29 項。每項準則均設定極適用、適用、不適用三種層級予以評量，並給予 3 分至 1 分的尺度，便於計算。方案準則預計通過適用之門檻為所有受訪者分數平均達到 2.0，即適用的程度。

此階段本研究共寄發八份問卷，六位任職於航空公司、兩位為學者代表，八份問卷完全回收。綜整第一回合專家、學者之建議，本研究原先所列方案準則僅有

一項未達預設門檻，即大多數受訪者認為「減少中停轉運之航線規劃」並不適用，且有學者提出中停若是增加載客，每一旅客的平均排碳量不見得會增加，此一準則平均值僅達 1.75 故予以刪除。另有學者建議原在「運務作業及客艙減重」構面之「餐飲設備及餐具輕量化、環保化及減少深宵航班食物裝載」應為兩個命題，前者應為改善設備之使用，後者才屬於運務作業措施，故進行拆分，將前者納為「改善設備或動力使用」之策略構面下的方案準則。

此外，受訪者對「改善地勤飛機服務作業」、「採用生質燃油」、「使用在地食材製作機上餐點」構面或準則之定義提出若干疑義，本研究進一步予以修改得更為明確。最後，本研究所確認之策略分類共有「修訂航線規劃思維」、「改善設備或動力之使用」、「改變飛航作業流程」、「運務作業及客艙減重措施」、「文件業務無紙化」、「改善地勤飛機服務作業」等六項，其下之方案準則共有 29 項，其所屬與定義綜列如下：

#### 1. 修訂航線規劃思維

(1) 多採用共用班號聯營措施：與其他

航空公司一同採用共用班號聯營，以減少航班配置提升乘載率。

- (2) 減少全貨機航點改用區域性共用卡車運輸網路：精簡全貨機海外航點部署，改用各國或各區共用卡車聯合運送系統，以減少全貨機航班配置數量和集中空中運送量。
- (3) 配合各國節能稅費徵收方案調整航班安排：遵守各國訂立的節能稅費規定，並且依其標準調整航班數量。
- (4) 利用國際減碳排放交易機制調節航班規劃：配合國際減碳排放交易機制妥善規劃航班，如汰舊早期設計機型之飛機、減少航班數量、或是多設航點改採轉機運送。

## 2. 改善設備或動力之使用

- (1) 採用生質燃油：採用由有機活體提煉、或者有機活體新陳代謝產物之生質燃油，據報導荷蘭航空 (KLM)、德國漢莎航空 (Lufthansa) 等航空公司已試行採用於載客飛行。
- (2) 採用輕型 ULD 設備：使用較傳統貨櫃輕量化的 ULD 設備。
- (3) 更換新世代節能之航空器：採購注重環保節能的新一代航空器。
- (4) 餐飲設備及餐具輕量化、環保化：改善傳統餐具重量及使用環保材質。
- (5) 改用輕質化座椅並適當配置座位數量：使用較為環保布料及輕量骨架設計之座椅材質，或適當調整座位數量。

- (6) 採取提升飛機油耗性能之方案 (如加裝翼尖小翼減少阻力、機身採用特殊底漆或部分塗裝等)：使用有效降低耗油之設置，如加裝翼尖小翼減少飛行阻力，或選擇經過特殊處理能夠有效減少阻力的機身底漆或塗裝方式。

## 3. 改變飛航作業流程

- (1) 飛機載重平衡與重心配置最佳化：精確計算飛機重量和所需裝載的油量，建立完善的旅客劃位及行李貨物裝載程序，並適當調配飛機重心最適位置。
- (2) 規劃最佳飛航路徑 (含 ETOP 航路) 與高度：針對機型與飛行路線規劃，選擇最佳的飛行航路以及適當飛行高度。
- (3) 適當採取連續降落進場或連續爬升飛航：在有適當飛航程序設定之機場，允許飛機駕駛組員於進場或起飛時，採用連續降落法 (CDA) 或連續爬升方法，減少階段耗油。
- (4) 依旅客承載率和貨物積載情形派遣適當機型服務：掌握旅客與貨物承載量，彈性派遣適當機型服務。
- (5) 訂定飛機於地停和飛航過程中節能操控之適當準則：研擬飛機於地停和飛航過程中之有效節能措施，如發動機與 GPU 或 APU 之適當切換使用原則，飛機爬升、巡航、下降之燃油效能操控設定等。

#### 4. 運務作業及客艙減重措施

- (1) 食物和飲用水外包裝輕量化：航空公司採用食物飲水之外包裝時，應考量兼具輕量化及環保之材質。
- (2) 減少免費行李託運額度：減少航空公司提供旅客免費行李託運之額度。
- (3) 減少深宵航班食物裝載：減少深宵航班食物的過多裝載。
- (4) 提醒旅客登機前先行如廁與減少用水：航空公司地勤人員於登機入口前提醒旅客先行使用洗手間，並且友善提醒節約用水。
- (5) 減少機上免費商品實體存放及適當減少機上個人服務用品提供：減少飛機上免稅商品的囤放，改由降落機場免稅商店或指定櫃台合作領取商品；並且於航班中，依個人需要發放用品，如耳機、雜誌、嘔吐袋、餐具等。

#### 5. 文件業務無紙化

- (1) 全面使用電子機票：使用電子機票，取代以往紙本機票。
- (2) 以電子式手冊取代紙本手冊：航空公司改用電子式手冊或型錄，取代傳統紙本手冊。
- (3) 採用電子式登機證與託運行李牌：登機證改使用行動裝置下載或線上存取電子登機證；託運行李牌改以可重複使用之數位電子標籤，也同時縮短報到作業時間和減少行李遺失之後續處理。

- (4) 全面施行空運提單標準化與電子資料交換作業：空運提單有效標準化，並改以電子化傳輸、交換資料。

#### 6. 改善地勤飛機服務作業

- (1) 落實機上清潔之垃圾分類：確實進行飛機上垃圾分類與回收處理。
- (2) 定期清洗航機和發動機外部：定期清洗附著於航機與發動機之灰塵或油漬。
- (3) 訂購航班起飛地之機上餐點：訂購航班起飛地之機上餐點，減少本國食材於運送過程中所產生的碳排放量。
- (4) 研擬最佳飛機加油和加水規劃：精準掌握飛機之載重與乘客數，配備適當水量以及加油量。
- (5) 有效控制存貨、減少飛機備品存量：精準控管機上備品存貨，有效減少不必要之存量。

### 肆、調查結果與分析

第二階段專家學者問卷調查，目的在於針對系統性決策概念，綜整評量航空公司在營運策略方向和有關方案上，能夠作為優先適用之綠色運輸策略，同時針對組复合型航空公司和低成本航空公司的差異，進行可行性和有效性的深度分析。第二階段問卷初期設定要從不同領域的專家學者

進行問卷調查，可惜部分領域並未受到充分之回應，回收率約為五成五左右，因此造成不完全平衡的樣本來源。最後獲得五名學者、三名民航研究機構，以及 17 名任職於航空公司之專家回覆，其中有兩名屬低成本航空公司，共計回收 25 份問卷。不過因為研究中所設定的主題並不一定就是非要特定領域人選才能回覆，在適用性部分主要的分析重點仍以所有受訪者綜合觀點進行排序，其他各群體的意見僅供參考。

#### 4.1 策略構面之適用評比

受測問卷依李克特五點尺度衡量，利用排序成對比較法，建立各專家的成對比較矩陣，並以幾何平均進行彙整，透過行向量平均值標準化法，計算各比較項目之權重。權重總合為 1，利用排序最佳與最末的權重差異所得之權重評距，可比較各種不同樣本群體間之評量鑑別性，評距愈大表示對比較項目間差異性認定愈明顯。

表 2 整理了不同受測群體對航空公司有效綠色運輸策略構面之適用評比，其中「改善設備或動力之使用」乃是最有成效且最能採用的策略構面，不同群體呈現的意見也趨於相近，僅低成本航空公司專家認為「改變飛航作業流程」應更為有利。「修訂航線規劃思維」雖獲得全體受測者的認同，但絕大部分的原因是因組合型航空公司之專家較為肯定此方面的效用，低成本航空公司可能因為自身航線單純，並不認同此一方向。「改善地勤飛機服務作業」和「文件業務無紙化」兩個向度的認同度均較低，尤其後者所有專家的評比均低，但低成本航空公司的專家仍認為飛機服務的地勤作業改善，仍有助於綠色運輸策略的推動。從權重評距來看民航研究機構專家的意見差異性較大，其他群體對所列策略構面適用的評量差異性相對較小。

#### 4.2 方案準則之適用評比

依照六項策略方向，逐一檢視本研究

表 2 不同受測群體對航空公司有效綠色運輸策略構面適用評比

| 群體                 | 全體<br>(樣本數 25) |    | 組合型航空公司<br>(樣本數 15) |    | 低成本航空公司<br>(樣本數 2) |    | 學者<br>(樣本數 5) |    | 民航研究機構<br>(樣本數 3) |    |
|--------------------|----------------|----|---------------------|----|--------------------|----|---------------|----|-------------------|----|
|                    | 權重             | 排序 | 權重                  | 排序 | 權重                 | 排序 | 權重            | 排序 | 權重                | 排序 |
| 修訂航線規劃思維           | 0.16724        | 2  | 0.16932             | 2  | 0.16627            | 5  | 0.16649       | 4  | 0.16381           | 4  |
| 改善設備或動力之使用         | 0.17159        | 1  | 0.17055             | 1  | 0.16827            | 2  | 0.16994       | 1  | 0.18040           | 1  |
| 改變飛航作業流程           | 0.16704        | 3  | 0.16871             | 3  | 0.16929            | 1  | 0.16733       | 2  | 0.16571           | 3  |
| 運務作業及客艙減重措施        | 0.16701        | 4  | 0.16614             | 4  | 0.16673            | 4  | 0.16698       | 3  | 0.16747           | 2  |
| 文件業務無紙化            | 0.16208        | 6  | 0.16160             | 6  | 0.16496            | 6  | 0.16393       | 6  | 0.15897           | 6  |
| 改善地勤飛機服務作業         | 0.16504        | 5  | 0.16524             | 5  | 0.16751            | 3  | 0.16536       | 5  | 0.16364           | 5  |
| 權重評距 (排序 1 ~ 排序 6) | 0.00951        |    | 0.00895             |    | 0.00433            |    | 0.00601       |    | 0.02143           |    |

資料來源：本研究整理。

所列之可行方案準則的相對適用性。首先在航空公司修訂航線規劃思維上，全體專家總合意見認為「多採用共用班號聯營措施」乃最為適用的方案，其次是「利用國際減碳排放交易機制調節航班規劃」。「配合各國節能稅費徵收方案調整航班安排」雖不受組合型航空公司認可，但其他三類

群體則均持相左之意見，詳如表 3。整體比較起來，組合型航空公司較認同內部方案的效果，但低成本航空公司和學者專家認為外部性經濟手段較能協助航空公司在航線規劃的調整。而學者和組合型航空公司之專家在這些方案的認同差異性，相對其他群體為高。

表 3 不同受測群體對航空公司修訂航線規劃思維方案準則適用評比

| 群體                   | 全體<br>(樣本數 25) |    | 組合型航空公司<br>(樣本數 15) |    | 低成本航空公司<br>(樣本數 2) |    | 學者<br>(樣本數 5) |    | 民航研究機構<br>(樣本數 3) |    |
|----------------------|----------------|----|---------------------|----|--------------------|----|---------------|----|-------------------|----|
|                      | 權重             | 排序 | 權重                  | 排序 | 權重                 | 排序 | 權重            | 排序 | 權重                | 排序 |
| 多採用共用班號聯營措施          | 0.26366        | 1  | 0.28130             | 1  | 0.24779            | 3  | 0.22260       | 4  | 0.25909           | 2  |
| 減少全貨機航點改用區域性共用卡車運輸網路 | 0.24574        | 3  | 0.25018             | 2  | 0.24086            | 4  | 0.24238       | 3  | 0.22892           | 4  |
| 配合各國節能稅費徵收方案調整航班安排   | 0.24152        | 4  | 0.23037             | 4  | 0.26095            | 1  | 0.25087       | 2  | 0.26696           | 1  |
| 利用國際減碳排放交易機制調節航班規劃   | 0.24908        | 2  | 0.23815             | 3  | 0.25040            | 2  | 0.28415       | 1  | 0.24504           | 3  |
| 權重評距 (排序 1~排序 4)     | 0.02214        |    | 0.05093             |    | 0.02009            |    | 0.06155       |    | 0.03804           |    |

資料來源：本研究整理。

在航空公司改善設備或動力之使用方案準則上，「更換新世代節能之航空器」取得一致的認同為最適用的方案，此應為飛機製造商設計新型飛機所能獲得環境改善的效益，已普遍獲得航空業者和大眾的肯定。而對「採取提升飛機油耗性能之方案」，組合型航空公司的評比與其他群體較具差異性，詳如表 4 所示。但整體看來，所有受測者較認同飛機本身節能效果的方案，飛機上附屬設備的改善似較不被青睞。

航空公司改變飛航作業流程之方案準則以「規劃最佳飛航路徑 (含 ETOP 航路)

與高度」最受全體的認可，但航空業者並非將其列為最佳方案，組合型航空公司可能因為瞭解貨運載重會影響飛機配重進而產生耗油差異，但低成本航空多數不載運貨物的特色較不受此影響，反而覺得地停和飛航中的節能準則訂定較為重要，詳如表 5 所示。不同群體專家對此一策略構面中所列準則的評比有較大之差異性，但民航研究機構的權重評距要較其他群體為大。

航空公司運務作業及客艙減重措施中，「減少免費行李託運額度」是最受看好的方案，不過對照近期航空公司紛紛放寬免費託運行李額度，即可發現與市場競爭

表 4 不同受測群體對航空公司改善設備或動力之使用方案準則適用評比

| 群體                 | 全體<br>(樣本數 25) |    | 組混合型航空公司<br>(樣本數 15) |    | 低成本航空公司<br>(樣本數 2) |    | 學者<br>(樣本數 5) |    | 民航研究機構<br>(樣本數 3) |    |
|--------------------|----------------|----|----------------------|----|--------------------|----|---------------|----|-------------------|----|
|                    | 權重             | 排序 | 權重                   | 排序 | 權重                 | 排序 | 權重            | 排序 | 權重                | 排序 |
| 採用生質燃油             | 0.16650        | 3  | 0.16773              | 2  | 0.16509            | 6  | 0.16722       | 3  | 0.16010           | 5  |
| 採用輕型 ULD 設備        | 0.16540        | 5  | 0.16617              | 5  | 0.16582            | 4  | 0.16244       | 6  | 0.16608           | 3  |
| 更換新世代節能之航空器        | 0.17054        | 1  | 0.16871              | 1  | 0.16929            | 1  | 0.17254       | 1  | 0.17731           | 1  |
| 餐飲設備及餐具輕量化、環保化     | 0.16577        | 4  | 0.16703              | 3  | 0.16582            | 4  | 0.16558       | 4  | 0.15964           | 6  |
| 改用輕質化座椅並適當配置座位數量   | 0.16410        | 6  | 0.16412              | 6  | 0.16652            | 3  | 0.16479       | 5  | 0.16120           | 4  |
| 採取提升飛機油耗性能之方案      | 0.16769        | 2  | 0.16624              | 4  | 0.16746            | 2  | 0.16744       | 2  | 0.17568           | 2  |
| 權重評距 (排序 1 ~ 排序 6) | 0.00285        |    | 0.00459              |    | 0.00420            |    | 0.01010       |    | 0.01767           |    |

資料來源：本研究整理。

表 5 不同受測群體對航空公司改變飛航作業流程方案準則適用評比

| 群體                       | 全體<br>(樣本數 25) |    | 組混合型航空公司<br>(樣本數 15) |    | 低成本航空公司<br>(樣本數 2) |    | 學者<br>(樣本數 5) |    | 民航研究機構<br>(樣本數 3) |    |
|--------------------------|----------------|----|----------------------|----|--------------------|----|---------------|----|-------------------|----|
|                          | 權重             | 排序 | 權重                   | 排序 | 權重                 | 排序 | 權重            | 排序 | 權重                | 排序 |
| 飛機載重平衡與重心配置最佳化           | 0.20094        | 2  | 0.20333              | 1  | 0.19836            | 4  | 0.19448       | 5  | 0.20142           | 2  |
| 規劃最佳飛航路徑 (含 ETOP 航路) 與高度 | 0.20439        | 1  | 0.20293              | 2  | 0.20149            | 2  | 0.20389       | 2  | 0.21460           | 1  |
| 適當採取連續降落進場或連續爬升飛航        | 0.19750        | 5  | 0.19745              | 4  | 0.19972            | 3  | 0.20044       | 3  | 0.19128           | 5  |
| 依旅客承載率及貨物積載情形派遣適當機型服務    | 0.19860        | 3  | 0.20076              | 3  | 0.19712            | 5  | 0.19675       | 4  | 0.19200           | 4  |
| 訂定飛機於地停和飛航過程中節能操控之適當準則   | 0.19858        | 4  | 0.19553              | 5  | 0.20332            | 1  | 0.20448       | 1  | 0.20070           | 3  |
| 權重評距 (排序 1 ~ 排序 5)       | 0.00689        |    | 0.00780              |    | 0.00620            |    | 0.01000       |    | 0.02332           |    |

資料來源：本研究整理。

有關之方案，航空公司仍會有所權衡。其次，包裝物之輕量化亦為可行方案，業者對此方案之接受程度勝於「減少機上免費商品實體存放及適當減少機上個人服務用品提供」，而後者其實已在航空公司實務上採行許久，評比權重與排序詳如表 6 所示。

文件業務無紙化應是航空公司最早推動的方向之一，尤其全面使用電子機票和電子手冊，絕大部分公司均已全面施行，但登機證和託運行李吊牌目前則未完全普及。貨運部分雖國際空運組織積極鼓吹提單電子化，但各國及各公司遵行的有限，成效不若客運的作為。這些已施行的成

表 6 不同受測群體對航空公司運務作業及客艙減重措施方案準則適用評比

| 群體                          | 全體<br>(樣本數 25) |    | 組合型航空公司<br>(樣本數 15) |    | 低成本航空公司<br>(樣本數 2) |    | 學者<br>(樣本數 5) |    | 民航研究機構<br>(樣本數 3) |    |
|-----------------------------|----------------|----|---------------------|----|--------------------|----|---------------|----|-------------------|----|
|                             | 權重             | 排序 | 權重                  | 排序 | 權重                 | 排序 | 權重            | 排序 | 權重                | 排序 |
| 食物和飲用水外包裝輕量化                | 0.20364        | 2  | 0.20281             | 2  | 0.20034            | 2  | 0.20118       | 3  | 0.21436           | 1  |
| 減少免費行李託運額度                  | 0.20716        | 1  | 0.20717             | 1  | 0.20547            | 1  | 0.20559       | 1  | 0.21066           | 2  |
| 減少深宵航班食物裝載                  | 0.19624        | 4  | 0.19574             | 4  | 0.19908            | 4  | 0.19881       | 4  | 0.19249           | 4  |
| 提醒旅客登機前先行如廁與減少用水            | 0.19169        | 5  | 0.19298             | 5  | 0.19478            | 5  | 0.19270       | 5  | 0.18173           | 5  |
| 減少機上免費商品實體存放及適當減少機上個人服務用品提供 | 0.20127        | 3  | 0.20131             | 3  | 0.20034            | 2  | 0.20172       | 2  | 0.20076           | 3  |
| 權重評距 (排序 1 ~ 排序 5)          | 0.01547        |    | 0.01419             |    | 0.01069            |    | 0.01289       |    | 0.03263           |    |

資料來源：本研究整理。

果，也可從各群體的評比反映看出相同的認知，詳如表 7 所示。其中民航研究機構對各方案之評比差別性，也較其他群體高出許多。

在航空公司改善地勤飛機服務作業方面，「研擬最佳飛機加油和加水規劃」之適用性相對最高，但低成本航空公司確認為「有效控制存貨、減少飛機備品存量」更為適用。「定期清洗航機和發動機外部」則是組合型航空公司認定較理想的方案之一。

### 4.3 不同公司類別之可行-有效性分析

4.2 節利用排序成對比較法，從全體航空公司的角度，針對不同綠色運輸策略及各策略所列可行方案，進行各自適用性的相對評比，其乃從方案本身角度考量。本小節則從不同航空公司的營運型態角度，同樣請受訪者依李克特五點尺度，衡量不同類別航空公司執行方案的可行性與有效性，此可就受訪者的認知衡量不同營運特

表 7 不同受測群體對航空公司文件業務無紙化方案準則適用評比

| 群體                   | 全體<br>(樣本數 25) |    | 組合型航空公司<br>(樣本數 15) |    | 低成本航空公司<br>(樣本數 2) |    | 學者<br>(樣本數 5) |    | 民航研究機構<br>(樣本數 3) |    |
|----------------------|----------------|----|---------------------|----|--------------------|----|---------------|----|-------------------|----|
|                      | 權重             | 排序 | 權重                  | 排序 | 權重                 | 排序 | 權重            | 排序 | 權重                | 排序 |
| 全面使用電子機票             | 0.25853        | 1  | 0.24973             | 2  | 0.25198            | 1  | 0.24957       | 2  | 0.32628           | 1  |
| 以電子式手冊取代紙本手冊         | 0.25839        | 2  | 0.26631             | 1  | 0.24802            | 3  | 0.24921       | 3  | 0.23807           | 3  |
| 採用電子式登機證與託運行李牌       | 0.24718        | 3  | 0.24566             | 3  | 0.25198            | 1  | 0.24845       | 4  | 0.24488           | 2  |
| 全面施行空運提單標準化與電子資料交換作業 | 0.23590        | 4  | 0.23829             | 4  | 0.24802            | 3  | 0.25276       | 1  | 0.19077           | 4  |
| 權重評距 (排序 1 ~ 排序 4)   | 0.02263        |    | 0.01658             |    | 0.01116            |    | 0.00431       |    | 0.13551           |    |

資料來源：本研究整理。

表 8 不同受測群體對航空公司改善地勤飛機服務作業方案準則適用評比

| 群體                 | 全體<br>(樣本數 25) |    | 組混合型航空公司<br>(樣本數 15) |    | 低成本航空公司<br>(樣本數 2) |    | 學者<br>(樣本數 5) |    | 民航研究機構<br>(樣本數 3) |    |
|--------------------|----------------|----|----------------------|----|--------------------|----|---------------|----|-------------------|----|
|                    | 權重             | 排序 | 權重                   | 排序 | 權重                 | 排序 | 權重            | 排序 | 權重                | 排序 |
| 落實機上清潔之垃圾分類        | 0.18964        | 4  | 0.18766              | 4  | 0.19462            | 4  | 0.19620       | 5  | 0.18427           | 5  |
| 定期清洗航機和發動機外部       | 0.20456        | 2  | 0.21170              | 2  | 0.19017            | 5  | 0.19771       | 4  | 0.19024           | 4  |
| 訂購航班起飛地之機上餐點       | 0.18876        | 5  | 0.18315              | 5  | 0.20368            | 2  | 0.19877       | 3  | 0.19070           | 3  |
| 研擬最佳飛機加油和加水規劃      | 0.21478        | 1  | 0.21706              | 1  | 0.20028            | 3  | 0.20602       | 1  | 0.22719           | 1  |
| 有效控制存貨、減少飛機備品存量    | 0.20226        | 3  | 0.20042              | 3  | 0.21126            | 1  | 0.20130       | 2  | 0.20760           | 2  |
| 權重評距 (排序 1 ~ 排序 5) | 0.02602        |    | 0.03391              |    | 0.02109            |    | 0.00982       |    | 0.04292           |    |

資料來源：本研究整理。

色和環境的角度予以評估。利用 IPA 法的概念，就「可行」及「有效」之得分，分別以橫軸與縱軸兩維度予以標示，並將所有受訪者所得之平均數設定為分割中點，可繪製出相對比較之四大象限，詳如圖 2，並分別定義位列四大象限之方案意義如下：

1. 第一象限：可行性高，有效性高，為相對可積極採行之方案。
2. 第二象限：可行性低，有效性高，為相對可期待之方案。

3. 第三象限：可行性低，有效性低，為相對可忽略之方案。
4. 第四象限：可行性高，有效性低，為相對可延後施行之方案。

綜整 25 份整問卷後，分別計算出組混合型航空公司及低成本航空公司的算術平均值，作為二維座標圖的分割中點，詳如表 9 所示。以平均值而言，組混合型航空公司之可行性平均值較高，低成本航空公司之有效性平均值較高。值得注意的是，組混合型航空公司的有效性低於中間值，低成本航空公司的可行性恰等於中間值。

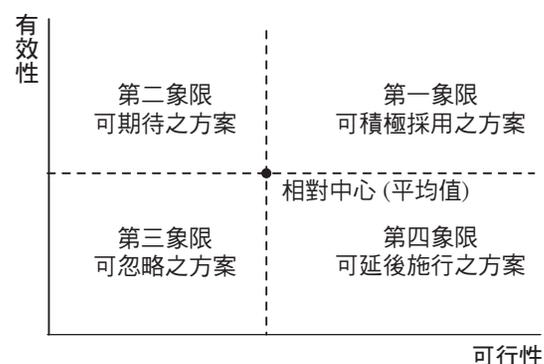


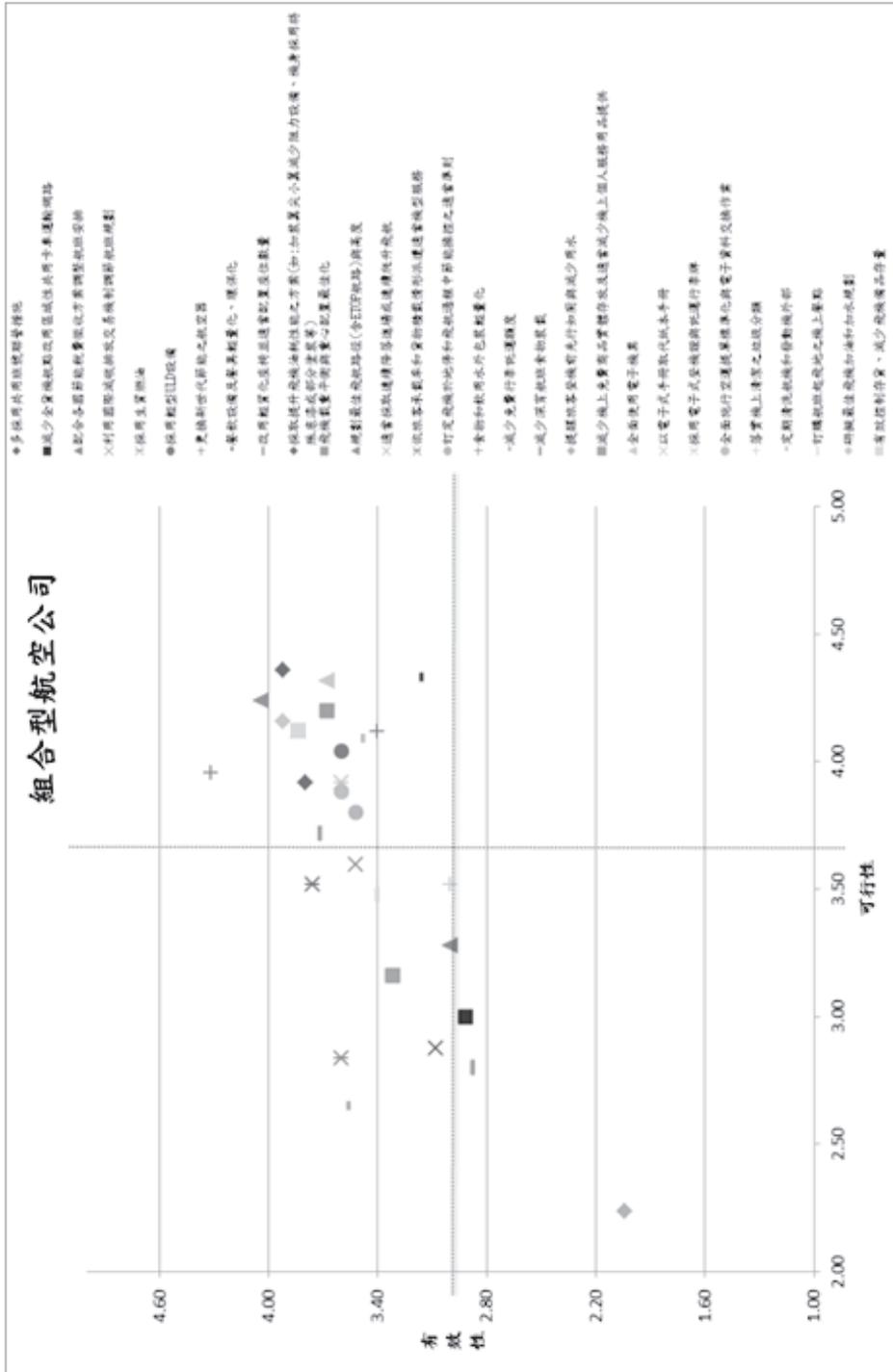
圖 2 可行 - 有效性分析象限分布之意涵

表 9 組混合型航空公司及低成本航空公司之可行性與有效性之平均值

| 組混合型航空公司 |      | 低成本航空公司 |      |
|----------|------|---------|------|
| 可行性      | 有效性  | 可行性     | 有效性  |
| 3.66     | 2.98 | 3.00    | 3.44 |

資料來源：本研究整理。

將所有專家針對組混合型航空公司施行各方案的可行性與有效性的平均值，分別



資料來源：本研究整理。

圖 3 組合型航空公司可行 - 有效性分析圖

標示於二維平面上，詳如圖 3 所示，當可得知多數的方案準則對於組合型航空公司施行的成果均為有效，但仍有部分準則項目可行性較為偏低。有 16 項方案可積極採用，在不同的策略構面中，不一定所列方案均具高度可行，如修訂航線規劃思維，採用共用班號聯營可積極採用，但減少貨運航點即為可忽略之方案。改善設備或動力，除採用生質燃油是可期待的方案外，其他均為可積極採用的方案，包括貨運部分的裝備改善。可行性較低之方案也包括如減少深宵航班食物裝載、或是採用電子式登機證與託運行李，抑或是減少免費行李額度皆都可能是受限於組合航空公司經營型態之緣故，低成本航空常提醒旅客登機前如廁，在此也可視為是可忽略之方案。當然，全面使用電子機票、或是餐飲設備及餐具輕量化、環保化是組合型航空公司較易執行之方法。值得注意的是，所列方案對組合型航空公司而言，未有歸屬於可延後施行的象限。

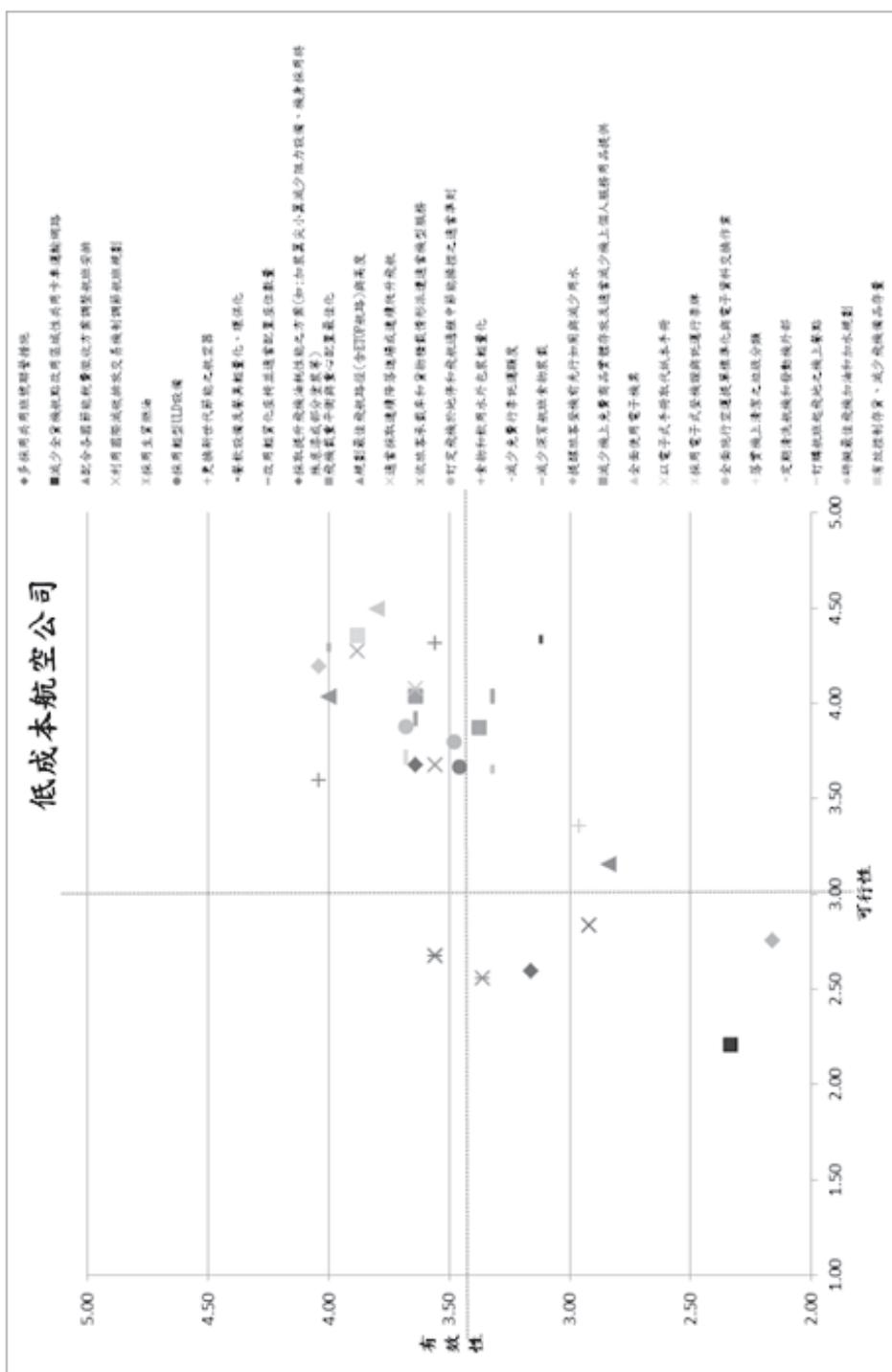
從圖 4 低成本航空公司施行綠色運輸方案之可行 - 有效性分析，可知多數方案較趨向可行性高，但有效性卻偏低的結果。研擬最佳飛機加油和加水規劃、更換新世代節能之航空器等 17 項，皆屬於可優先採用之方案。配合各國節能稅費徵收方案調整航班規劃，落實清潔之垃圾分類，減少深宵航班食物裝載，對低成本航空公司均可延後實施。減少機上免費商品實體存放及適當減少機上個人服務用品提

供、多採用共用班號聯營措施、利用國際減碳排放交易機制調節航班規劃、提醒旅客登機前先行如廁與減少用水、採用生質燃油等為可忽略之方案。依承載率派遣適當飛機對現行採用少數機型之低成本航空公司而言，的確是可期待的方案，在本研究中也是唯一的一項。

綜觀組合型航空公司與低成本航空公司的分析結果，可得多數的方案準則對於組合型航空公司較低成本航空公司有效，但在可行性方面則是低成本航空公司較易施行綠色運輸方案。從本研究的分析中可確認，各項措施與施行難易度攸關於航空公司服務類型及成本預算考量，如組合型航空公司認為減少免費行李額度雖具有有效性，但可行難度較高；反之，此準則卻對低成本航空公司而言，是可積極採用者。同樣地，減少機上免費商品實體存放及適當減少機上個人服務用品提供，對組合型航空公司而言，較難執行但具有有效性，而對低成本航空公司之可行性與有效性兩者均高。此外，規劃最佳飛航路徑(含 ETOP 航路)與高度、研擬最佳飛機加油和加水規劃、全面使用電子機票等皆是兩類航空公司均具可行性及有效性的方案。

## 伍、結論與建議

本研究利用文獻回顧方式蒐集相關航空公司有效綠色運輸策略與方案資料，確



資料來源：本研究整理。

圖 4 低成本航空公司可行 - 有效性分析圖

立六大策略構面及 29 項方案準則，經調查 25 位不同群體專家意見後，透過排序成對比較法，對策略構面和個別所屬方案準則，進行航空公司適用性的相對比較。再藉專家對組合型航空公司和低成本航空公司之型態，所評比各方案之可行性與有效性，界定出哪些方案可歸屬於可積極採用、可期待、可忽略、可延後施行之類別。所得結論統整如下：

1. 「改善設備或動力之使用」乃是最有成效且最能採用的策略構面，不同群體呈現的意見也趨於相近，僅低成本航空公司專家認為「改變飛航作業流程」應更為有利。
2. 在各策略構面中之相對最適用之方案為：
  - (1) 在航空公司修訂航線規劃思維上，全體專家總合意見認為「多採用共用班號聯營措施」乃為最適用的方案。
  - (2) 改善設備或動力之使用方案準則上，「更換新世代節能之航空器」取得一致的認同為最適用的方案。
  - (3) 改變飛航作業流程之方案準則以「規劃最佳飛航路徑(含 ETOP 航路)與高度」最受全體的認可，但航空業者並非將其列為最佳方案。
  - (4) 運務作業及客艙減重措施中，「減少免費行李託運額度」是最受看好的方案，但不易於組合型航空公司施行。

(5) 文件業務無紙化中，「全面使用電子機票」是最受重視的方案。

(6) 改善地勤飛機服務作業方面，「研擬最佳飛機加油和加水規劃」之適用性相對最高。

3. 組合型航空公司背景之專家與低成本航空公司之專家意見並非一致，但方案適用差距均不若民航研究機關專家的明顯。
4. 所有方案以所得評分之平均值而言，組合型航空公司之可行性平均值較高，低成本航空公司之有效性平均值較高。
5. 可行 - 有效性分析顯現兩種不同經營型態之航空公司，均有超過一半以上方案為可優先採用的，但內容並不相同，此顯示航空公司的確會因商業模式的差異而有不同的決策。

後續研究可在本研究的基礎上，考慮下列所述的改善：

1. 航空公司之維修作業也是綠色方案可以著力的方向，惟此部分項目繁多，文獻卻較少，後續可再就這一領域進行更深入的探究。
2. 文中的調查對象均為我國相關單位，後續可再以外籍航空公司或其他相關研究機構作為訪談對象。
3. 可再針對其他類型航空公司型態進行更進一步探討分析，如全貨運航空公司及快遞業務之整合型航空公司。
4. 綠色方案實為一具即時性和未來性之課題，後續可朝建構更詳盡的評估架構邁

進，並利用其他更適合的研究方法加以評析。

## 參考文獻

- 上弦月，2011，因應油價高漲，航空公司出奇招，新三才 2011/09/02。
- 中華航空 <http://www.china-airlines.com/ch/csr/environment/action-flight.html>，2016 年 2 月 28 日。
- 王俐驊，2011，歐盟排放交易機制對國籍航空業者之營運影響，國立交通大學管理學院運輸物流學程碩士學位論文，臺北市。
- 民航資源網，2014，民航形形色色的飛機減重招數，澳門民航學會 2014/06/04。
- 石俊賢，2004，排放交易、環境績效與政府執行策略分析，國立臺北大學資源管理學系碩士學位論文，新北市。
- 吳佩璇，2012，因應歐盟航空碳排稅之航空公司航線網路規劃研究，淡江大學運輸管理學系碩士學位論文，新北市。
- 沈懷玲，2013，碳交易與碳抵銷機制對航空業者之潛在影響，長榮大學航運管理學系碩士學位論文，臺南市。
- 邱翰暘，2011，新式航空器營運對機場環境成本之影響——噪音與引擎廢氣，長榮大學航運管理學系碩士學位論文，臺南市。
- 長榮航空，2016，<http://www.evaair.com/zh-tw/environmental-commitment/>，2016 年 2 月 28 日。
- 孫偉碩，2000，臺北飛航情報區民用航空器汙染物排放研究，國立臺灣大學大氣科學系碩士學位論文，臺北市。
- 陳恩崧，2008，航空器引擎排放成本對航空公司航線營運之影響，長榮大學航運管理學系碩士學位論文，臺南市。
- 黃如萍，2013，飛機餐車減重一年省油錢 87 萬，中時電子報 2013/01/02。
- 劉蓉蓉，2012，我國航空公司擴展兩岸空運服務之市場機會分析，國立臺灣海洋大學航運管理學系碩士學位論文，基隆市。
- 盧曉櫻、熊正一、余泰毅，2009，國際航空器廢氣（含溫室氣體）排放減量現況調查及我國因應策略之研究，交通部民用航空局期末報告，臺北市。
- 謝龍泉，2009，航空公司最適飛航路徑選擇問題之研究，國立臺灣海洋大學航運管理學系碩士學位論文，基隆市。
- Boeing, 2016. <http://www.boeing.com/principles/environment/index.page> (accessed 28 Feb, 2016)
- Chao, C.C., 2014. Assessment of carbon emissions costs for air cargo transportation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 33, 186-195.
- Dalmau, R. and Prats, X., 2014. Fuel and time saving by flying continuous cruise climbs: estimating the benefit pools for maximum range operations. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 35, 62-71.

- Egelhofer, R., Marizy, C. and Cros, C., 2007. Climate impact of aircraft technology and design changes. *Journal of Air Transportation*, 12(2), 72-95.
- Girardet, D. and Spinler, S., 2013. Does the aviation Emission Trading System influence the financial evaluation of new airplanes? An assessment of present values and purchase options. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 20, 30-39.
- International Air Transport Association, 2016. Improving Environmental Performance. Available at: <http://www.iata.org/whatwedo/environment/pages/index.aspx> (accessed 28 Feb, 2016)
- Khoo, H.L. and Teoh, L.E., 2014. A bi-objective dynamic programming approach for airline green fleet planning. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 33, 166-185.
- Lee, J.J., 2010. Can we accelerate the improvement of energy efficiency in aircraft systems? *Energy Conversion and Management*, 51, 189-196.
- Lu, C., 2009. The implications of environmental costs on air passenger demand for different airline business models. *Journal of Air Transport Management*, 15, 158-165.
- Lu, H.A. and Liu, R.R., 2014. Market opportunity analysis and evaluation of the expansion of air transport services across the Taiwan Strait. *Journal of Air Transportation Management*, 37, 10-19.
- Lu, H.A. and Mao, Y.R., 2015. Evaluation of airport conditions to attract foreign low cost carriers: a case study of Taiwan. *Journal of Air Transportation Management*, 42, 297-305.
- Morrell, P. and Lu, C., 2007. The environmental cost implication of hub-hub versus hub bypass flight networks. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12, 143-157.
- Rose, A. and Raybould, A., 2014. Boeing and Chinese partner to make jet fuel from 'gutter oil'. *REUTERS, Environment, China, Aerospace & Defense*.
- Rothengatter, W., 2010. Climate change and the contribution of transport: basic facts and the role of aviation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15, 5-13.
- Saaty, T. L., 1996. *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*, RWS Publication: Pittsburgh.
- Yin, K., Dargusch, P. and Halog, A., 2015. An analysis of the greenhouse gas emissions profile of airlines flying the Australian international market. *Journal of Air Transport and Environment*, 47, 218-229.