

## 北太平洋氣象導航對船舶航行時間之影響

# Effects of Weather Routing on Ship Sailing Time in the North Pacific Ocean

余立宗 She Li-Tsung\*      林彬 Lin Bin\*\*

### 摘要

本文研究之目的為探討航行於北太平洋之貨櫃船在使用氣象導航後，船舶航行時間所受之影響。本文利用氣象導航的航行報告來分析船舶航行時間是否能達到省時的效果，並應用 Logistic 迴歸分析方法建立預測模式。本研究經由迴歸分析與檢驗之結果顯示，「氣候因素」與「洋流因素」是影響船舶航行時間的重要因素。船舶使用氣象導航時，當「氣候因素」的正值愈大，即海上天氣狀況愈好，其航行時間達到省時之機率能增加 4.223 倍；當「洋流因素」的正值愈大，即屬於順流狀態，其航行時間達到省時之機率可增加 210.984 倍。

**關鍵字：**氣象導航、Logistic 迴歸、航行效益

### ABSTRACT

The aim of this study is to analyze the influence of ship weather routing on ship sailing time in the North Pacific Ocean. Voyage reports were used to analyze if ship sailing time could be reduced following the suggestion of ship weather routing, and Logistic regression method was applied to build a forecasting model in this study. The results show that weather and current are important factors influencing the sailing time. The positive value of weather factor larger, meaning good weather, the probability of the time saving can increase to 4.223 times. The value of current factor larger, meaning ship following the current, the probability of the time saving can increase to 210.984 times.

---

\* 國立台灣海洋大學商船學系碩士生。

\*\* 國立台灣海洋大學商船學系教授(基隆市北寧路 2 號，E-mail: blin@mail.ntou.edu.tw)。

**Keywords :** Ship weather routing, Logistic regression, Navigational efficiency

## 壹、緒論

在全球經濟發展過程中，海洋運輸業扮演著重要的角色。隨著各國經濟的成長，海洋運輸業也蓬勃發展，帶動了船舶數量的不斷增加，並朝大型化建造。依據聯合國貿易暨發展會議(United Nations Conference on Trade and Development ;UNCTAD, 2009)<sup>[24]</sup>之統計資料數據顯示，2009 年全世界 1,000 總噸以上的船舶共有 46,948 艘，商船總載重噸(Dead Weight Tonnage ; DWT)達到 12.3 億噸。與 2004 年相比，船舶艘數每年平均成長 6.9%，載重噸則增加了 2.89 億噸。然而龐大的船隊雖然增加了貨運量，但也對海洋環境帶來巨大的衝擊。

根據經濟合作與發展組織(Organization for Economic Cooperation and Development ; OECD)發佈 DNV 報告<sup>[23]</sup>指出，2008 年全球 100 總噸以上遠洋船舶排放二氧化碳量約在 0.8 至 1.2 億噸間，佔全球 CO<sub>2</sub> 排放量 2-3%。Bijlsma(2008)<sup>[14]</sup>研究顯示，航行於海上的所有大小船舶，包括商船及漁船，每年須消耗約 5 億噸之燃油，其燃燒後釋放出約 16 億噸二氧化碳與 3000 萬噸二氧化硫。上述兩篇論文均在強調船舶大量排放二氧化碳，使溫室效應與空氣汙染問題更加嚴重。

目前國際海事組織(International Maritime Organization ; IMO)與世界各大航商正積極改善與降低船舶航行過程中溫室氣體(Green House Gases ; GHG)的排放量，IMO 未來將針對船舶設定 CO<sub>2</sub> 排放指數，並制定船舶航行時 CO<sub>2</sub> 的操作指數、測量 CO<sub>2</sub> 的基本方法、CO<sub>2</sub> 的減排機制(包括徵收二氧化碳稅、溫室氣體交易)等方案，透過這些措施一方面可降低溫室氣體排放量，另一方面也可以減少船舶的燃油損耗<sup>[17]</sup>。近年來航運界所提倡的綠色船舶(Green Ship)與綠色航運(Green Shipping)之概念，對於海運業永續發展具有重要之影響。

在海運市場中，目前船東面臨燃油成本及營運成本不斷提升的問題，均尋求運用先進的氣象預報技術與設備來輔助船舶營運，降低船舶營運成本，以創造更高的經濟效益。船舶在北太平洋航行，受到低氣壓及太平洋環流的影響，為增加航行安全及省時，船東會要求氣象導航之服務。Flecks(2009)<sup>[17]</sup>指出，使用船舶氣象導航與沒有使用氣象導航之船舶，在北太平洋航線，向東航行平均節省約 4.5 小時，向西航行約節省 8.6 小時，其中冬季航行時間效益比夏季高，並且可以節省大約 5-10%之燃油損耗。

本文的研究重點在於探討氣象導航對於船舶航行時間之影響，並分析何項因素影響最大。本研究從相關文獻中找出影響航行時間之因素，利用航運公司實際參與氣象導航之航行報告，建立 Logistic 迴歸預測模式，分析各項因素對於航行省時之影響程度。

## 貳、文獻回顧

早在帆船時期，莫銳(Maury)利用航海日誌裡繪製的風向圖與洋流圖，藉以協助帆船的行駛<sup>[7,12]</sup>，船舶氣象導航之概念由此而生，往後又有阿拉伯人利用印度洋上的信風成功與東非、印度、波斯灣之間往來貿易。1952年由美國商業機構創立第一家船舶氣象顧問公司，專門提供即時的海上氣象資訊，並運用在船舶航線的規劃上，使有參與氣象導航船隻都能夠獲得最經濟、最安全、最省時之航線<sup>[12]</sup>。

船舶氣象導航，又稱氣象航路(Ship Weather Routing)，是船、岸兩方根據航行海域長期、中期、短期天氣預報與此洋區的氣候資料和海況預報，透過電腦之模擬與分析，結合被導船舶的船型、裝載情況、性能、航程要求，選出一條最經濟的越洋航線。在越洋航行過程中，須不斷的改變操船型態與監控海況變化，利用天氣與洋流的變化來降低油料之損耗，並在最短時間內及耗油量最小之情況下完成航行之任務。

1950年氣象導航的航路繪製方法以人工繪圖為主，1960年以後逐漸運用電腦計算及規劃航線。近年來，由於科技發展逐漸成熟，氣象預報之準確性愈來愈高。透過無線電話、無線電報系統、國際海事通信衛星接收準確之氣象預報資訊，再將風力及海況等氣象資料輸入電腦，計算出精準之最佳航路，提供航商使用<sup>[11]</sup>。近年來由於氣象觀測及氣象預報技術精進，使得船舶氣象導航逐漸受到重視<sup>[9]</sup>，國內幾家大型航運公司(例如：長榮、陽明、萬海等)所營運之船舶皆參加船舶氣象導航航線規劃，藉以降低船舶營運成本。近期研究報告指出<sup>[1,3,11,12,14]</sup>，精準的氣象導航服務有利於海上航行船隻降低其航程時間、燃油損耗、避免船體因風浪造成之損害，進而提升船舶在海上航行之效率與船體安全性。

### 2.1 氣象導航之目的

現代社會經濟蓬勃發展，各航商對每艘船舶之航行速率、助航設備、裝載貨物之安全性有更高的要求，使現今商船之船舶推進能力、船舶導航能力、船體設計及助航儀器方面皆有明顯的進步。船舶在越洋航行時，海上的天氣與海面狀況會影響船舶航行時之效率及安全性。雖然地球上兩點之間最短距離為大圈軌跡，但是受海上天氣與海況的影響下，使得大圈軌跡不再是最便捷之航線，也不是最安全之航線<sup>[12]</sup>。

船舶在強風強浪下航行，會使橫搖及縱搖加劇，造成上浪、拍底、空俵等現象，不但使船速降低，也可能危及船舶安全。大圈航線之距離雖是最短，但若必須面對惡劣天候造成船速減慢，完成航程所需時間可能比距離遠但天氣較佳之航線更耗時。船員雖有基本的氣象知識，但不足以做到精準之氣象預測，且船上氣象設備的功能有限，對於海上天候的多變，只得依賴岸上氣象專家提供導航服務。

氣象導航是將氣象預報運用在船舶航海方面，並結合最佳化模式進行最佳航路的規劃，協助行駛越洋航線之船舶達到下列之目的<sup>[11,12]</sup>：

1. 節省船舶航行時間：充分利用有利之氣候環境資料，以縮短船舶海上航行時間。
2. 降低燃油消耗量：利用氣象導航縮短航行時間的同時也降低其燃油成本。
3. 精準的掌控船期：使用氣象導航可避免因天候海況等因素造成船期延遲之情況產生。
4. 提升船員舒適感：氣象導航可協助船舶避開惡劣海象氣候，使船舶航行時趨於平穩。
5. 降低海難事故：氣象導航可降低船舶因海上惡劣天候所造成的海難事故。
6. 減少船體損傷：氣象導航可協助船舶避開惡劣海象區，減少海上風浪對船體所造成之損害。
7. 降低貨損：利用氣象導航選擇安全航線航行，避免船上裝載之貨物因海況不佳造成海損。

## 2.2 氣象導航基本原理

目前船舶所參與的氣象導航是由岸上氣象導航公司依據船舶航行海域之氣象預報及海況資訊，從中選出船舶最佳的航行路線。其第一步是在規劃航線之前先根據每艘船舶貨物裝載情況、船舶種類、船舶航程等資訊制定出屬於本船的船舶性能曲線(Ships Performance Curve)，再將船舶性能曲線之資訊輸入電腦中，最後由電腦程式選出最適當的航線。下列是氣象導航航線規劃種類：

### 1. 等時線法(Isochrone Method)：

目前船舶氣象導航最常用來挑選最佳航線為最省時航線 Hanssen 與 James(1960)<sup>[19]</sup>提出此方法，其定義為從起始點經過特定時間後，船舶可能到達目的地點之連線。Hagiwara(1989)<sup>[18]</sup>依據此概念加以電腦程式化。以下範例是船舶航程時間為 3 天之最省時航線作圖法之原理，如圖 1 所示：

- (1) 依船舶所走的大圈航法，從起點畫一大圈路線至目的地( $\overline{AB}$ )，再從起點以輻射狀相隔 10 至 20 度之角度劃出若干條航線，並參考第一天所規劃出的船舶性能曲線圖，推估每條航線船舶航行一天所走的距離，再將這些點連成一光滑曲線，

而得到曲線  $S_1$ 。

- (2) 從第一天到達的點，再以輻射狀相隔 10 至 20 度之角度劃出若干條航線，並參考船舶第二天的船舶性能曲線圖，推估每條航線船舶航行一天所走的距離，再將這些點連成一光滑曲線，而得到曲線  $S_2$ 。
- (3) 依據上述之方法，並參考船舶第三天的船舶性能曲線圖，推估每條航線船舶航行一天的距離，再將這些點連成一光滑曲線，而得到曲線  $S_3$ 。
- (4) 以目的地當圓心，劃一圓相切曲線  $S_3$  於一點，從目的地連接此點至起點，即可得到這三天船舶航行的最省時航線( $AXYZB$ )。

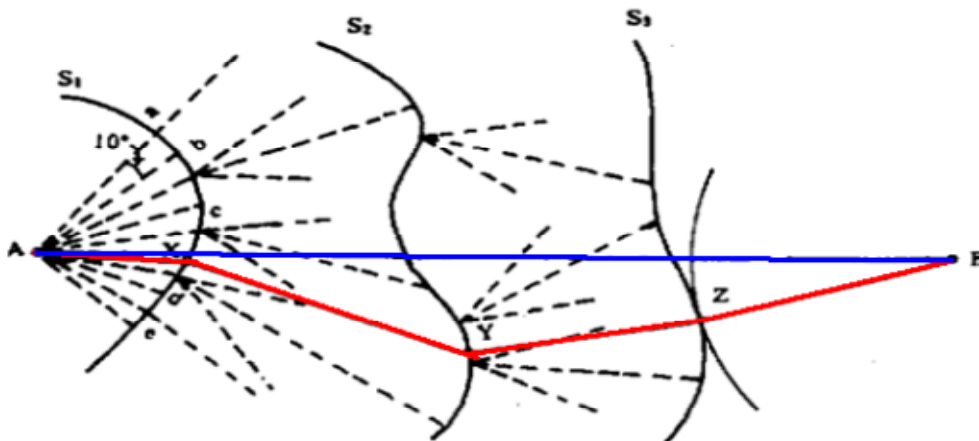


圖 1 最省時航線作圖法

資料來源：陳家輝<sup>[5]</sup>

## 2. 變分法(Calculus of Variation)：

變分法是用來找尋起始點至目的地點最短時間之路徑，但是 Khalilov(1980)<sup>[20]</sup>認為使用變分法不一定能夠找到船舶最佳航線，而且變分法需要大量時間去計算最佳路徑，所以目前鮮少使用變分法來協助船舶航線之規劃<sup>[25]</sup>。

## 3. 動態規劃法(Dynamic Programming)：

使用動態歸劃法前，先將船舶可能會經過之航區劃分成網格，如此每一網格點皆可作為航路的轉向點，再利用動態規劃法從這些點中找出最佳航行路線軌跡。



一般氣象導航所規劃之航線有兩種，分別為最舒適航線與最經濟航線。所謂最舒適航線則是船舶在航行過程中避免行駛較大風浪之海域，力求船體之平穩，使船上人員在航行時感到舒適之航線；最經濟航線，又稱最省時航線，是指船舶在出發港至目的港航行過程，選出一條航行時間最短、耗油量最小、最能有效的提高船營運能力之航線<sup>[12]</sup>。一般載貨之貨船皆採用最省時航線，而客船大多數採用最舒適航線。本文所探討對象為貨櫃船，故採用氣象導航中的最省時航線。

### 2.3 氣象導航相關文獻

丁毓齡(2009)<sup>[11]</sup>依據船舶航行時之海況資料建立能源損耗方程式，使用動態規劃方式求出船舶路徑最佳解。作者將駛進駛出船(Roll On / Roll Off, RO / RO Ship)之船速設定為 20 節，航行距離 866 浬，來進行最佳航線的動態規劃。研究結果顯示：利用此動態規劃所求的船舶最佳路徑可有效的降低船舶航行時間，且約可節省 5%至 7%之油料損耗。

李建興(2006)<sup>[3]</sup>利用迴歸分析、共線性檢定、鳥巢檢定與個案研究之分析方式來檢視海上氣候、洋流、船舶之耗油、船齡及船型等因素對航次績效之影響。研究結果顯示：精確的氣象導航服務可使船舶避開惡劣海況；海上氣候、洋流及船舶耗油因素對船舶的航行績效有顯著之影響；船舶接受氣象導航服務能有效的縮短航行時間、降低船東與租傭者的船舶營運成本；氣象導航服務為船舶安全管理重要的一環。

廖宗(1988)<sup>[11]</sup>主要在探討船舶氣象導航之原理、發展、應用、實際作業情形等，並將海上氣象與船舶相關資料丟入電腦流程圖中，推算出氣象導航最短的大圈航路，再用實際案例相互對照分析，以探討船舶氣象導航未來之發展與願景。結果顯示：氣象導航可有效的降低航行時間且節省燃油成本。該文亦提到許多經驗航海經歷豐富的船長仍相信傳統的航法，對氣象導航規劃路線仍抱持著觀望的態度。

Bijlsma(2008)<sup>[14]</sup>認為船舶燃油大量使用逐漸加重空氣汙染之問題，尤其船上引擎燃燒燃油產生與排放的二氧化碳與二氧化硫更加劇地球的溫室效應。此研究之目的為利用變分法來計算船舶航行最短時間之燃料量，一方面可以降低燃油使用量，同時也可以解決船舶所造成的空氣汙染問題。其研究結果顯示：使用變分法結合氣象導航之理念進行船舶航線燃油消耗路徑最佳化後，可有效的降低船舶耗油量與溫室氣體排放量。

Bijlsma(2010)<sup>[15]</sup>認為船舶在進行最佳航路規劃計算船舶航行速度時，常忽略洋流因素的重要性。所以此研究之目的是將洋流因素納入航線規劃中探討，並利用變分法進行演算分析。其研究結果發現：洋流因素對於船舶航線規劃之重要程度就如同飛機在空中

航行時，當時的風力與風向對於飛行航線之影響一樣重要，證明加入洋流因素會使規劃的航線更加理想。

Kosmas(2009)<sup>[21]</sup>使用退火模擬演算法最小成本函數概念計算船舶最佳航行路徑，其中加入氣象因素加以探討，並利用變分法加速退火模擬計算方法之收斂，更快找出船舶最佳航行路徑。研究結果顯示：當海浪方向與船舶航線平行或垂直時，皆會影響退火模擬法最佳路徑之演算。

目前國內外氣象導航相關研究大多從事其最佳航線之動態規劃，其相關文獻也較少。上述文獻多肯定氣象導航能節省船舶航行時間，但氣象導航均屬建議性之參考，而非強制性規定，必須船長之配合。現代氣象觀測及船用設備之改進，已使船長的配合度增加，另因航運公司在經營成本的考量下，也要求所屬船長儘量使用氣象導航的建議航路，因此，一般而言，船長都能接受氣象導航的建議，文獻中廖宗之研究結果<sup>[11]</sup>與現在的船長態度已有差異。此外，本文藉由實際參與氣象導航之航行報告案例來作分析，以探討氣象導航對於船舶在海上航行時間之影響，而不討論船員的航行及氣象分析能力。

## 參、分析方法

在量化研究中，每一種統計方法的選擇及運用都與變項本身的性質有關，例如變項可分為：自變項、依變項、連續變項、類別變項；而不同的尺度的資料形態通常對應不同的資料處理方式與統計分析方法<sup>[10]</sup>。

本研究將所蒐集的船舶氣象導航之航行報告資料與數據先個別進行分類，再依據變項的類別與屬性，決定所要採用的統計分析方法。本研究選擇使用 Logistic 迴歸來分析氣象導航對於船舶航行時間之影響因素為何，並透過 Logistic 迴歸分析結果可清楚的明白哪些因素對於船舶在海上航行時間有重要之影響。

### 3.1 敘述統計

敘述統計是用來整理、分類、蒐集、敘述資料之技術，可將毫無組織之資料轉變成簡明扼要之統計數值。這些數據資料可透過次數分配表(Frequency Distribution)整理成具有類別、次數、百分比、累積百分比之表格，以描繪變數數值間分佈情形<sup>[4]</sup>。本研究將船舶氣象導航航行時間效益，利用次數分配彙總成表之方式呈現，透過表可瞭解資料所代表之涵義，並顯示觀察資料之統計數量。

### 3.2 Logistic 迴歸分析

迴歸分析(Regression Analysis)是統計學上對數據進行分析的方法之一，主要是用來探討一個依變數與一個或多個自變數之間是否存有某一種特定關係<sup>[13]</sup>。在一般定量分析的研究中，大部分都使用線性迴歸模式作為統計分析的方法，但在某些情況下，線性迴歸分析的使用上會受到限制，例如：依變項不是連續變數而是類別變數時，線性迴歸模式就不適合用來作分析<sup>[2]</sup>；若所探討的依變項是離散型且其項目分類為二元或多元時，則適合使用Logistic迴歸模式來作分析。Logistic迴歸分析具有以下特點：

1. 同樣與區別分析具有正確的統計檢定能力與整合非線性影響之能力。
2. 主要處理依變項為兩個(或以上)類別的名目變項。
3. 不需符合一般多變量的嚴格假設。
4. 適合用於建構決策模型。
5. 適用於兩群體的分類。

因本研究所設定的預測變數為二元模式，故在眾多預測方法中，Logistic迴歸主要能處理依變項是兩個類別的名目變項，藉此預測事件發生的勝算比，並利用勝算比值來解釋事件發生之機率。表1為Logistic迴歸與線性迴歸模式之比較。

表 1 Logistic 迴歸與線性迴歸模式比較

比較	Logistic 迴歸	線性迴歸
依變項	類別性資料	連續性資料
自變項	連續性或類別資料；類別資料須以虛擬變數表示	連續性或類別資料；類別資料須以虛擬變數表示
分析重點	Wald 檢定值、勝算比	R <sup>2</sup> 值
依變項與自變項之間關係	非線性	線性

資料來源：陳正昌<sup>[6]</sup>、曾福祺<sup>[10]</sup>、本研究整理

在分析類別變數時，最常採用的統計方法是對數線性模型(Log-Linear Model)，而Logistic迴歸模式就是一種特殊形式的對數線性模型，且當對數線性模型的依變項為一個二元變數時，就變成了二元Logistic迴歸模型。Logistic迴歸其目的就是建立一最精簡(Parsimonious)與最適合(Fit)的資料且在實用上能合理解釋之模式，模式建立後可用來描述依變項與預測變數之間的關係。

在論述 Logistic 迴歸模型的自變項對依變項之影響上，為了方便解釋以勝算比(Odds)來解釋之，也就是一般事件出現機率與事件沒有出現機率之比值。而勝算比率(Odds



Ratio)表示某一解釋變項的值增加 1 單位後，其 Odds 與原來 Odds 的比值，勝算比率若大於 1 時，表示解釋變項增加 1 個單位之後，勝算比的值增加，也就是事件出現的機率增高<sup>[8]</sup>。

## 肆、實證資料分析

### 4.1 分析資料範例

本文收集國內航運公司實際參與氣象導航之航行報告，如圖 2 所示，利用航行報告中顯示之資訊來加以分析與探討。其分析項目包含航行時間效益的敘述性統計，Logistic 迴歸分析項目包含 Omnibus 模式適合度檢定、概似比(Likelihood Ratio, L.R.)檢定、皮爾遜卡方( $\chi^2$ )統計量(Pearson Chi-square Statistic)檢定、Hosmer-Lemeshow(HL)適合度指標，通過這些檢定而得到一最佳 Logistic 迴歸模型，並利用勝算比找出顯著影響航行時間之因素。

**OAKLAND to KEELUNG**

	Actual Route		Alternate Route	
Distance Sailed	5633	Miles	5620	Miles
Time en Route	294.1	Hours	301.7	Hours
Average Speed	19.2	Knot(s)	18.6	Knot(s)
Weather Factor	-0.2	Knot(s)	-0.8	Knot(s)
Current Factor	-0.1	Knot(s)	-0.1	Knot(s)
<b>Performance Speed</b>	<b>19.5</b>	<b>Knot(s)</b>	<b>19.5</b>	<b>Knot(s)</b>

The voyage simulation is made assuming the vessel would maintain constant RPM without stoppage or voluntary speed down.

**Remarks:** A comparison is provided between the actual route sailed and an alternate route. The results suggest that by following Weathernews's advice, approximately 8 hours may have been saved.

圖 2 氣象導航航行報告

資料來源：陽明海運

表 2 為 Logistic 迴歸模式中所有候選之自變數，「氣候因素」：係指海上天候狀況，包括：風向、雨、霧等情況，使船舶速度改變之情形，改變量以節為單位，正值代表船速增加，負值代表船速減慢，改變量愈大，代表船速受氣候因素影響的程度愈大。此改變量來自風力的影響，或因能見度不良而減慢船速。「洋流因素」：意指洋流使船舶速度改變之情形，亦以節為單位，正值係因順流使船速加快，負值則為逆流情況。

在各項自變數中，「氣候因素」、「洋流因素」、「平均航速」、「船舶載貨量」及「船舶大小」為連續變數，而在「季節」這個變項中，因為類別超過兩種，故建立一組虛擬變數來代表此類型之歸屬性質。

表 2 Logistic 迴歸模型變數編碼

變數名稱	變數編碼	資料類型
時間效益	可達到省時 = 1 無達到省時 = 0	名目變數
氣候因素	氣候對船速之影響程度	連續變數
洋流因素	洋流對船速之影響程度	連續變數
平均航速	以節為單位	連續變數
船舶載貨量	以噸為單位	連續變數
季節	春季 = (1, 0, 0) 夏季 = (0, 1, 0) 秋季 = (0, 0, 1) 冬季 = (0, 0, 0)	以虛擬變數表示
船舶大小	以 TEU 為單位	連續變數

Bijlsma(2010)<sup>[15]</sup>認為「洋流因素」代表海上洋流流向，例如：順流、逆流，對於船舶最佳航路規劃，有重大之影響；Kosmas(2009)<sup>[21]</sup>在規劃船舶最佳航線時加入「氣候因素」來進行探討，「氣候因素」包括海上天候狀況，例如：雨、霧、風向等因素，李建興(2006)<sup>[3]</sup>研究指出「海上氣候」與「洋流因素」對於船舶航行績效有顯著之影響。

「平均航速」為船舶海上航行時之平均速度，利用此數值計算出船舶海上航行時間，進而比較出使用氣象導航是否達到節省航行時間之效果。「船舶載貨量」係指船舶當航次貨載之重量，但不含船體重量，船舶貨載量愈大，吃水會愈深，航行阻力愈大，將使航速降低。貨櫃船「船舶大小」通常以可裝載貨櫃數量(TEU)來顯示，船舶愈大，受風面積愈大，也會影響船舶航行時之船速。北太平洋冬季低氣壓強盛，夏季受颱風影響，所以「季節」不同，風浪對船舶海上航行時間也有不同之影響。

#### 4.2 船舶航行時間敘述統計

本文將船舶參與氣象導航服務後之航行時間效益分為兩部分，分別是依氣象導航推薦航線航行後和原本船長所規劃之大圈航路相互比較之下，加以探討船舶海上航行時間是否可達到省時之效果。

從蒐集來的 147 件實際船參與船氣象航路航行之案例中發現，116 件案例依循船舶氣象導航建議航線航行後可達到省時之效果，約占 78.9%，總共節省船舶海上航行時間 603.7 小時，其結果顯示船舶依氣象導航建議航線航行可有效的節省海上航行之時間。

### 4.3 Logistic 迴歸分析

本文所採取的是向前逐步迴歸分析法(Forward Stepwise)，當只存在常數項時，進行疊代過程以求得最大概似比之參數估計值。初始的最大概似比之參數估計值在疊代四次後達到聚斂， $-2$  對數概似值為 151.447。而常數項在第一次疊代之估計值為 1.156，第二次疊代之估計值為 1.313，第三次疊代之估計值為 1.320，第四次疊代之估計值也是 1.320。因為第四次與第三次疊代過程的差異小於 0.001，表示已達到聚斂之標準，因此不需要再進行下一階段的疊代過程<sup>[2,10]</sup>。

一開始進行 Logistic 迴歸分析時，所有的自變項都不會納入迴歸分析的模式中，此時若以分數(Score)檢定對每一個自變項參數估計值進行顯著性檢定，如果所有自變項之係數值都未達到顯著，表示全部的自變項對依變項都不具有解釋及預測的能力，此時則停止進行後續 Logistic 迴歸分析。若有一個自變項之係數值有達到顯著水準，就可以進一步將該自變項選入迴歸模式中，同時進行 Logistic 迴歸模式之參數估計。

透過表 3 可瞭解各個自變項之分數檢定結果，其中只有「氣候因素」「洋流因素」與季節中的「夏季」因素達到顯著，然而「平均航速」、「船舶載貨量」、「船舶大小」、季節中的「春季」與「秋季」，這幾項因素雖未達到顯著，但在往後的迴歸分析中還是會將這些因素納入探討，以觀察這些因素是否對迴歸模式造成影響。

表 3 未納入模式中自變項分數檢定值

變數名稱	分數	自由度	顯著性
氣候因素	16.166	1	0.000
洋流因素	6.710	1	0.010
平均航速	0.123	1	0.726
船舶載貨量	0.660	1	0.416
春季	0.368	1	0.544
夏季	6.912	1	0.009
秋季	0.042	1	0.837
船舶大小	0.611	1	0.434

在初步的 Logistic 迴歸模式建立後，進行向前逐步迴歸分析法的疊代過程。在表 4 中，步驟 1 是將「氣候因素」納入模式中進行疊代之過程；步驟 2 則是將「氣候因素」、「洋流因素」納入模式中進行疊代之過程。而在步驟 2 中第 5 次疊代過程之常數項、「氣候因素」與「洋流因素」所對應的係數估計值，就是建立 Logistic 迴歸預測模式之係數值。

表 4 變數進入模式後之疊代過程

步驟	疊代次數	-2 對數概似值	常數	氣候因素	洋流因素
1	1	138.965	2.041	1.261	
	2	136.326	2.732	1.720	
	3	136.278	2.734	1.797	
	4	136.278	2.734	1.799	
	5	136.278	2.734	1.799	
2	1	136.197	1.879	1.136	2.544
	2	132.222	2.425	1.555	4.605
	3	132.050	2.546	1.648	5.311
	4	132.050	2.553	1.653	5.356
	5	132.050	2.553	1.653	5.357

在一般線性迴歸分析方法中，判定係數 R 平方是用來表示預測變項對效標變項變異量之解釋能力，而在 Logistic 迴歸分析中通常使用類似 R 平方指標來表示模式所能解釋的變異程度。Nagelkerke(1991)<sup>[22]</sup>修正Cox & Snell(1989)<sup>[16]</sup>所提出的 R 平方指標之定義，藉此提升模式之預測能力，當 R 平方指標值愈接近 1，表示此模型的預測愈準確。

本研究模式在 Cox & Snell R 平方與 Nagelkerke R 平方之檢定，在步驟 1 時分別為 0.098 與 0.152；步驟 2 時，此兩項檢定值為 0.124 與 0.192，顯示兩項檢定值有愈來愈大之趨勢，且 R 平方指標值愈接近 1。由此可知，模式中所投入的自變項與依變項的關聯程度呈現增強之趨勢，可瞭解這些預測變項與時間效益具有相當程度的關聯性，其模型適配度呈現良好的情況。

Omnibus 檢定是用來檢定變數進入迴歸模式後，對模式適合度的是否有明顯提升的效果，如表 5 所示，本文的模式無論在步驟 1 或步驟 2，其顯著值分別為 0 及 0.04 皆小於 0.05，已達顯著水準，表示加入模式的變數可以有效的解釋與預測船舶依循氣象導航建議航線航行後，是否可達到節省航行時間之效果。

Hosmer-Lemeshow 指標是一種類似皮爾遜卡方統計量指標，當所建立的模式中連續型自變數較多時，Hosmer-Lemeshow 指標比 D 值或皮爾遜卡方統計量適合用來檢驗模式的適合度，其主因係有些連續型自變數有過多的值，因而導致大量的共變類型存在。由於模式中的自變數「氣候因素」、「洋流因素」、「平均航速」、「船舶載貨量」及「船舶大小」，皆屬連續變數，故較適合使用 Hosmer-Lemeshow 指標檢定。若卡方檢定呈現不顯著，則表示分析模式的配適度良好。

向前逐步迴歸分析中，步驟 2 的 Hosmer-Lemeshow 檢定值為 2.531 p 值為 0.960 > 0.05，未達顯著水準，故整體的迴歸模式適合度良好，同時也表示自變項可以有效的預測依變項，如表 5 所示。



表 5 模式檢定結果

檢定方法	步驟	卡方	自由度	顯著性
Omnibus 檢定	1	15.169	1	0.000
	2	4.229	1	0.040
Hosmer-Lemeshow 適合度檢定	1	3.629	7	0.821
	2	2.531	8	0.960

透過使用 Logistic 迴歸模式的實際結果，檢查有多少觀察值能夠以此模式正確估計，並將投入的預測變項進行預測後，得到重新分類的正確性為 $(7 + 114/147 = 82.3\%)$ ，其正確性為原先的 1.043 倍 $(82.3/78.9)$ ，如表 6 所示。然而分類的正確性愈高，表示所建立的 Logistic 迴歸模式的整體適配性愈佳，自變項對依變項的影響愈大。

表 6 進入模式之預測結果

觀 察			測		
			無省時	有省時	百分比修正
步驟 1	時間效益	無省時	5	26	16.1
		可省時	1	115	99.1
概要百分比			81.6		
步驟 2	時間效益	無省時	7	24	22.6
		可省時	2	114	98.3
概要百分比			82.3		

在整個迴歸模式從一開始只有常數項來進行預測分類，後加入了預測變項模式，包括：步驟 1 選入氣候因素及步驟 2 選入洋流因素，並且經過模型的適合度檢定，皆符合 Logistic 迴歸模型的考驗後，得到了最終模式參數結果。

所投入的預測變項中，「氣候因素」與「洋流因素」在最終模式達到顯著，如表 7 所示。其中「氣候因素」原始加權係數為 1.653，標準誤為 0.497，Wald 檢定值為 11.081，p 值為  $0.001 < 0.05$  達到顯著水準；「洋流因素」原始加權係數為 5.357，標準誤為 2.711，Wald 檢定值為 3.904，p 值為  $0.048 < 0.05$  達到顯著水準。

在預測變項對於模式預測的機率比值解釋上，「氣候因素」的期望值  $\text{Exp}(\beta)$  為 5.223，因此當「氣候因素」的正值愈大，即海上天氣狀況愈好，其航行時間達到省時之機率就增加 4.223 倍。

在預測變項對於模式預測的機率比值解釋上，「洋流因素」的期望值  $\text{Exp}(\beta)$  為 211.984，因此當洋流因素的正值愈大，即順流狀態，其航行時間達到省時之機率就增加 210.984 倍。

由變數在 Logistic 迴歸方程式的迴歸係數表，可得到影響船舶氣象導航航行時間預測公式：

$$Y = 2.553 + 1.653(\text{氣候因素}) + 5.357(\text{洋流因素}) \quad (1)$$

表 7 模式結果摘要表

步驟		B	S.E.	Wald	自由度	顯著性	Exp(B)
1	氣候因素	1.799	0.488	13.605	1	0.000	6.045
	常數	2.734	0.468	34.178	1	0.000	15.392
2	氣候因素	1.653	0.497	11.081	1	0.001	5.223
	洋流因素	5.357	2.711	3.904	1	0.048	211.984
	常數	2.553	0.477	28.622	1	0.000	12.847

## 伍、結論與建議

船舶參加氣象導航服務後，雖然航行距離比本來大圈航線長，但氣象航路能有效的避開惡劣海況與逆流航行之情況，使航行時間大幅的縮短。本研究旨在探討影響船舶氣象導航航行時間之因素為何，且利用台灣航商參與船舶氣象導航之航行報告作為研究分析對象，並利用所收集之資料建構一 Logistic 迴歸模型，以預測及找出最為影響船舶航行時間之因素。在案例分析中，78.9%達到省時效果。經由 Logistic 迴歸分析、檢驗與探討之結果顯示，影響船舶航行時間最主要的因素是「氣候因素」與「洋流因素」。

當「氣候因素」的正值愈大，即海上天氣狀況良好，其航行時間達到「省時」之機率就增加 4.223 倍。負值愈大，天氣愈惡劣，風與海況愈差。船舶在北太平洋航行，夏季天氣大致良好，除非受颱風影響，否則氣候對航行影響較小；但在冬季，低氣壓籠罩整個高緯度海域，頂風航行，船速下降，順風航行，船艙搖擺與操控困難，都使航行效率降低。尤其是大型貨櫃船，甲板裝載貨櫃，受風面積甚廣，「氣候因素」的影響相對增加。

當「洋流因素」的正值愈大，表示順著洋流方向航行；負值愈大，表示逆流愈強。洋流對船速下降之影響程度愈小，其航行時間達到「省時」之機率就增加 210.984 倍。北太平洋環流在高緯度為東向流，低緯度為西向流。台灣到美國的船舶在北太平洋均為東西向航行，若為東行船舶可將航線規劃偏於高緯度，利用洋流增加船速；反之，西行船舶則於低緯度航行。

近年來，由於氣象觀測的技術不斷改進，氣象預報的準確性愈來愈高。氣象導航依據更準確的氣候與洋流等氣象資料來預估船舶航路，確實可使船舶航行時間縮短。此外，船上接收氣象導航的方式亦隨電腦科技之發展做更新，20 年前之氣象傳真目前均改為

衛星網路傳輸，電腦畫面顯現更清楚的規劃航路及所面對之氣象狀況，致使船長對氣象導航的信賴度愈來愈高。

氣象導航參考船舶航行海域之氣候及洋流狀況，利用自然因素來縮減航行時間。對航運公司而言，航行時間之節省即代表營運成本的降低，因此，愈來愈多的公司參加氣象導航，並要求船長遵循氣象導航的建議。一般而言，定期航線的貨櫃船在北太平洋航行均會全年加入氣象導航，縱使夏季的天氣較佳，但颱風仍會造成威脅。在船舶航行安全方面，氣象導航能建議船舶避開惡劣天候與海況，可大幅提升船舶航行安全性，降低海難事故發生之機率，也是航行效率之展現。

由於本文以航行於北太平洋區之貨櫃船作為探討對象，建議未來研究可收集更多不同船舶種類航行於各洋區之氣象導航資料加以分析，並利用本研究所建立的模型，納入其他影響船舶海上航行時間之因素，例如：浪高與浪向等，使預測模型更有參考性與實用性。

#### 參考文獻

1. 丁毓齡、林澄政、梅明德，2009，「即時海象資訊應用於船舶節能航路規劃之研究」，學術論文研討會，台北市：中華民國運輸學會，頁 3165-3182。
2. 王濟川、郭志剛，2008，「Logistic 迴歸模型－方法及應用」，台北市：五南圖書出版股份有限公司。
3. 李建興，2006，「船舶氣象導航服務績效評估－以中鋼運通公司為例」，國立成功大學企業管理研究所碩士論文。
4. 邱皓政，2006，「量化研究法(一)：研究設計與資料處理」，台北市：雙葉書廊。
5. 陳家輝，2001，「航海氣象學與海洋學」，大連：大連海事大學出版社。
6. 陳正昌、程炳林、陳新豐、劉子鍵，2009，「多變量分析方法統計軟體應用(修訂五版)」，台北市：五南圖書出版股份有限公司。
7. 戚啓勳，1984，「天氣定航的原理和演進」，陽明海運第三十七期。
8. 張曜麟，2005，「都市土地使用變遷之研究」，國立成功大學博士論文。
9. 馮汝寶，1984，「氣象導航」。
10. 曾福祺，2010，「台灣海域船舶擱淺事故分析之研究」，國立台灣海洋大學商船學系碩士論文。
11. 廖宗，1988，「船舶氣象導航原理及其應用之研究」，高雄：國立高雄海專出版委員會。
12. 廖宗、王一三，2006，「航海氣象學」，台北市：教育部。
13. 網站：<http://zh.wikipedia.org/wiki/迴歸分析>，搜尋日期：2011/03/25。
14. Bijlsma, S. J., 2008, "Minimal Time Route Computation for Ships with Pre-Specified Voyage Fuel Consumption", *The Journal of Navigation*, Vol.61, pp.723-733.
15. Bijlsma, S. J., 2010, "Optimal Ship Routing with Ocean Current Included", *The Royal Institute of Navigation*, Vol.63, pp.565-568.
16. Cox, D R & Snell, E. J. 1989, "The Analysis of Binary Data", Second Edition, London:

- Chapman and Hall.
17. Flecks, J., 2009, "Study Green Shipping", HVB Global Shipping, Hamburg, pp.4-5.
  18. Hagiwara, H., 1989, "Weather Routing of Sail Assisted Motor Vessels", Ph. D. Thesis, Delft University.
  19. Hanssen, G. L. & James, R. W., 1960, "Optimum Ship Routing", *The Journal of Navigation*, Vol.13, pp.253-272.
  20. Khalilov, S. I., 1980, "Stochastic Dynamic Programming Method for Computing the Most Advantageous Ship Navigation Routes", *Metero Hydro*, No.II.
  21. Kosmas, O. T. & Vlachos, D. S., 2009, "Simulated Annealing for Optimal Ship Routing", *Department of Computer Science and Technology*, University of Peloponnese, GREECE.
  22. Nagelkerke, N. J. D., 1991, "A note on a general definition of the coefficient of determination", *Biometrika*, Vol.78, pp.691-692.
  23. OECD, 2008, "The environmental impacts of increased international maritime shipping –Past trends and future perspectives", *DNV Report*.
  24. UNCTAD, 2009, "Review of maritime transport", *United Nations Conference on Trade and Development*, United Nations, New York and Geneva.
  25. Wang, F. & Jia, C., 1998, "The Study on The Optimal Ship Routing", *Journal of Dalian Maritime University*, Vol.24(2), pp.61-64.