

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 航空公司考慮噪音收費之網路配置與機場噪音收費績效評估

### Airline Network Adjustment in Response to Noise Charge and Performance Assessment for Airport Noise Charge Policies

計畫編號：NSC90-2211-E-009-036

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：許巧鶯(cihsu@cc.nctu.edu.tw)

國立交通大學運輸科技與管理學系

#### 一、中文摘要

本研究目的在探討不同的噪音收費管制措施，對航空公司之最適網路型態、航線頻次與機型選擇之影響，並透過機場多目標評估，檢驗不同的噪音收費政策對機場多目標追求達成之效果。首先針對目前噪音管制政策進行分析，瞭解實務上各國機場噪音收費方法。繼而，以解析性方法構建航空公司成本函數，在最小化成本目標下，應用網路模式探討航空公司在噪音收費管制下最佳航線與航班頻次及機型選擇。進一步，針對不同噪音收費方式，探討不同的成本內部化後對航空公司營運成本的增加，及航線與航班機型及頻次選擇的影響。另外，考量各機型排放污染量不同，透過污染函數的計算評估機場執行噪音管制策略對總污染量變化之影響，並藉由社會成本變動、機場營運成本與營運收入之變化等目標，建立機場評估不同噪音收費管制政策之多目標評估模式。實例分析以中正機場與降落於中正機場七家航空公司的航線班機頻次為研究對象，分析中正機場採用雪梨、東京成田機場、荷蘭政府噪音收費方式之適用性，以闡述本模式之應用。結果顯示航空公司可透過部分機型與頻次組合改變以調適噪音所增加之收費，而對軸心機場徵收噪音費亦會影響航空公司轉運點之決策；而多目標評估模式之結果顯示，機場降落費之設定會影響噪音收費對社會成本控制的效率；若中正機場當局越關心噪音產生的社會成本，宜採行雪梨機場目前噪音收費方式。

**關鍵詞：**噪音收費、航空網路、航線頻次、航線機型。

#### Abstract

This research aims to explore different airport noise charge policies, and to analyze the performance of airport noise charge policy from multiple perspectives. The study formulates an airline network design model by minimizing airline operating cost to determine the optimal air routes and flight frequencies and aircraft types in response to airport noise charge. Further, the study discusses the context of several noise charge policies, and investigates the impact of these policies on airline costs and network structure. Since airlines' decisions on their air routes, flight frequencies, and aircraft types in response to the airport noise charge will further influence the footprint of pollution around the airport. Therefore, the study applies equivalent steady sound level to quantify aircraft noise at the

airport. Then, the study further formulates a model to assess the performance of different noise charge policies by evaluating changes in airport operating profits and the welfare of airport residents nearby. Finally, a case study about Chiang Kai-Shek (CKS) international airport is presented in an attempt to assess the effectiveness of different noise charge alternatives subject to the condition that no other airports change their noise charge policies. The results show that airlines may change aircraft routes and flight frequencies in response to the airport noise charge. The hub airport noise fee also may influence airline's network decision. Airport landing fee setting will influence the extent of noise charge on controlling social cost. Finally, the result suggests that if CKS authority concerns more on airport environmental problem, the authority should employ SYD noise charge policy at CKS to result in the higher weighted sum of airport profit and social cost.

**Keywords:** noise charge, airline network, flight frequencies, aircraft type.

#### 二、緣由與目的

近年來，隨著環保意識的抬頭，航空運輸造成的噪音問題越來越受到重視，由於環境污染是市場失靈的一種因素，無法透過市場價格的機制運作，若航空公司不須對其所產生的外部成本付出代價，則將造成資源無法最適配置，亦造成社會的不公平。因此環境污染的問題，通常需要透過政府部門的介入制訂相關防制政策，環境經濟學家提出經濟誘因(incentive based)污染防治政策，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，使廠商在追求最小化成本下，自願地減少環境污染，而常見的形式為機場噪音收費，然而不同機型徵收之噪音收費各不相同，因此機場制訂之噪音收費管制政策將對航空公司機型選擇、網路配置與成本產生衝擊，由於機場噪音收費管制與航空公司航線與班機頻次規劃間存有密切關係，故以系統化觀點分析不同噪音收費管制之制訂與機場噪音水準降低、機場營運者營運目標達成及航空公司因應管制措施所引起之營運衝

擊，實為一值得探討之課題。

過去有關航空客運網路之航線班機頻次與機型規劃研究，有[5][8][13][16][17]。[1][13]則針對航空網路經濟特性進行分析。然上述關於航空網路的研究鮮少觸及環境外部性議題。[4]則以敘述性方式探討不同噪音管制政策的績效，但未能從中分析獲得量化的結果；[6]以計量經濟方法分析環境管制政策對航空公司票價與頻次之影響；[15]以概念性航空網路闡述軸心機場高度轉運所產生的環境外部性問題，但並未在多對多網路結構下考慮環境收費對航空公司航線機型選擇之影響；[9]則探討課稅(tax)與收費(charge)兩種噪音收費方式的效率性，由於徵收額外的污染費用可用來支援航空公司購買較安靜的飛行器或用來減少航機起降所產生的環境問題，因此建議採用噪音收費方式。綜上所述，環境議題文獻大多或較缺乏航空網路概念，或假設航空公司只使用單一機型，然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，將可能會重置其飛行頻次與航線及進行機型選擇，重新規劃其航空網路。

綜上，本研究先針對各國機場噪音收費管制政策進行探討，透過解析性方法構建航空公司成本函數，在最小化成本之下，透過多對多網路型態構建一反應機場噪音管制之航空客運網路航線頻次與機型規劃模式，探討航空公司在噪音收費管制下所做的最佳航線頻次與機型選擇。另外，考量不同噪音收費方式與各機型排放污染量不同，透過污染函數計算評估機場執行環境管制策略對總污染量變化之影響，並透過機場營運利潤及航空噪音社會成本之變化，評估機場採用不同噪音收費政策對機場多目標追求之效率。

### 三、結果與討論

本研究討論之航空網路設計問題定義為規劃航空公司航線網路、航線使用機型與班機頻次。假設整個航空網路中起點城市集合為  $R$  迄點城市集合為  $S$ ，且  $R \cap S \neq \emptyset$ 。設任一航線起點城市為  $r$ ，迄點城市為  $s$  ( $r \in R, s \in S$ )，則每個起迄城市對航線  $r-s$  為由許多起迄點同為  $r-s$  之候選航線所構成的集合，此集合定義為  $P_{rs}$  ( $r \in R, s \in S$ )。令起迄點為  $r-s$  之任一候選航線為航線  $p$ ， $p \in P_{rs}$ 。本研究航空網路規劃模式主要決策變數為  $f_{rsp}^k$ ，表示使用  $k$  機型航機飛行  $P_{rs}$  航線的每週班機頻次， $k \in K$ ， $K$  為所有機型的集合。令  $f_{ij}$  表航段  $i-j$  之每週頻次，航段  $i-j$  班機頻次為航線  $P_{rs}$  班機頻次總和，即

$$f_{ij} = \sum_r \sum_s \sum_p \sum_k \delta_{ij}^{rsp} f_{rsp}^k \quad \text{令 } \delta_{ij}^{rsp} = 1, \text{ 表航線 } P_{rs} \text{ 經過航段 } i-j, \text{ 否則為 } 0. Q_{ij} \text{ 表 } i-j \text{ 航段每週旅客量, } Q_{rsp}^k \text{ 表使用 } k \text{ 機型航機飛行航線 } P_{rs} \text{ 所載運的每週旅客量, 航段 } i-j \text{ 的流量為經過此航段所有航線流量的加總, 以 } Q_{ij} = \sum_r \sum_s \sum_p \sum_k \delta_{ij}^{rsp} Q_{rsp}^k \text{ 表示。}$$

本模式中價格為外生變數，構建航線頻次與機型規劃模式之目標為追求航空公司營運成本最小。首先為成本面分析，航空公司營運成本可分為直接營運成本與間接營運成本。在直接營運成本方面，以  $LD_j^k$  表示  $k$  機型航機每架次飛抵  $j$  機場的降落費用，以  $NU_j^k$  代表  $k$  機型航機每架次飛抵  $j$  機場的噪音收費， $f_{ij}^k$  為  $k$  機型飛行航段  $i-j$  之每週頻次， $f_{ij}^k = \sum_r \sum_s \sum_p \delta_{ij}^{rsp} f_{rsp}^k$ ，使用機型  $k$  降落機場  $j$  之機場使用費為降落成本與噪音成本之加總， $\sum_i f_{ij}^k (LD_j^k + NU_j^k)$ ， $i \neq j$ 。航空公司整體網路的機場使用成本為

$$\sum_k \sum_j \sum_i f_{ij}^k (LD_j^k + NU_j^k). \text{ 飛行 } i-j \text{ 航段所需燃油成本可以每加侖國際油價 } (P_r) \text{ 每英里飛行所需耗費油料 } (f_k) \text{ 航段距離 } (d_{ij}) \text{ 表示。而機型 } k \text{ 航機飛行單位距離所需花費的其他費用以 } b^k \text{ 表示。總航線直接營運成本 DOC 為:}$$

$$\sum_k \sum_j \sum_i f_{ij}^k (LD_j^k + NU_j^k) + \sum_i \sum_j \sum_r \sum_s \sum_p \sum_k f_{rsp}^k \delta_{ij}^{rsp} [d_{ij} (P_r f_k + b^k)] \quad (1)$$

間接營運成本則可由航空公司載運一位旅客所產生的平均間接營運成本 ( $w_{ij}$ ) 與節線總旅客運量表示。故航空公司航線頻次與機型規劃模式如式(2)至(8)所示。

$$\text{Min } \sum_i \sum_j w_{ij} Q_{ij} + \sum_k \sum_j \sum_i f_{ij}^k (LD_j^k + NU_j^k) + \sum_i \sum_j \sum_r \sum_s \sum_p \sum_k f_{rsp}^k \delta_{ij}^{rsp} [\beta_{ij} d_{ij} (P_r f_k + b^k)] \quad (2)$$

$$\text{s.t. } \alpha_{ij} \sum_k n^k f_{ij}^k \geq \sum_r \sum_s \sum_p \sum_k \delta_{ij}^{rsp} Q_{rsp}^k \quad \forall i, j \quad (3)$$

$$Q_{rs} = \sum_p \sum_k Q_{rsp}^k \quad \forall (r, s) \quad p \in P_{rs} \quad (4)$$

$$\sum_p \sum_k f_{rsp}^k = \sum_p \sum_k f_{srp}^k \quad p \in P_{rs} \quad \forall r \quad (5)$$

$$\sum_r \sum_s \sum_p f_{rsp}^k \leq u^k A^k \quad \forall k \quad (6)$$

$$f_{ij} = \sum_r \sum_s \sum_p \sum_k \delta_{ij}^{rsp} f_{rsp}^k \quad \forall i, j \quad (7)$$

$$\text{all } f_{ij}, f_{rsp}^k, Q_{rsp}^k \geq 0 \quad (8)$$

式(2)為航空公司追求營運成本最小，其中引入一軸心機場間成本折減因子  $\beta_{ij}$ ，以反應軸

心機場規模經濟特性；式(3)表所規劃的航線頻次與所使用機型能提供足夠的運輸容量；式(4)表起迄城市對所有航線每週旅客運量總和等於起迄城市對每週運量；式(5)表任一起迄機場來回航線頻次相等。由上述模式可得目標航空公司因應降落費與噪音收費下，最適航線頻次與機型規劃。

進一步，針對機場調高噪音收費，分析航空公司因應噪音收費改變後之營運成本變動值：

$$\begin{aligned} \Delta TC = & \sum_i \sum_j \sum_r \sum_s \sum_p \sum_k (f_{rsp}^{k'} \delta_{ij}^{rsp'} \times NU_j^{k'} - f_{rsp}^k \delta_{ij}^{rsp} \times NU_j^k) \\ & + \sum_i \sum_j \sum_r \sum_s \sum_p \sum_k (f_{rsp}^{k'} \delta_{ij}^{rsp'} - f_{rsp}^k \delta_{ij}^{rsp}) \times LD_j^k \\ & + \{ \sum_i \sum_j \sum_r \sum_s \sum_p \sum_k (f_{rsp}^{k'} \delta_{ij}^{rsp'} - f_{rsp}^k \delta_{ij}^{rsp}) \times [\beta_{ij} d_{ij} (P_r f_k + b^k)] \} \\ & + \sum_i \sum_j \sum_r \sum_s \sum_p \sum_k w_{ij} \alpha_{ij} n^k \times (\delta_{ij}^{rsp'} f_{rsp}^{k'} - \delta_{ij}^{rsp} f_{rsp}^k) \end{aligned} \quad (9)$$

式(9)中第一項為航空公司因應噪音收費引起之噪音成本增加量，第二項為改變航線機型頻次造成降落費用變動項，第三項為改變航機頻次造成飛航營運成本變動項，末項為改變飛行航線以滿足起迄點需求所引起間接營運成本變動量。

本研究進一步選定以台北為起迄之國籍航空公司 A 之客運市場進行實例分析。結果顯示，航空公司可透過部分航線機型與頻次組合的改變因應機場增加噪音收費之噪音成本以減少營運成本增加之幅度，而軸心機場徵收噪音費亦可能使航空公司選擇直航替代轉運航線，另機場噪音量亦可因航空公司頻次與機型的重新規劃而減少，徵收的噪音費用將可籌措防治噪音經費以補助附近受傷害的居民。

在機場噪音收費管制方案多目標評估模式中，本研究量化機場噪音水準，考量機場本身營運利潤與航空噪音社會成本因噪音收費引起之損益變動。特定機場  $j$  一週平均航空噪音日夜音量可表示如下：

$$L_{dn, week} = 10 \log \left( \frac{1}{7} \sum_k M_j^k 10^{(L_{AE}^k + W^k)/10} \right) \quad (10)$$

其中  $L_{AE}^k$  為  $k$  機型之噪音水準； $W^k$  為  $k$  機型一天中於特定時段產生噪音量之加權； $M_j^k$  為不同機型飛抵  $j$  機場一週總頻次，可由航空公司航線機型與頻次規劃模式所得結果求得。 $L_{dn, week}$  值可反應不同噪音收費方式下之噪音量大小，故其增減量可作為分析機場噪音污染的指標。

機場附近居民可透過機場噪音費徵收所減少之機場噪音量獲得環境品質的改善。由於環境品質非市場財貨，不能透過市場價格衡量噪音水準改善對社會成本的影響，故本研究引用特徵價格觀念，估算機場噪音收費改變影響航

空噪音社會成本之變動量，即

$$\Delta I_j = \sum_z NDSI_j \times HP_j \times (N_{a,j}^z - N_0) \times (H_j^z' - H_j^z) \quad (11)$$

其中， $\Delta I_j$  代表機場噪音收費策略改變影響航空噪音社會成本之變動量， $NDSI_j$  為機場噪音貶值敏感係數(百分比)， $HP_j$  為受機場噪音影響範圍內之平均房價， $N_{a,j}^z$  為機場第  $z$  等噪音區平均噪音量(dBA)， $N_0$  為背景噪音量， $H_j^z$  為機場周圍第  $z$  等噪音區內受噪音影響之家戶數， $H_j^z'$  為機場噪音收費策略改變後機場周圍第  $z$  等噪音區內受噪音影響之家戶數。

由於噪音收費管制措施將會影響航空公司機型與航線班機頻次之組合，亦會影響飛抵特定機場航線機型與頻次，因此該機場之營運成本與營運收入以及機場營運利潤也隨之變動。機場營運成本中隨航機降落頻次變動的成本主要為設備運轉操作維護成本( $o_j^{ak}$ )，隨旅客量變動之營運成本為行政管理人員費用與水電瓦斯使用成本( $m_j$ )；機場營運收入中隨航機降落頻次改變的營運收入包括航空公司使用  $k$  機型降落  $j$  機場每架次需支付之設備及地勤場地費( $g_j^{ak}$ )、隨旅客量變動之特許費收入( $c_j$ )與隨旅客量變動之機場服務費收入( $h_j$ )，而機場利潤之變動量則可由機場噪音收費管制對機場營運收入與營運成本的改變量之差表示：

$$\begin{aligned} \Delta TP_j = & \Delta TR_j - \Delta TC_j \\ = & \left[ \sum_a \sum_k \sum_i (NU_j^{ak'} \times f_{ij}^{ak'}) - (NU_j^{ak} \times f_{ij}^{ak}) \right] \\ & + \left[ \sum_a \sum_k \sum_i (LD_j^{ak} + g_j^{ak} - o_j^{ak}) \times (f_{ij}^{ak'} - f_{ij}^{ak}) \right] \\ & + (c_j + h_j - m_j) \times \sum_a \sum_i (Q_{ij}^{a'} - Q_{ij}^a) \end{aligned} \quad (12)$$

其中， $NU_j^k$  代表  $k$  機型每架次飛抵  $j$  機場的噪音收費，若  $NU_j^{ak'} - NU_j^{ak} > 0$ ，代表機場調高  $k$  機型噪音費。式(12)中，第一項為噪音費收入變化量，第二項則與航空公司降落  $j$  機場航線班機頻次變動引起機場其他利潤之變動有關，末項反應航空公司航線變動造成轉運旅客量的改變之成本。

航空公司面臨噪音收費，可能採取調整機型與頻次，或以直飛不停靠的方式減少成本，進而航線及流量重新分配。於起迄點機場，航空公司可以改變航線機型頻次滿足起迄點需求；對於轉運機場而言，航空公司可能採行直飛不停靠的方式取消轉運航線，造成轉運機場旅客量與頻次的流失。在噪音防制支出不變下，於起迄點機場航空公司若不採取航線機型頻次變動， $f_{ij}^{ak'} = f_{ij}^{ak}$ ，機場調高噪音收費的噪音收入為  $\sum_a \sum_k \sum_i (NU_j^{ak'} - NU_j^{ak}) \times f_{ij}^{ak}$ 。若航空公司改

變航線機型頻次，使得起迄點機場之利潤因為航空公司因應措施而改變，則機場當局因噪音管制籌措之噪音收入為

$$\left[ \sum_a \sum_k \sum_i (NU_j^{ak'} \times f_{ij}^{ak'}) - (NU_j^{ak} \times f_{ij}^{ak}) \right] + \left[ \sum_a \sum_k \sum_i (LD_j^{ak} + g_j^{ak} - o_j^{ak}) \times (f_{ij}^{ak'} - f_{ij}^{ak}) \right] \quad (13)$$

若於轉運機場，則必須較非轉運機場多考慮因提高噪音收費致使航空公司取消營運航線導致旅客流失所產生之機場利潤變動如式(12)所示。

本研究以中正機場與降落於中正機場七家航空公司的航線班機頻次為實例分析，結果發現調高機場噪音收費使得 3 家航空公司取消降落中正機場之轉運航線，則社會成本、機場利潤與機場一週降落總頻次均有明顯下降趨勢。在估算中正機場周圍三個等噪音區域受噪音影響家數方面，則透過美國航空總署發展之整合噪音模式(INM)電腦軟體，模擬中正機場於不同噪音收費方式下，所有航空公司一週航線班機頻次選擇於機場周圍之等噪音線。若航空公司使用較大型的機型配合較少的頻次飛行來因應機場噪音收費的調漲，由於航機單次飛行產生噪音量因子對社會成本的影響較航機飛行頻次顯著，因此航空公司減少飛行頻次對航空社會成本的減少，無法彌補因使用單次產生噪音量較大之機型對社會成本產生的增加。機場降落費設定之高低，將影響噪音收費對社會成本控制的效率。若機場能降低航機降落費，則機場調高航機噪音收費對社會成本的影響將更顯著。在多目標取捨結果中，若中正機場當局越關心噪音產生的社會成本，噪音社會成本權重越高，採雪梨噪音收費方式獲得之整體效益與中正機場目前噪音收費所得之整體效益差值越大，因此中正機場當局宜採行雪梨機場目前噪音收費方式。

### 三、計畫成果自評

本研究內容符合原計畫所提內容，研究成果達成原計畫預期目標。本研究結果具體貢獻：(1) 針對目前噪音管制政策進行分析，瞭解實務上各國機場噪音收費方法、航空噪音產生之衝擊與待克服之議題。(2) 將機場徵收噪音費引起營運成本的變動納入航空公司網路設計模式中，深入探討噪音收費對最適機型與航線頻次之影響，由於此領域在學術文獻中仍極少，故本研究有其學術價值。(3) 構建機場持續噪音污染函數，將航空公司因應噪音收費制訂之最佳航線機型頻次以及各機型產生之噪音量結果納入函數中，以反應機場噪音費制訂對機場整體污染改善貢獻的指標。(4) 本研究深入探討受噪音費管制影響之機場、航空公司與機場周圍居民的成本與福利變動。透過解析性方式分別

探討及構建數學模式，建立機場評估不同噪音收費管制政策之多目標評估模式，成果有助於機場研擬噪音收費策略之參考。此外，本研究成果曾發表於國內研討會計一篇，並獲論文獎、國際研討會計一篇與國內學術期刊計一篇，如[2]、[3]、[7]，而機場噪音收費績效評估模式部分亦正整理投稿國際學術期刊中。

### 四、參考文獻

- [1] 許巧鶯、王志青，「軸輻航空貨運網路之直接與轉運路線選擇」，*運輸計劃季刊*，第 26 卷，第 1 期，95-118 頁，民國 86 年
- [2] 許巧鶯、林佩憶，「航空公司考慮環境收費之最佳網路配置研究」，*中華民國第五屆運輸網路研討會論文集*，307-316 頁，民國 89 年 10 月。
- [3] 許巧鶯、林佩憶，「航空公司考慮環境收費之最佳網路配置研究」，*運輸學刊*，第 14 卷，第二期，47-62 頁，民國 91 年。
- [4] Carlsson, F. (1999), "Incentive-based Environmental Regulation of Domestic Civil Aviation in Sweden," *Transport Policy*, Vol. 6, pp. 75-82.
- [5] Carter, E. C. and Morlok E. K. (1972), "Planning an Air Transport Network in Appalachia," *Transportation Engineering Journal of ASCE*, Vol. 101, pp. 569-588.
- [6] Hayashi, P. M. and Trapani, J. M. (1987), "The Impact on Energy Costs on Domestic Airline Passenger Travel," *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 21, pp. 73-86.
- [7] Hsu, C. I. and Lin, P. H. (2002), "Performance Assessment for Airport Noise Charge Policies with Responsive Airline Network Adjustments," Paper Presented at the 27<sup>th</sup> *International Air Transportation Conference, Orlando, Florida, June 30-July 3, 2002*.
- [8] Hsu, C. I. and Wen, Y. H. (2000), "Application of Grey Theory and Multiobjective Programming Towards Airline Network Design," *European Journal of Operational Research*, Vol. 127, pp. 44-68.
- [9] ICAO (1996), *ICAO Council Resolution on Environmental Charges and Taxes*, International Civil Aviation Organization, Montreal.
- [10] Ignaccolo, M. (2000), "Environmental Capacity: Noise Pollution at Catania-Fontanarossa International Airport," *Air Transport Management*, Vol. 6, pp. 191-199.
- [11] Jaillet, P., Song, G. and Yu, G. (1996), "Airline network design and hub location problems," *Location Science*, Vol. 4, pp. 195-212.
- [12] Janić, M. (1999), "Aviation and Externalities: the Accomplishments and Problems," *Transportation Research*, Vol. 4D, pp. 159-180.
- [13] Kanafani, A. and Ghobrial, A. (1982), "Aircraft Evaluation in Air Network Planning," *Transportation Engineering Journal of ASCE*, Vol. 108, pp. 282-300.
- [14] Nelson, J.P. (1980), "Airports and Property Values: a Survey of Recent Evidence," *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 14, pp. 37-52.
- [15] Nero, G. and Black, J.A. (1998), "Hub-and-Spoke Networks and the Inclusion of Environmental Costs on Airport Pricing," *Transportation Research*, Vol. 3D, pp. 275-296.
- [16] Teodorovic, D. (1986), "Multiattribute Aircraft Choice for Airline Network," *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 112, pp. 634-646.
- [17] Teodorovic, D., Kalic, M. and Pavkovic, G. (1994), "The Potential for Using Fuzzy Set Theory in Airline Network Design," *Transportation Research*, Vol. 28B, No. 2, pp. 103-121.