

延遲到港定期船靠泊專用碼頭時間窗重置之研究

Reassignment of Berthing Time Windows for Delay Liner Ships in Dedicated Terminal

盧華安 Hua-An Lu¹

楊若苓 Jo-Line Yang²

摘要

船期準確性向來為定期貨櫃航商所重視，當船舶無法按照原預定靠泊時間窗進出港口，航商必須利用不同方式調整船期，盡快恢復準點靠泊。本研究以定期航商單一席位之專用貨櫃碼頭為研究對象，建構總延滯時間極小化之混合整數規劃模式，探討船舶無法按既定時間窗靠泊時，如何重置靠泊時間窗，以符合航商船期控管要求，使受影響船舶之整體延誤的影響最小。實證案例分別就「單船延遲」及「兩艘船舶同時延遲」進行測試。結果顯示，隨著單船延遲時間的增加，總延滯時間也隨之上升，遠洋航線確實有優先指泊的必要，此符合航商實務作業原則。若在兩船同時延遲時，亦可觀察出遠、近洋航線同時延遲所產生的影響。本研究所設計之規劃模式，除可提供定期貨櫃航商整體延遲時間之估算外，亦可作為航商在規劃船舶延遲因應措施上之參考。

關鍵詞：船期準確性、專用貨櫃碼頭、混合整數規劃模式、靠泊時間窗

ABSTRACT

The punctuality of ship sailing schedule is always paid more attention by the liner shipping company. When ship could not arrive to or depart from a certain port as the timetable, the carrier has to execute some countermeasures to adjust ship schedule in order to absorb the existed delay as soon as possible. This study focuses on the dedicated container terminal with a single berth location for a carrier to formulate a mixed integer programming model for exploring how to reallocate the berthing time windows in delay situation. This model minimizes the total delay of impacted ships under the requirements of schedule control policies of the liner company. We analyze the situations of delay happen on one or two ships. The results show that the objective values increase with delay hours of the single ship. Meanwhile, the ocean going routes are indeed assigned to berth with higher priority as same as the concept of the practice. In the analysis of simultaneous delay for two ships, we can realize the impact between the ocean going and the short sea

¹ 國立台灣海洋大學航運管理學系副教授，E-mail: halu@mail.ntou.edu.tw。

² 國立台灣海洋大學航運管理研究所碩士。

routes. This model cannot only provide the shipping company to estimate total delay at terminal but also assist her to plan the countermeasures for delay ships.

Key Words : Punctuality, Dedicated container terminal, Mixed integer programming model, Berthing time windows

壹、前言

隨著貿易全球化的時代變革，貨櫃港埠角色被重新定位為物流運送之重要轉運節點，港埠裝卸作業民營化的發展，就是最好的例證。許多定期航商為掌握服務船期之準確性，以及控制港埠裝卸成本，紛紛於重要港埠租賃專用貨櫃碼頭。除了能將港埠資源作最有效的運用之外，就長期作業成本而言，定期航商租賃專用碼頭在營運上也較具有規模經濟[1]。

然而，從作業層面來看，定期航商延遲靠港之情事難以避免，其造成的原因很多，如海上航行的延遲、岸上機具無法正常運作、罷工事件等。隨著延遲時間的累積，不但會增加運送成本，也使得後續船舶無法準時進港停泊。要舒緩塞港現象，必須透過船期的有效規劃與準確控管；但在短期內發生時，定期航商應有一套完整的因應措施，使船舶在港延滯停留的時間越短越好，以免產生難以估計的影響。為維護船期準確性，船舶在港時間窗之規劃相當重要；而當延遲發生時，靠港時間窗重置的良窳，將影響航商整體船期之調整。

本研究以單一席位之專用貨櫃碼頭為研究對象，探討船舶若發生不同程度之延遲，對航商所有船舶之靠泊所造成的影響，並藉由最佳化模式的建構與求解，進行國內某大航商之實證分析。

時間窗配置在交通運具的應用相當廣泛，如：大眾運輸系統、飛機排班問題等。所謂的時間窗是指顧客希望被服務或服務者提供服務的時間範圍，此類問題常被建構成具時窗限制之車輛途程問題(vehicle routing problem with time window constraints, VRPTW)，如鄭超元[2]、李洪鑫[3]。海運定期船船期安排之特性與可攬貨之多寡和進出港成本收費有關，相較 VRPTW 略有不同，廖于慧等[4]曾分析定期航商在安排船期所考量的因素包括：碼頭時窗、運河開放時間、收櫃結關日、各停泊港口之偏好、各港適當之緩衝時間等五個特質，並建構混合整數規劃模式，決策各港口的時窗偏好滿意度加總較佳之船期表。

在船席指泊方面，大多探討公用碼頭的營運制度及船席指泊，專用碼頭時間窗安排之相關文獻並不多見。Legato and Mazza[5]定義船席規劃為如何將進港的船

船分配到有限的船席空間內。船席規劃需考慮二個因素：一個是航商對於停泊船席的要求，另一個為場站人員的排班問題，以使船席規劃能在固定的人力資源調度下，求得最大的使用率。船席調配作業可分為二個部份，一為陸側模型，船舶需等待船席上之機具分配才決定停泊位置。另一個則為水側模型，依使用拖船與否來決定船席位置。Kim and Park[6]建立整數規劃(integer programming)模式，估計船舶靠泊位置及每個時間窗指派於船舶的起重機數量，指出船舶靠泊時間須視岸上可指派之起重機數量而定，指派於同一船之起重機數量增加，靠泊時間便會減少。Lim[7]利用幾何圖型說明船席指泊的概念，並將船席規劃問題分為二種類型，可就決策型船席規劃(decision version of the berth planning problem, DBPP)及最適型船席規劃(optimization version of the berth planning problem, OBPP)角度求解船席指泊問題。Imai 等人[8]將船席指泊分為靜態指泊 (static berth allocation problem, SBAP) 和動態指泊(dynamic berth allocation problem, DBAP)。所謂的靜態指泊是指所有被指泊的船舶都已在港外等候，而動態指泊則視船舶預計進港時間的差異進行指泊。Imai 等人[9]延續動態指泊和靜態指泊的概念，討論間斷型船席指泊問題(discrete berth allocation problem, BAPD)及連續型船席指泊問題(continuous berth allocation problem, BAPC)，兩者皆利用二維座標來表達時間及空間的利用程度。間斷型船席指泊為船席彼此間並不相連，其優點為可個別安排岸上機具之排程及席位指泊，但在船席設施使用上較無效率，雖將船舶指派完畢，但並非所有船長皆等於船席長度，應尚有剩餘空間可以利用；而連續型船席指泊則可避免剩餘空間之浪費。謝東緯[10]利用時空網路(time-space network)協助建構 0-1 整數規劃模式，改善基隆港船席調配問題。在限制船舶進離港時間及保證每一艘船舶皆被指派至足夠之纜樁數下，求解指派成本最小化之指泊結果。Lai and Shih[11]、黃明居[12]、李育達[13]分別利用情境分析、專家系統、模擬作業方式，評估船席調配方法及準則。詹景裕等人[14]則利用電腦化指派船席系統取代基隆港人工開會之船席調派方式。

專用貨櫃碼頭港口時間窗之配置，與公用碼頭之指泊不同，必須從航商的角度著手。其著重於船舶進出之順序，須視碼頭作業情形、進港船舶數多寡、航線複雜度、船舶進離港時間及所欲達成之目標來做調配。本文在第二章說明現行航商在靠泊時間窗安排情形，第三章進行模式之建構，第四章是實證資料說明與分析，最後為結論與建議。

貳、定期航商靠泊時間窗安排

2.1 定期船專用碼頭靠泊時間窗之安排

船期之準確性對定期航商來說相當重要，其又與靠泊時間窗的配置有關，如何能在有限的碼頭數量及資源下，有效率的安排船舶進港作業，讓每一艘船皆能在預定的時間內完成裝卸動作，而不造成延滯，乃是規劃者首重之問題。一般來說，定期航商在安排靠泊時間窗時，會注意下列事項：

1. 需考慮多條航線

航線集結、船舶往來頻繁之港口，如轉運港口，需要適當的分配船席，在有限的碼頭數上做最佳的安排，不讓靠泊時間窗重疊發生無船席可用之情形。

2. 轉運櫃的銜接性

轉運作業之特性，旨在發揮物暢其流的功能，在時間窗的安排上，需多注意前後次序，以免遺漏貨櫃。

3. 航線週期性

經營者所經營的航線，因運送地區的遠近，航線的週期也就不同，時間窗的規劃上也較為謹慎，避免互相衝突。

4. 港口結關時間

每個國家因為時差的關係，船期與貨主需求搭配較為困難，海上運送業競爭激烈，為爭取客源，需考量貨主之生產排程，制定較能符合貨主需求之進、離港時間。

5. 自然因素

因地理條件不同及洋流的變化，港口有可能因潮汐或者冰封等種種因素，使得船舶不能進港作業，為保障船舶及運送貨物的安全，需選擇適當時間讓船舶能夠進出港口作業。

6. 港口國限制

在特定國家，政府可能基於某種因素，如勞工保障、節慶、工作環境，會對港口作業時間及作業人數加以限制，亦會影響航商靠泊時間安排。

2.2 影響定期船準時靠泊之原因

船期表的安排乃事先排定，若遇突發擾動因素，航商及現場工作人員必須即時做出適當之應變調度。調度不佳，勢必會影響到其它船舶，輕則只影響該船作業；反之，則會在港口發生重大延滯，使原本規劃好的進港安排，無法照原本排定的船期表進行，也未能帶來其應有的效益。一般來說，船舶靠泊時間窗受到擾

動的因素大約有下列幾項：

1. 裝卸機具損壞或維修

當岸上機具發生故障或損壞，導致船舶無法在預定抵港時間進港作業，或中斷進行之裝卸作業，將會延誤船舶在港時間。

2. 尖峰時段產生壅塞

在特定的進、離港時間，因交通量大造成壅塞，船舶被迫必須在港外等待。

3. 等待貨物轉運

船舶因等待陸側或水側轉運貨物，導致離港時間受到影響。

4. 海上糾紛

船舶在從事海上運送活動時，有可能因為貨物之毀損或船舶發生碰撞，導致航程無法如期進行，而造成嚴重的延遲。

5. 船舶在運送過程中發生故障

船上機具不能正常運作，導致船舶無法繼續航行，必須等待修復，在原定靠泊時間窗前無法抵港。

6. 政治因素或法規限制

在灣靠的港口國，因政治環境變異或法令限制，使船舶、貨物遭到扣留，未能準時離港。

7. 在海上發生意外危險事故或災難

非船舶運送人所可以預期或防止的事件，如船舶翻覆海損、突遇海盜等。

2.3 靠泊時間窗之重新配置

良好的靠泊時間窗重置牽涉極廣，不僅需要聯絡相關船舶加以配合，也需進一步安排貨物裝卸與送提，是一個風險大且複雜性高的工作，在迫不得已的情況下，航商才會進行重置時間窗的動作。當有擾動因素產生時，重新指泊通常會考慮下列因素：

1. 時間窗的變化程度

2. 配調人員在重置時間窗時，須考慮時間窗之變化程度，若受影響船舶艘數太多或總延遲時間過長，則會影響其它船舶正常作業。

3. 延遲時間的長短
4. 對於定期航商來說，貨櫃運輸的效率和安全是很重要的，若延遲時間愈長，貨主對航商的信賴度就會降低，為避免客源的流失，在重新指泊時，一般都會考慮延遲時間的上限。
5. 作業時間的長短(或作業量的多寡)
6. 作業量的多寡與航商的收益有關，作業時間愈長，表示作業量大，收入也就愈高，基於收益面的考量，航商都會讓載貨量較高的船舶，先行進港裝卸貨物。
7. 可以接受的延遲範圍
8. 每艘船都有固定的進港時間，也有所謂的緩衝時間(buffer time)，若船舶延遲時間在此範圍內可有較大的彈性轉圜。
9. 碼頭各時段之使用情形
10. 航商在重要轉運港口之專用碼頭，因靠港頻次較多，碼頭使用率較高，當延遲產生時，延遲擴散情形可能較為深遠。反之，使用率較低之專用碼頭，延遲之影響相對就較低。
11. 貨物的銜接性
12. 轉運港內有許多轉口貨櫃，時間窗的前後順序與貨物的移轉性有很大的關係，為避免貨物延滯堆積，在時間窗的重置上需做進一步考量。
13. 貨物的特性
14. 需考慮貨物是否具有緊急性，在特殊情況下應讓其先進港作業。
15. 追趕船期的可能性
16. 在裝卸量及船速的允許下，可選擇加派機具給延遲之船舶，或是令其於海上加俾，如此可盡量縮短在港作業時間，並減少船舶後續受影響之泊港時間窗。
17. 港埠間互相牽滯所面臨的風險
18. 船舶因延遲導致在抵達下一港口時，面臨是否能夠隨到隨靠的風險，在重新調配時，應注意港埠間作業之連續性，而不能只考慮對單一港口的影響。
19. 運河時間之安排
20. 遠洋航線若需通過蘇伊士運河或巴拿馬運河，因其通過時間之排定程序繁複

，成本相對較高，故此種航線在重新安排靠泊時間窗時，需考量後續航程中運河通過時間之可行性，以便對船期進行適當控管。

在靠港次數頻繁的港口，一艘船舶之延滯，不僅只影響個別的靠泊時間窗，很有可能使整個港口時間窗發生變動，影響的程度範圍也大不相同，而需進行適當的重新規劃。

2.4 實務作業準則

本研究實際訪談國內某大航商(以下簡稱 Y 航商)，瞭解該公司在原本規劃好的靠泊時間窗受到擾動時，僅按照兩項簡單原則進行靠泊時間窗重置安排：

原則一：大船先靠

對於該航商而言，所謂的大船指的就是作業量較大之船舶，作業量大通常伴隨著較大的利潤，所以當有多艘船舶在港外等待，會選擇讓大船先靠，其中又可分為二種情形：

1. 若大船與小船一起等候時，基於裝卸作業量的考量，會以大船為主，讓小船先在外港等待，或另找適當碼頭讓小船停泊。
2. 作業量相近之船舶，則比較延遲時間的長短，延遲較多者，可優先進港停靠。

原則二：運河成本的考量

運河通過費乃以船舶之容積為課徵基準，運河開放時間及通過順序，依管理當局所安排的時間，以先到先過及排滿固定艘數為原則，若船舶未能在運河開放時間內或原訂順序通過，另排通過時間即需支付額外費用。故在遠洋航線船舶需經運河又受延遲之影響時，需考量避免額外的費用支出。

一般在進行靠泊時間窗重置時，貨櫃碼頭的作業安排仍會產生些微成本，但該公司都較不考慮其花費，而以船舶準點性的維持，作為最重要的考量。

叁、數學模式之建構

為能協助定期船時間窗重置之安排，並討論在有船舶產生延遲的情況下，船舶時間窗的重置是否安排得宜，本章節利用數學規劃技巧表達航商指泊之概念，在考量船期準確性下，以所有相關船舶總延遲時間最小化的角度，建構單一船席專用碼頭最佳指泊順序之模式。

3.1 模式概念與假設

專用碼頭時間窗之調整，可由航商自行決定，故模式規劃的角度應由航商的考量出發，與一般公用碼頭的指泊觀念略有不同。如船舶的長度、吃水應都能符合專用碼頭之條件；船舶在碼頭所需之作業時間因起重機效率較為明確而易於掌握；各船之預計抵達時間也因同屬相同公司較能確知；各航線船舶在後續航程的延遲影響特性，為航商本身所熟知。因此本研究之模式建立以船期表的概念為基礎，考慮以總延遲時間最小為目標式，透過整體總延遲時間的計算，決策最適當的指泊順序與時間窗。因定期貨櫃航商提供之運輸服務屬於週期性，轉運櫃銜接問題較容易處理，且航商以船舶準點與否為重，故模式中暫不加入貨櫃之處理，而以各船重置靠港時間窗之離港時間與原表訂離港時間之差異，作為其延遲時間之計算，並考慮各船所能延遲之時間長度，依其服務航線特性而有所限制。在模式建構時仍有若干假設與已知條件分述如下：

(一) 船期因素

1. 每一艘船皆有原定的抵港及離港時間，正常情況下船舶皆按此時間表來運作。
2. 各船在港時間已知，即作業時間加上工作時間，工作時間為裝卸作業時間，作業時間為進、出港作業之備便時間。

(二) 船舶基本資料

1. 船舶之長度與吃水深度均能適於靠泊船席，否則原靠泊安排就不會選擇此船席。
2. 各船僅能單獨靠泊此一席位，不考慮與其他船舶併靠的情形。
3. 各船之最晚離港時間已知，以表示航商對各航線延遲情形處理之掌握。
4. 延遲船舶預計抵港時間已可確知。

(三) 港埠/船席條件

1. 岸上作業機具效率固定，可以在預定時間內完成裝卸作業。
2. 船席一旦供船舶靠泊完畢，即可使用該船席直到作業完成為止，不須中途移泊。

3.2 模式內容

考慮航商進行靠泊時間窗重置時，包含延遲船在內所影響的船舶數有 J 艘，亦即必須重新指泊 J 個順序的船舶，相關之符號定義如下：

決策變數：

x_{ij} : 第 i 艘船是否指派給第 j 個順序，若是為 1，否則為 0。

s_j : 第 j 個順序之船舶開始靠泊時間。

t_j : 第 j 個順序之船舶離港時間。

參數：

b_i : 第 i 艘船離港之作業時間。

e_i : 第 i 艘船預計抵港時間。

d_i : 第 i 艘船最晚之離港時間要求。

w_i : 第 i 艘船預計之工作時間。

τ_i : 第 i 艘船之表訂離港時間。

M : 一足夠大之實數。

模式內容如下：

$$\text{Min.} \quad \sum_j \left(t_j - \sum_i \tau_i x_{ij} \right) \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_i x_{ij} = 1 \quad \forall j \quad (2)$$

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (3)$$

$$t_j = s_j + \sum_i (w_i + b_i) x_{ij} \quad \forall j \quad (4)$$

$$s_j \geq t_{j-1} \quad \forall j = 2, \dots, J \quad (5)$$

$$s_j \geq \sum_i e_i x_{ij} \quad \forall j \quad (6)$$

$$t_j \leq d_i x_{ij} + M(1 - x_{ij}) \quad \forall i, j \quad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}; \quad s_j, t_j \geq 0 \quad (8)$$

目標式(1)中，乃針對每一指泊順序的船舶指定離港時間與表訂離港時間之差異進行加總，並求其極小化為目標。但因每一艘船舶均得指定一個靠泊順序， $\sum_j \sum_i \tau_i x_{ij}$ 為一固定值，目標式的意涵亦等同於極小化各船離港時間的加總 $\sum_j t_j$ 。

限制式部分，式(2)及式(3)為順序和船舶間的指派限制，分別代表一艘船只能被指派至一個順序，同時一個順序也只能指派給一艘船舶，此兩式亦使目標式在各個順序上，恰能反映被指派船舶之表訂時間。式(4)限制第 j 個順序之離港時間必

須大於該時窗開始靠泊時間和第 j 個順序船舶的在港時間(作業時間和工作時間之和)。且因式(2)及式(3)的限制，第 j 個順序恰能反映被指派船舶之在港時間。式(5)約束第 j 個順序之靠泊時間必須大於等於前一順序 $j - 1$ 的離港時間。式(6)使第 i 艘船被指泊給第 j 個順序時，第 j 個順序之開始靠泊時間必須不小於第 i 船的預定到達時間。式(7)為第 i 艘船被指泊給第 j 個順序時，第 j 個順序之離港時間必須在第 i 艘船最晚離港時間之前；當第 i 艘船未指泊給第 j 個順序時，則為非約束限制式(unbinding constraint)。式(8)為 0-1 整數及非負限制式。

式(1)至(8)之數學規劃模式為一混合整數規劃(mixed integer programming)問題，求解複雜度受船舶數影響，但一般實務問題中，受影響之靠泊船舶通常不會太多，故本研究建議以分枝界限法(branch and bound method)直接求其正確解即可。

肆、實證分析

本節利用 Y 航商在其租賃專用碼頭之案例進行實例測試，分別針對單一航線與雙航線在不同延遲時間下，對整體總延遲時間所造成之影響進行分析。為清楚表達每一艘船舶在不同延遲時間下受擾動之情形，將船舶靠泊之週日與時間轉換為連續時間，以不同的延遲時間範圍做為投入變數，觀察總延遲時間之變化。

4.1 實例資料說明

航商提供之實例測試資料，可分為船席資料及航次資料兩個部份，分述如下：

一、船席資料

該航商於高雄港第三貨櫃中心 70 號船席租賃專用碼頭，船席總長 320 公尺，水深達 14 公尺，儲區容量可存放 12,606 TEU 的重櫃及 5,544 TEU 的空櫃。岸肩配置四部橋式起重機，儲區則以門型機為主要作業機具，資料整理如表 1。

表 1 Y 航商 70 號碼頭基本資料

長度 (公尺)	水深 (公尺)	主要機具配置	面積 (平方公尺)		儲量 (TEU)	
			CY	CFS	重櫃	空櫃
320.0	-14.0	4 部岸肩橋式起重機 8 部軌道式門型機	82,872	35,346	12,606	5,544

資料來源：Y 航商提供。

二、航線資料

表 2 為航商一週內靠泊航線之相關資料，依資料型態可分為航段資料，靠泊時間資料及裝卸作業相關數據三類。

1. 航段共包括六條遠洋航線及二條近洋航線，其中遠洋航線有AES(W)亞/歐西向航線、AES(E)亞/歐東向航線、TMS台灣/中東航線、PSW(W)亞洲/美國西岸西向航線、PSW(E)亞洲/美國西岸東向航線、AWE3亞洲/美國東岸航線。近洋航線則為KXSa高雄/廈門、JTC(N) 日本/台灣/曼谷北向航線。
2. 靠泊時間資料包含表訂抵港時間、表訂離港時間、最晚離港時間、預計工作時間、離港作業時間等。表訂抵港時間與表訂離港時間之差異，為船舶在港時間，包含一小時的離港作業時間。最晚離港時間為本研究參考航商實務所訂之假設值，其依各航段之性質予以適當限制，遠洋航線船舶為表訂離港時間加上 48 小時，近洋航線船舶則加上 72 小時為最晚離港時間。
3. 高雄為 Y 航商之主要母港，各航線之作業櫃數為航商之估計，而使用起重機數量為現行之作業模式。一般而言，岸上機具使用數量皆依船型大小及船舶裝卸量進行配置。

表 2 實例之靠泊時間窗資料

船舶編號	航線代號	表訂抵港時刻(時)	表訂離港時刻(時)	最晚離港時刻(時)	預計工作時間(小時)	離港作業時間(小時)	預計作業櫃數	使用起重機數	船長(公尺)	航線性質
1	AES(W)	5.5	24	72	17.5	1	1,600	4	275	遠洋
2	TMS	24	35	83	10	1	400	2.5	171	遠洋
3	KXSa	47	55	127	7	1	200	1.5	107	近洋
4	PSW(W)	55	63	111	7	1	600	4	264	遠洋
5	JTC	79	92	164	12	1	450	2	169	近洋
6	AWE3	108	132	180	23	1	1,750	4	276	遠洋
7	AES(E)	132.5	156	204	22.5	1	2,000	4	275	遠洋
8	PSW(E)	156	167	215	10	1	1,000	4	264	遠洋

資料來源：Y 航商提供。

為完整表達延遲對後續船舶的影響性，在靠泊時間資料部份，已將一週七天轉換為連續 168 小時。

4.2 個別船舶延遲之影響分析

Y 航商所界定的延遲時間範圍，以 6 個小時為基準，若比原預定抵港時間晚 6 個小時以上，則該船舶屬於延遲船舶。在此案例測試中，即以每 6 個小時為一單位作為延遲測試單位。因定期航商之船期多為週而復始，故測試案例之船舶輸入安排，乃是自延遲船舶之表訂進港時間開始，二週內之所有靠泊船舶均設定為受影響船舶，而觀察總延遲影響變化情形。此小節分別針對個別船舶在不同的延遲時間範圍下，對整體總延遲時間之影響進行測試，其測試結果詳如圖 1 所示。圖

中橫軸為單船延遲小時，以 6 個小時為一單位，因受到最晚離港時間要求限制，遠洋航線測試範圍為延遲 48 小時，近洋航線為延遲 72 小時，縱軸表示總延遲時間，為測試之輸出結果。

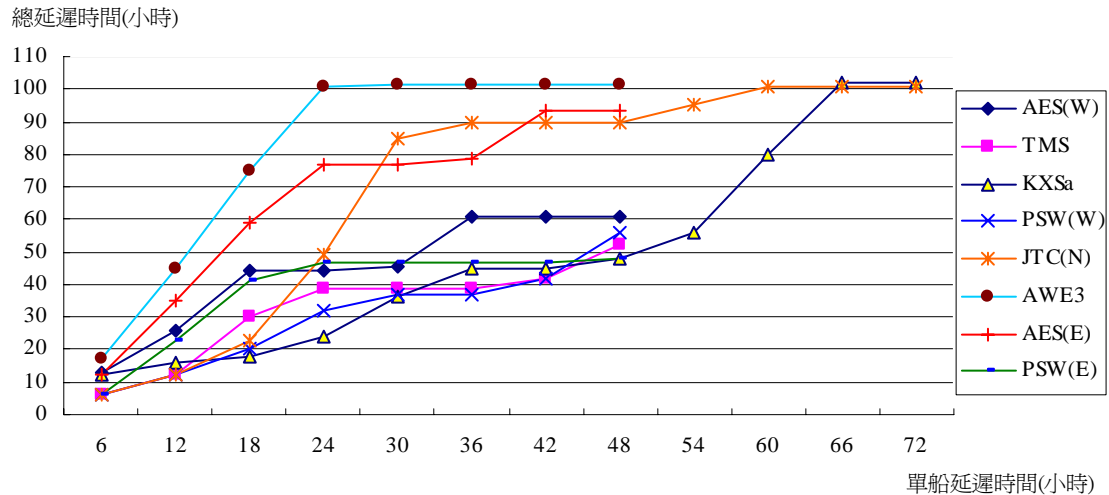


圖 1 單船延遲時間對總延遲時間之影響

圖中各曲線已涵蓋本身之延遲，當單船延遲時間與總延遲時間相同時，表示該船延遲具有獨立性，並不影響其它船舶，如 TMS 延遲 6 或 12 小時、KXSa 延遲 18、24 或 48 小時、PSW(W)延遲 6、12 或 42 小時、JTC(N)延遲 6 或 12 小時、PSW(E)延遲 6 小時等。觀察整體曲線變化趨勢，可看出隨著單船延遲時間的增加，總延遲時間也隨之上升，但變動的幅度卻呈現階梯式型態。分析如下：

1. 若以單船延遲 48 小時的時間點觀察，發現遠洋航線平均單船延遲所造成的總延遲時間，皆比近洋航線來的大，遠洋航線特性除了總航程時間長外，亦代表了作業量大、貨物裝卸時間長、船型大等，這些因素都有可能是造成總延遲較近洋航線長的原因。
2. TMS、KXSa、JTC(N)、PSW(W)四艘船舶作業數都在 600 櫃以下，在延遲時間範圍 12 小時內，本身延遲時間大約等於總延遲時間，表示該船的延遲只影響自己本身，對於其它船舶的靠泊時間影響性較小。
3. AES(W)、AWE3、AES(E)三艘作業櫃數為 1,600 以上的船舶，其延遲時間未超過本身在港時間時，曲線斜率較大，若超過在港時間，目標值變動則趨於平緩。顯示當作業數較大之船舶發生延遲，的確有先行作業的必要性，儘量使其能在表訂離港時間內完成作業，將總延遲時間降至最低。
4. PSW(E)在延遲 24 小時後，總延遲時間不再變動，也就是在延遲 24 至 48 小時內

所造成的影響性相同，在維護船期時可留意此彈性。

5. JTC(N)在單船延遲 18 小時後，總延遲時間突然遽增，直到延遲 30 小時增加幅度才較為平緩，表示 JTC(N)在此段時間的延遲對其它船舶的影響很大，在重新安排船期時應盡量使其延遲不超過 18 小時為最佳。
6. JTC(N)的作業數約為 KXSa 的 2 倍，延遲 6 至 18 小時，二者總延遲時間差異不大，但在延遲 24 至 48 小時後，可以看出作業數對總延遲時間的影響，在該段期間，JTC(N)總延遲時間約為 KXSa 的 2 倍，亦為單船延遲時間的 2 倍，顯示作業數對總延遲時間的影響在延遲第二天時會較為顯著。

上述討論之詳細數值，也可藉由表 3 中之資料標示，獲得更確切的數據訊息。

表 3 單船延遲時間對總延遲時間影響之數值資料

單位時間：小時

航線別	單船延遲時間 (小時)											
	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72
AES(W)	13	26	<u>44</u>	44	45.5	61	61	<u>61</u>				
TMS	*6	*12	30	39	39	39	42	<u>52</u>				
KXSa	*12	*16	18	#24	#36	#45	#45	<u>#48</u>	56	80	102	102
PSW(W)	*6	*12	20	32	37	37	42	<u>56</u>				
JTC(N)	*6	*12	<u>23</u>	#49	#85	#90	#90	<u>#90</u>	95	101	101	101
AWE3	17	45	75	<u>101</u>	101.5	101.5	101.5	<u>101.5</u>				
AES(E)	12	35	59	<u>77</u>	77	78.5	93.5	<u>93.5</u>				
PSW(E)	6	23	41	※47	47	47	47	<u>48</u>				

註：文中分析各點與數字之對應表示(數字：分析 1；*：分析 2；底線：分析 3；※：分析 4；：：分析 5；#：分析 6)

4.3 二艘船舶同時延遲之影響分析

本節測試二艘船舶同時延遲的情況下，總延遲時間會發生何種變化，並瞭解航線間相互影響的程度。所進行的案例，乃以選定的二組航線進行測試，一組為二條遠洋航線，另一組為近、遠洋航線各一。

首先，在二艘遠洋船舶同時延遲的測試中，對 AWE3、AES(W)二艘作業數相近之船舶進行不同延遲時數之配對測試，各船之延遲間隔時數仍以 6 小時為單位。圖 2 為總延遲時間變化之折線圖，基本上兩航線的延遲越增多，總延遲時間也成階梯狀遞增。表 4 之詳細資料亦顯現，AWE3 延遲 30 小時之後，不管另一航線如

何延遲，目標值均不再產生變化。另 AES(W)之延遲影響，可以延遲 18 小時、36 小時為分界，概略分成三段，各階段也不因另一航線的延遲不同而產生差異性。若以表 3 中兩船之個別影響資料中可發現，兩者之加總幾乎與表 4 之結果一致，顯示此二條遠洋航線同時延遲時，彼此對最佳時間窗重置之影響是相互獨立的。其原因應為兩航線船舶在原時間窗之安排上，即已有了較大的差距。

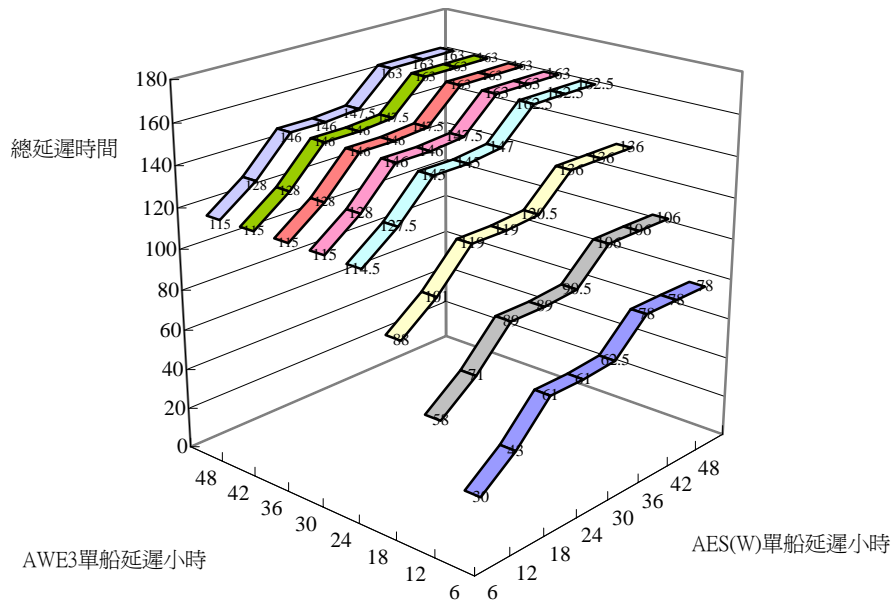


圖 2 AWE3 與 AES(W)同時延遲時間對目標值之影響

表 4 AWE3 與 AES(W)延遲時間對總延遲時間影響之數值資料

單位時間：小時

AWE3 延遲	AES(W)延遲							
	6	12	18	24	30	36	42	48
6	30	43	61	61	62.5	78	78	78
12	58	71	89	89	90.5	106	106	106
18	88	101	119	119	120.5	136	136	136
24	114.5	127.5	145	145	147	162.5	162.5	162.5
30	115	128	146	146	147.5	163	163	163
36	115	128	146	146	147.5	163	163	163
42	115	128	146	146	147.5	163	163	163
48	115	128	146	146	147.5	163	163	163

資料來源：本研究整理。

另外測試遠洋與近洋各一條航線產生延遲之綜合效果，選定的航線是 AWE3 與 JTC(N)。由圖 3 和表 5 可以發現，兩航線船舶之延遲越多總延遲亦遞增，但不

論 JTC(N)延遲多久，當 AWE3 延遲超過 24 小時後，總延遲幾乎時間不再變動，表示若 JTC(N)之延遲固定，AWE3 延遲 24 小時以上對時間窗之最佳重置並無影響；因 JTC(N)之延遲改變所生之總延遲差異，均來自於該航線。

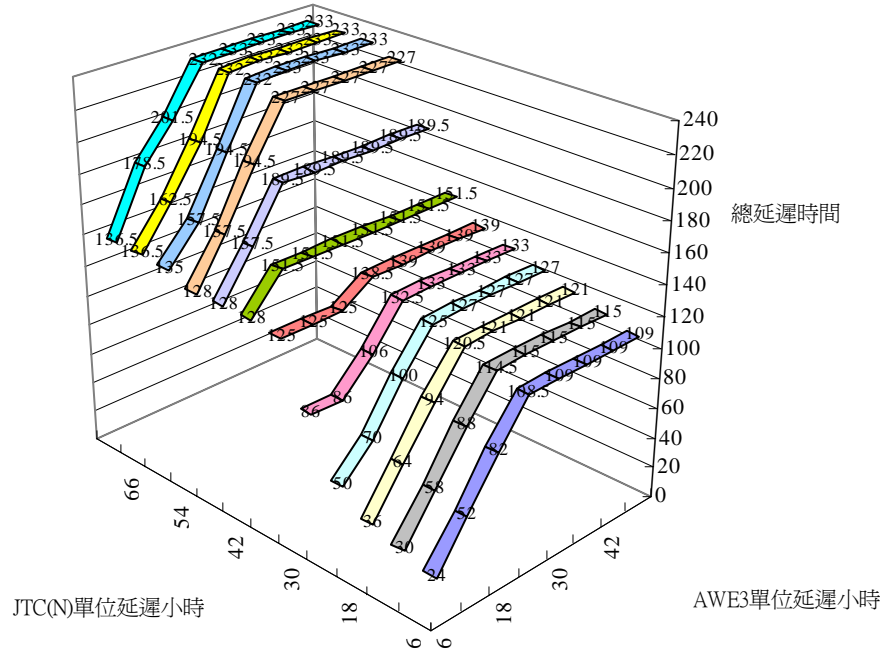


圖 3 AWE3 與 JTC(N)同時延遲時間對目標值影響之折線圖

表 5 AWE3 與 JTC(N)延遲時間對總延遲時間影響之數值資料

單位時間：小時

AWE3 延遲	JTC(N)延遲											
	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72
6	24	30	36	50	86	125	128	128	128	135	136.5	136.5
12	52	58	64	70	86	125	151.5	157.5	157.5	157.5	162.5	178.5
18	82	88	94	100	106	125	151.5	189.5	194.5	194.5	194.5	201.5
24	108.5	114.5	120.5	125	132.5	138.5	151.5	189.5	227	232	232	232
30	109	115	121	127	133	139	151.5	189.5	227	233	233	233
36	109	115	121	127	133	139	151.5	189.5	227	233	233	233
42	109	115	121	127	133	139	151.5	189.5	227	233	233	233
48	109	115	121	127	133	139	151.5	189.5	227	233	233	233

資料來源：本研究整理。

對照兩航線在表 3 之單船延遲所造成的影響，JTC(N)延遲少於 12 小時，兩航線延遲進行之最佳時間窗重置，使總延遲多於單船影響之加總；但在 JTC(N)延遲

超過 18 小時以上，兩航線延遲進行之最佳時間窗重置，卻使總延遲少於單船影響之加總。顯示當此二條不同性質的航線，同時發生延遲時，最佳時間窗重置將受兩者延遲多寡所影響。

伍、結論與建議

專用貨櫃碼頭之使用是由多個靠泊船舶時間窗所組成，當有船舶延遲靠泊需進行時間窗重置時，不同時窗排列順序決策下，對系統所造成的總延遲時間並不相同。為使時間窗重置做最適規劃，本研究建構之混合整數規劃模式，乃以航商之船期表為主要依據，追求總體延遲時間最小化。並藉由實例資料之測試，分析不同延遲情況對目標值的影響。經過二種不同複雜程度的案例測試，本模式之設計皆可在考量航線之特性下，得到最小化之總延遲時間，亦符合航商實務指泊原則。

研究結果顯示，在單船延遲時間方面，隨著單船延遲時間增加，總延遲時間也隨之上升，遠洋航線延遲所造成的平均總延遲時間皆比近洋航線來得高，時間窗受擾動情形也較為嚴重。因此，在重置時間窗時，應以遠洋航線為優先考量，使其對於整體的影響性降至最低，此亦與 Y 航商之原則相同。實例測試結果顯示，1600 作業數以上之遠洋船舶，在單船延遲 24 小時內，對目標值產生的影響最為明顯，近洋航線則是發生在 24 小時以後，近洋船舶作業數較大者，總延遲時間對其敏感度較高，但不論遠洋船舶或近洋船舶，裝卸作業量愈大者對目標值的影響愈大。另一方面，在港時間雖未對總延遲時間有直接的影響，但可透過單船延遲時間與靠泊港口時間的關係，觀察目標值之變化，以提供航商重置時間窗時的參考。實例分析指出遠洋航線對於在港時間的敏感度較高，當單船延遲時間小於該船在港時間時，總延遲時間遞增，表示在此段期間內，遠洋航線有優先指派的必要，對整體目標值的影響才會較小。

對於後續研究與實務應用，提供下列幾點建議：

1. 本研究所建構的模式，偏重於時間延遲之計算，但定期航商亦重視時間與成本間的關係。延遲時間成本較難以衡量，所以在建構數學模式時，並未對成本因素加以探討，後續研究可針對此部分進行學理上的應用與評估。
2. 本研究僅考慮單一船席之課題，當船席長度與船舶長度能相互配合下，實務上專用貨櫃碼頭亦採取多船併靠方式，此一考量將增加模式建構的困難度，後續研究可將此點列入考量。

3. 船舶靠泊作業其有時效性，在發展此一模式的同時，若能搭配電腦化之專家系統，提供現場作業人員最及時的決策資訊，做為重新安排時窗的參考，一方面可以改善整體延遲時間，另一方面也可以充份利用船席，減少船席閒置時間。

參考文獻

1. 謝幼屏，“航商在高雄港租賃貨櫃碼頭之規模經濟研究”，中華民國運輸學會第十八屆論文研討會，台北市，頁 1072-1081，民國九十二年十二月。
2. 鄭超元，“考慮時窗限制之多車種零貨運車輛途程問題”，國立台灣海洋大學航運管理研究所碩士論文，民國九十一年六月。
3. 李洪鑫，“含時間窗車輛途程問題各演算法適用範圍之探討”，私立東海大學工業工程研究所碩士論文，民國八十九年六月。
4. 廖于慧，“定期貨櫃航線之船期安排”，國立台灣大學土木研究所博士論文，民國九十三年六月。
5. Legato, P. and Mazza, R. M., “Berth Planning and Resource Optimization at Container Terminal via Discrete Event Simulation”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 133, 2000, pp. 537-547.
6. Kim, K. H. and Park, Y. M., “A Scheduling Method for Berth and Quay Cranes”, *OR Spectrum*, Vol. 25, 2003, pp. 1-23.
7. Lim, A., “The Berth Planning Problem”, *Operations Research Letters*, Vol. 22, 1998, pp. 105-110.
8. Imai, A., Nishimura, E. and Papadimitriou, S., “The Dynamic Berth Allocation Problem for A Container Port”, *Transportation Research Part B*, Vol. 35, 2001, pp. 401-417.
9. Imai, A., Sun, X., Nishimura, E. and Papadimitriou, S., “Berth Allocation in A Container Port: Using A Continuous Location Space Approach”, *Transportation Research Part B*, No. 39, 2005, pp. 199-221.
10. 謝東緯，“船席調配問題之研究-以基隆港為例”，大專生參與專題研究計劃成果報告(NSC 87-2815-C-006-057-E)，國立成功大學交通管理學系，民國八十七年三月。
11. Lai, K. K. and Shih K. “A Study of Container Berth Allocation”, *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 26, No. 1, 1992, pp. 45-66.
12. 黃明居，“知識庫系統應用於基隆港貨櫃船席調配作業之研究”，國立台灣海洋大學航運技術研究所碩士論文，民國八十年六月。
13. 李育達，“基隆港貨櫃船調配電腦化之分析技術研究所”，國立台灣海洋大學航運技術研究所碩士論文，民國八十八年六月。
14. 詹景裕、郭塗城、葉美玲，“電腦化船席指派系統”，*海運研究學刊*，第 7 卷，頁 37-51，民國八十八年。