

## 二、文獻回顧

過去關於航空運輸相關研究頗為豐富，多為探討航空網路經濟特性或探討航空網路設計的文獻，但結合航空網路與環境議題研究卻甚少；航空運輸衍生之噪音問題則多以計量經濟或敘述性方式闡述，故於此領域引入網路概念為待研究之議題。以下將回顧這一系列之研究，作為探討航空公司面臨噪音管制之網路配置與機場噪音收費管制評估之重要依據。本研究回顧之文獻將分成三部分加以說明：2.1 節對管制政策與噪音收費方法討論；2.2 節回顧航空網路之相關研究；2.3 節回顧機場噪音外部性研究文獻。最後，2.4 節將針對所回顧之相關文獻進行綜合討論。

### 2.1 管制政策與噪音收費方法討論

在環境經濟學中，污染防治方法可分為直接管制 (Command and Control) 與經濟誘因 (Incentive based) 制度兩大類 (Downing,1984)。直接管制為政府對環境品質訂立一標準，並為此標準定立法規，設計完善的執行計劃，但此種管制體系雖然觀念簡單明瞭但實施上卻十分複雜，各國政府當前對污染的防治政策大都採用此管制策略。直接管制常見的方式例如：限制飛航作業次數、宵禁與尖離峰時間的限制、限制年平均噪音水準、對特定航機訂定單次飛行噪音水準上限等。而另一種噪音防治方式為經濟誘因制度，經濟學者主張透過政府的干預將環境污染所造成的社會外在成本內部化，使得廠商追求成本最小化前提下自願地減少環境污染。經濟誘因制度的形式主要包括：徵稅 (tax) 與收費 (charge)，ICAO (1996), EU (1996) 建議收費方式比徵稅方式來的恰當，因為徵稅通常是管制者財賦的來源，徵收附加的污染費用則可用以支援航空公司購買更安靜的航機或是用來減少航空所產生的環境問題。

Carlsson (1999) 曾就經濟誘因制度應用在瑞典國內民航進行可行性分

析，並針對經濟誘因制度實務與理論進行分析。在短期，經濟誘因制度績效較差，直接管制則強調污染量的減少，故直接管制可以在短期內讓污染量減少。但在長期，管制會影響航機與航機引擎的選擇，航空公司會傾向使用較新而且排放污染較少的航機，而且，在經濟誘因制度下航空公司減少的排放量越多，航空公司所付出的成本也會相對的減少，故航空公司在經濟誘因制度下創新動機會比直接管制來的大。作者進一步探討如何執行與制訂最佳之經濟誘因制度，並且與現行管制制度與定價措施進行比較，結論顯示引用經濟誘因制度將改善整體定價系統效益。

目前各國使用的管制政策與噪音收費方式均不相同，主要可分為十四類，包含噪音減少程序 (noise abatement procedure)、機場宵禁 (airport curfews)、跑道優先使用限制 (preferential runways)、營運量配額限制 (operating quota)、引擎運轉限制 (engine run-up restrictions)、航機供電設備營運限制 (APU operating restrictions)、噪音量限制 (noise budget restrictions)、噪音費徵收 (noise surcharge)、噪音監控系統 (noise monitoring system)、機型噪音量的限制 (noise level limits)、噪音調和計畫 (noise compatibility program)、Stage 2 機型限制 (Stage 2 restrictions)、Stage 2 淘汰計畫 (Stage 2 phase-out) 以及 Stage 3 機型限制 (Stage 3 restrictions)。表 2.1 顯示各管制措施於世界 595 個國際機場中採用的次數，十四項管制措施中以「噪音收費」屬於經濟誘因制度，其餘措施均屬於直接管制制度，由表 2.1 可應證前述直接管制為機場目前最常採行的方法，其中以噪音減少程序名列第一，而以營運量配額限制最不普遍。

目前，各國機場噪音收費依機場而不同，一般以 ICAO 制訂之噪音第一到第三噪音等級 (Chapter 1-3) 及最大起飛重量 (maximum takeoff weight, MTOW) 為每架次噪音收費標準。以下初步收集國際機場資料，如表 2.2 所示，並分別針對徵收噪音收費機場詳述其噪音收費方法，以瞭解實務上機

表 2.1 世界 595 個國際機場管制措施採用的次數

	噪音管制措施	於 595 個國際機場中被採用的個數
1	噪音減少程序	375
2	跑道優先使用限制	330
3	引擎運轉限制	331
4	機場宵禁	218
5	噪音監控系統	168
6	噪音調和計畫	113
	噪音費徵收	113
7	Stage 2 淘汰計畫	105
8	機型噪音量的限制	83
9	航機供電設備營運限制	70
10	Stage 2 機型限制	42
	噪音量限制	42
11	Stage 3 機型限制	35
12	營運量配額限制	12

資料來源：<http://www.boeing.com/>，與本研究整理

表 2.2 國際機場目前採取噪音管制措施

	東京	阿 姆 司 特 單	安 格 拉 治	曼 谷	法 蘭 克 福	紐 約 甘 乃 迪	台 北	舊 金 山	洛 杉 磯	夏 威 夷	雪 梨
噪音減少程序	*	*	*	*	*	*		*			*
機場宵禁	*	*			*	*		*		*	*
跑道優先使用限制	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*
營運量配額限制											*
引擎運轉限制		*	*	*	*	*	*	*		*	
航機供電設備營運限制		*		*		*		*			
噪音量限制		*									
噪音費徵收	*	*			*		*				*
噪音監控系統	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*
機型噪音量的限制		*			*			*			
噪音調和計畫			*			*		*	*		
Stage 2 機型限制	*	*			*	*		*	*		
Stage 2 淘汰計畫	*	*				*		*			
Stage 3 機型限制		*			*						

資料來源：<http://www.boeing.com/>，與本研究整理

場收費之準則：

台北中正國際機場：

噪音費用按航機每架次最大起飛重量、噪音量（單位為 effective perceived noise level, EPNdB）多寡計收，屬於附加費，其公式為：(17(台幣)×最大起飛重量(每千公斤) + 95(台幣)×起飛音量(EPNdB) - 73)。

雪梨 Kingsford Smith 國際機場：

噪音收費公式 =  $k \times 2^{(M-265)/15}$ ， $k=170$  澳幣，機場將預估年中支援噪音減少計劃之基金除以預估年噪音產生單位總量，獲得一單位噪音之貨幣價值即為噪音收費公式中之財政因子  $k$ 。其中  $M$  = 以最大起飛重量為基準之三量測點（包括起飛、降落與橫向量測點三點）量測的噪音水準加總，其中由於噪音第二等級航機之橫向量測點為距跑道中心線 650 公尺之航跡平行側方量測，但噪音第三等級航機之橫向量測點為距跑道中心線 450 公尺量測，故噪音第二等級航機三量測點量測之噪音水準必須再加 3.2 EPNdB 以確保噪音第二等級與噪音第三等級航機具有相同量測標準。若航機三量測點量測之噪音量加總小於 265 EPNdB 則無需徵收噪音費。

德國法蘭克福國際機場：

屬於附加徵收噪音費的方式，早上 8 點至晚上 8 點於優惠名單上之噪音第三等級航機無須徵收噪音費，其餘噪音第三等級航機每噸徵收 4.5 馬克，噪音第二等級安靜機型每噸徵收 40 馬克，其餘噪音第二等級航機每噸徵收 45 馬克，而不符合國際民航公約第 16 號附約 (ICAO Annex 16) 標準之機型則每噸徵收 95 馬克，另法蘭克福國際機場於晚間 8 點至早上 8 點間各機型每噸航機重量徵收之噪音費用亦增加。

東京成田(Haneda)國際機場：

將三量測點量測中之起飛、降落噪音量加總除以二再扣掉 83 分貝，無條件進位化整為整數再乘以財政因子 3400 日圓為降落東京機場之附加噪音費用。若航機起飛、降落量測噪音量之加總除以二小於 83 分貝則此機型無需繳交噪音費而僅徵收降落費。

#### 荷蘭阿姆斯特丹 Schiphol 國際機場：

包括阿姆斯特丹機場噪音收費與荷蘭政府噪音收費兩種，機場噪音收費依噪音量等級分為三類，噪音值較小之航機將獲得降落費 5%之折減，噪音值屬於第二種類之航機將不予折減，屬於第三類之航機為較老舊或吵雜之航機，機場不鼓勵航空公司使用，故多徵收 15%的降落費用作為噪音防制之用，同時為了鼓勵航空公司淘汰噪音第二等級航機，噪音第二等級航機中 MTOW 小於 100 噸每次降落必須多徵收 4,050 荷蘭幣，MTOW 大於 100 噸則多徵收 6,075 荷蘭幣。荷蘭政府為了控制機場附近地區噪音量大小，以及承諾噪音區域內居民在限期內控制噪音量小於一容忍值，故透過每班次降落時政府徵收噪音費籌措噪音防治經費，一旦噪音控制目標達成，政府噪音費徵收亦結束。荷蘭政府噪音收費如下：航機 MTOW 小於 390kg 不徵收噪音費，大於 390 kg 噪音收費公式為  $H = [F \times L]$ ， $H$ =噪音收費， $F$ =財經因子=208 荷蘭幣， $L$ =噪音因子，當航機 MTOW 介於 390kg 與 20,000 kg 之間噪音因子與 MTOW 有關，當航機 MTOW 大於 20,000 kg 噪音因子  $L = n \times 10^{(M-270)/45}$ ， $M$ =三量測點噪音量之加總， $n$ =航機引擎個數相關因子。

在表 2.2 探討的 11 個國際機場中，夏威夷檀香山國際機場、紐約甘乃迪國際機場、舊金山國際機場、洛杉磯國際機場、安格拉治國際機場及曼谷國際機場目前並無噪音收費。

## 2.2 航空網路之相關研究

### 2.2.1 軸輻航空網路經濟性探討

許巧鶯、王志青(1997)在空運中心位置為已知的條件下，探討於軸輻航空網路下，貨物應採直運或經由空運中心轉運。研究中利用解析性方法，分析影響運送過程中儲運成本的因素，並構建直運與轉運之成本函數，以成本比較法決定貨物應以直運或轉運路線運送。研究中將貨物時間價值、起迄點與空運中心之間的流量及空間分佈對成本函數與路線選擇的影響反映在模式中。研究中指出當貨物的時間價值增加時，將有利於轉運路線的選擇。

Hansen (1990) 以非合作賽局理論，探討航空公司直飛與經由空運中心轉運兩種市場之間的競爭。構建航空公司之利潤模式，分析各航空公司在假設競爭者頻次為已知的情形下，追求利潤最大化時的班次競爭策略，為尋求一 Nash 均衡解。

Kanafani (1981) 探討航機技術與航空網路結構之關係，探討短程、低密度特性之航空運輸網路結構與航機技術發展間之關係。研究發現短程低密度航空網路偏好以較小型航機飛航，而網路結構趨向軸輻航空網路型態，以達到最大承載率與營運上之經濟效益。

### 2.2.2 航線頻次與機型選擇

顏上堯、王瑞中 (1997) 利用時空網路與多評準決策分析方法發展一系統模式，以業者最大利潤與總服務旅次最大化為目標，在潛在旅客需求下，以多機種直達與多停靠航次規劃航線與頻次。

顏上堯、黃武強 (1996) 針對單一轉運中心，以多機種、多停靠航次的營運方式，透過網路流動技巧發展一系統性飛航定線模式，考慮空運中心的運作，以不同機種、直達與多停靠航次規劃航線及班機頻次。

Carter and Morlok (1972) 發展一整數規劃模式構建航空網路排程與班機頻次規劃，以營運成本最小化為目標，考量單一機型營運直飛及中途停站等航線營運形態，規劃最佳航線頻次。

Kanafani *et al.* (1982) 以最適頻次指派模式 (optimal frequency assignment model) 為基礎，結合航線選擇模式，分析航機機型與航空網路架構間之短期關係。在需求配置與航機機型已知的條件下，藉由兩個模式的結合將可最適化航機使用率，並找出最佳的網路架構。研究中驗證大型機型具顯著規模經濟性，而小型機型則在服務水準的提供、減少對空運中心的依賴等佔優勢。研究中亦指出，未來的航機技術將朝向改善小型機型在酬載與飛航距離的限制，以降低小型機型的距離不經濟性 (diseconomies of distance)。

Teodorovic (1986) 發展多機種網路頻次規劃模式，此模式並未處理旅客轉運需求而以直飛方式飛行各節點，作者以線性規劃方法求解線性最佳解作為整數規劃問題之近似解。

Teodorovic *et al.* (1994) 以模糊集合理論 (fuzzy set theory) 為基礎，考慮航空運量預測的不確定性，構建數學模式以進行航空網路設計與航線頻次規劃。路線選擇以航線距離與中途停靠站數為決策準則，以模糊邏輯找出可行航程 (route) 以形成航線，並考慮直接營運成本、間接營運成本與旅客成本，以模糊線性規劃 (fuzzy linear programming) 為基礎構建模式，以決定最適航線頻次。

Teodorovic and Krmar-Nozic (1989) 探討競爭環境下最大利潤、最大旅客量與最小旅客延誤成本之多準則模式(multicriteria model) 規劃航空公司之航線頻次。研究中求解之航線頻次問題為規模較大之組合最佳化問題，故發展一以蒙特-卡羅(Monte Carlo) 為基礎的啟發式解法，求解非線性整數規劃問題，規劃最佳班機頻次。

Hsu and Wen (2000) 延續許巧鶯、溫裕弘(1996) 之研究，整合灰色預測 (grey forecasting)、灰色聚類與多目標規劃法 ( multiobjective programming )，預測航線運量、設計航線網路與規劃班機頻次，以運量灰數 ( grey number ) 描述運量預測值於預測區間內之變動，引入運量灰數於網路形態設計與航線班機頻次規劃模式中，作對應之網路形態設計與頻次規劃，以  $\epsilon$ -限制法 (  $\epsilon$ -constraint ) 求解多目標規劃模式得 Pareto 最適曲線 ( Pareto optimal frontier )，得各組反應航空公司營運成本與服務水準不同權衡取捨下之規劃解組。

## 2.3 機場噪音外部性研究

Alamdari and Brewer(1994) 調查歐洲航空公司可能因應燃油稅的增加採取之措施，依序為提高票價、置換較有效率的引擎、減少其他營運部分的成本。其實證研究發現，燃油稅對頻率的影響在短期並不大，因為減少飛行頻次並不是因應燃油稅唯一的方法。另外油價的增加影響營運成本之增加，直覺上增加燃油成本會加強軸輻網路形態，然而軸心機場比其他的機場邊際環境成本高，如果反映在管制策略中，依不同機場徵收不同噪音費，則航空公司將可能採用直飛。因此對不同網路結構的環境屬性進行分析亦是非常重要。

Campisi and Gastaldi (1996)檢視污染稅對義大利的貨物運送方式的影響，利用 Barnett Translog approximation 構建貨物運送模式，再將污染稅加到原先的模式，估計鐵路與卡車替代機率的移轉。發現在既存網路中的運送貨物類型 (sector) 與運送地區(region) 都因為考慮運具替代重新分配流量而受益。而且卡車與鐵路運具間的替代彈性在引入環境污染稅後均增加，數值的預測顯示總污染量與運輸成本都因此而減少。

Carlsson (1999) 分析經濟誘因制度應用於瑞典國內航空的可行性，從管制的觀點，作者首先定義瑞典國內航空產業特性，再以實務與理論觀點針對經濟誘因制度進行探討。在短期，經濟誘因制度績效較差，直接管制則強調污染量的減少，故直接管制可以在短期內讓污染量減少。但在長期，因採用誘因管制航空公司會傾向使用較新而且排放污染較少的航機，而且，在經濟誘因制度下航空公司減少的排放量越多，航空公司所付出的成本也相對的減少，故航空公司在經濟誘因制度下創新動機會比直接管制來的大。作者進一步探討如何執行與制訂最佳之經濟誘因制度，並且與現行管制制度進行比較，並以社會福利最大的觀點制訂定價措施，結論顯示引用經濟誘因制度將改善整體定價系統效益。

Hayashi and Trapani (1987) 指出增加燃油價格可能會對票價或頻次產生影響，而影響大小則要視市場結構而定。在短期，假設機隊固定，若航空公司飛行頻次與票價呈反向變動，則燃油價格增加會造成飛行頻次的減少；如果頻次與票價呈正向變動，則情況不一定，它可能會造成增加燃油成本卻使得頻次增加(增加污染) 的反效果。

Ignaccolo (2000) 以機型產生噪音量、機隊組合、每天降落頻次、受噪音影響地區四個變數構建噪音迴歸方程式，協助機場規劃者與管理者易於掌控因航機起降產生的噪音量。

Janic'(1999) 闡述民用航空產生的環境衝擊，包含：噪音污染、空氣污染、飛安問題、擁塞延滯問題，並探討航空產業技術與制度上的革新，增加航空運輸的效率性以減少航空對環境產生的衝擊，使得民用航空能永續發展(sustainable development)。

Kanafani and Ghobrial (1985) 探討航空公司空運中心軸心化 (airline hubbing) 對機場經濟的影響，作者構建 logit 路線選擇模式探討航空網路空運中心軸化的現象，指出軸心機場徵收擁擠費或機場規費 (airport penalty) 對軸幅網路型態衝擊不大，但會增加航空公司的航線乘載率造成航空公司頻率的減少，並增加旅客等待時間。

Morrell and Lu (2000) 針對目前國際機場之收費機制進行比較，透過特徵價格法 (Hedonic Price) 評估噪音產生之社會成本，以制訂最佳噪音定價。作者以阿姆斯特單機場為例進行分析比較，發現荷蘭政府目前徵收之噪音費用比每年因為航機飛航產生之噪音社會成本小，最後提出兩種噪音收費機制，為噪音收費等於噪音減少計畫投資與噪音收費等於邊際噪音成本兩種方式。

Nero and Black (1998) 曾以概念性航空網路闡述高度轉運產生之環境外部性問題，作者認為在追求社會福利最大的前提下，使用軸幅網路型態形式是合適的，然而，於軸幅網路型態中越多的飛行頻率將產生越多的外部性問題，轉運的網路形式使得軸心機場 (Hub) 的環境污染惡化，但是鄰近機場 (spoke) 的污染卻可能與軸心機場轉運人數多寡及旅客對航空公司提供之飛行頻次的需求彈性有關，造成空間上外部性的重新分佈。

Oum et al. (1996) 指出軸幅網路系統軸心機場(hub) 與鄰近機場(spoke) 需求互補，故以整體軸幅網路系統擬定之機場定價將比單獨定價可增加社

會福利，而軸心機場將透過補貼減少鄰近機場的損失，機場私有化也將導致分配效率性(allocation efficiency) 之減少，使社會福利降低。

## 2.4 綜合討論：

回顧相關航空網路之研究，大都以數學規劃模式為基礎，或著重於航空網路經濟性探討之研究，或從客運的角度規劃航線及班機頻次，故此類研究可作為本研究於構建航空公司網路配置與機型選擇模式之參考依據。然過去以航空網路為基礎探討環境外部性議題之研究，國內外相關文獻相當稀少，僅 Nero and Black (1998), Hayashi and Trapani (1987), Alamdari and Brewer (1994), Kanafani and Ghobrial (1985) 這幾位學者嘗試以敘述性或計量經濟方法探討不同環境管制政策對航空公司的影響，但仍未在多對多需求之網路概念下闡述航空公司因應不同環境管制政策對其網路配置與機型選擇的影響。且上述於航空公司網路問題中探討環境相關議題之文獻，均假設航空公司只使用單一機型，但不同的機型具有不同的營運成本，故航空公司可藉由選擇不同的機型組合以獲得最小化營運成本；再者，越擁塞的機場徵收的環境費越高，航空公司因應這些飛抵航點成本的不同，將可能會重置其航線與飛行頻次及進行機型選擇，重新規劃其航空網路。

關於機場環境外部性的議題，多以敘述性或計量經濟方法，分析機場採取管制措施對社會福利的影響，但以解析性的方法在考慮上述航空公司對噪音收費可能之因應調整下，同時量化機場多目標達成之效率性，過去並未有文獻觸及。因此本研究擬就多對多需求的網路型態，以網路模式與經濟理論為基礎，航空客運為研究範圍，構建反應噪音管制之航空客運網路航線頻次與機型規劃模式，並分析不同的噪音管制策略對機場噪音管制效率之影響。