

# 應用羅吉斯迴歸建立油輪重大意外事故預測模型

## Forecasting Probability of Tanker Accidents Using Logistic Regression Model

韓子健 (Tzeu-Chen Han)<sup>①</sup>、王志敏 (Chih-Ming Wang)<sup>②\*</sup>、洪亦瑩 (I-Hsuan Hung)<sup>③</sup>

### 摘要

**本**研究應用羅吉斯迴歸模型，調查嚴重之油輪事故原因，統計數據來自 1980 至 2010 年期間國際海事組織的全球綜合航運信息系統。研究主要目的在辨識導致油輪全損的事故之實質危險因素分析，發現油輪類型和事故的類型具有顯著與全損嚴重事故相關，特別是小型油輪意外事故之沉沒事件，將導致船東高幅度資產的損失危險。因此小型油輪安全管理應著重於降低意外事故所造成沉沒之發生頻率；具體來說，採取安全管理策略，應以改善機械設備維護及注重人員安全培訓為主。

**關鍵字：**羅吉斯迴歸模型、意外事故、全損

### Abstract

This study applied the logistic regression model to investigate the causes of serious oil tanker accidents. The statistical data was derived from the IMO's global integrated shipping information system from 1980 to 2010. The purpose of the study was to identify the actual risk factors for accidents that caused the total loss of the tanker. It was found that the type of the tanker and the type of accident

① 國立澎湖科技大學航運管理系副教授；E-mail: tchan@gms.npu.edu.tw。

②\* 通訊作者，長榮大學航運管理學系助理教授；聯絡地址：711 臺南市歸仁區長大路 1 號，長榮大學航運管理學系；E-mail: wang8200@maul.cjcu.edu.tw。

③ 國立高雄海洋科技大學 / 航運管理系四年級學生；E-mail: shelly920711@gmail.com。

were significantly related to the total accident loss. In particular, the sinking of a small tanker accident would lead to high risk of loss of assets. Therefore, the safety management of small oil tankers should focus on reducing the frequency of sinking caused by accidents; specifically, safety management strategies should be adopted to improve the maintenance of machinery and equipment; focus on personnel safety training.

**Keywords:** Logistic regression model, Tanker accident, Total-loss

## 壹、前言

依據 Protection and Indemnity UK (1997) 之研究報告，自 1987 年至 1996 年間，油輪之意外事故據統計有 582 件，賠償金額達 596 百萬美元；US National Oceanic and Atmospheric Administration (1992) 針對海上油輪事故所造成的原油外洩及對海洋環境造成之威脅進行研究與回顧，結果顯示，過去在 1967 年“Torrey Canyon”、1976 年“Argo Merchant”擱淺、1978 年“Amoco Cadiz”、1989 “Exxon Valdez”、1999 年“Erika”與 2002 年“Prestige”等油輪重大意外事故，都導致嚴重的海洋污染。UK P & I Club (2008) 統計自 2002 年至 2007 年間，海上運送油品 (41 件占 32.5%) 與液化石油氣 (13 件占 10.3%) 之船舶發生意外事故，高達全體船舶意外事故的 42.8%。Allianz Global Corporate & Specialty (2017) 分析近年海上船舶意外事故有減少的趨勢 2011 年至 2016 年油輪僅發生六件全損的意外事故；ITOPF (2017) 統計油輪

漏油之意外事故，在 2010 ~ 2017 年每年只發生 1.8 件，較 1970 ~ 1979 年期間每年發生 24.5 件的情況，已有大量的改善，但在油輪大型化趨勢下，僅發生一件大型油輪的意外事故，都將嚴重污染海洋生態，造成船東巨額的損失。

過去研究船舶意外事故，大都集中在海難類別事故率 (Psaraftis et al., 1998a; Papanikolaou et al., 2006) 與海難之事故因子分析 (Psaraftis et al., 1998b; Lu and Tsai, 2008)，但是 Devanney (2009) 提到運用事故率作為判斷發生機率，會產生盲點，主要的問題發生在參考變數之分子過大或分母過小會導致很大的差異，所以分析時必須要慎重選擇數據，基於上述理由，本研究藉由不同分母之事故率計算與羅吉斯迴歸模型，分析已發生之意外事故案例，瞭解意外事故之實質危險因素 (Accident Physical hazard)，深入探討屬於油輪內在的或其本質上所存在非人為的重大事故危險因素 (例如：船舶類型、載運貨物種類和船齡等) International Maritime Organization (1997) 建議可採用綜合安全

評估 (Formal Safety Assessment: FSA) 作為應用在海事領域風險安全評估的方法，而其第一步驟為辨識或確認意外事故之危險因子，也就是對意外事故危險因子做適當衡量，評估意外事故發生之頻率，然後船東可以對其所擁有之油輪進行比對，並採取預防策略，藉以降低油輪發生意外事故之機率，以減少財務損失與環境污染，尤其環境污染之防治有助於保護海洋自然生態。

整體研究之架構，第二節為有關於油輪意外事故分析與研究方法之相關文獻探討，第三節首先為意外事故解釋變因的說明，接著為研究方法，主要介紹二種不同機率模式估算之基準與羅吉斯迴歸模型檢定方法；第四節為實證分析，將透過羅吉斯迴歸分析，檢定油輪全損意外事故影響變數，再進而驗證模型的預測率，確保模型正確性，第五節則進行研究結論之討論與油輪安全管理之建議。

## 貳、文獻回顧

過去分析船舶事故原因，大致分為二個部分，一部分是由事故因子進行分析，例如 IMO (2000) 分析意外事故分為五個層面 (人、環境、設備、程序與組織)，UK P & I Club (2008) 分析人為因素所造成之意外事故超過 53% 以上。另一部分研究船舶事故變數分析，也就是某項事故

類型發生次數占全部事故的比例分析，例如陳彥宏、張家榕 (2003b) 統計自 1992 年 1 月起至 2002 年 5 月為止，近 10 年來全球一共發生了 873 起船舶全損海難，造成全損海難之原因主要分類為：天候因素 (25.4%)、其他因素 (22.8%)、船舶碰撞 (12%)、失火與爆炸 (16.2%)、船舶進水沉沒 (6.5%)、觸礁 (6.5%)、機械故障 (4.6%)、擱淺 (6%) 等八類，在全球全損海難中，天候因素方面所造成之海難高達 25%，於散裝船來說也高達 32.1%，因此可知天候因素對於船舶航行安全之重要性，如由散裝船發生全損海難之船齡分布，發生全損海難之散裝船船齡平均分布在 20 年左右，代表不論海難之風險種類為何，只要在船齡 20 年以上之散裝船，就有可能發生嚴重之海難事故，因此船齡應該是值得注意重點之一。

陳治平 (2006) 運用數值定量分析探討商船海難全損之研究，統計 1989 至 2004 年的 137 件油輪全損案例，依商船海難全損事故類別分，以失火與爆炸 (38%) 最高，第二為浸水與天候致損 (18.2%)、次為擱淺與觸礁 (14.6%)、其他因素 (13.9%)，碰撞 (8%)、因機械故障而導致船舶全損者最少 (7.3%)，另外油輪與散裝貨船及其他種類船舶比較，油輪受天候及浸水造成全損較少，只有 18.2% 的油輪事故造成船舶全損，推測是因為油輪噸位較大，較不易受天候之影響而發生海難。而從失火爆炸這一項意外事件全損，油輪卻

占 38%，幾乎是其他種類船舶的兩倍，因此推知油輪貨輪發生全損的因素，大多數是和失火爆炸有關，因此油輪要特別注意這類因素所引起的海難。而 UK P & I Club (1997) 調查運送危險貨物時，發生意外事故與船齡之間的關係，發現船齡超過 10 年具有較高事故率，特別船齡在 15 ~ 19 年之間。

陳彥宏、張家榕 (2003a) 提到海難事故起因非常複雜，事故發生很少是只因單一因素而造成，影響因素牽涉極廣泛，也參雜甚廣之背景環境，包含複雜之風險來源，例如人為因素、組織或船舶、環境因素等，因此只從事故比例進行分析，將會顧此失彼，無法追求事實真像。Milton and Mannering (1997) 指出，羅吉斯迴歸是一個強大的預測工具，會愈來愈多應用在事故發生頻率的研究。大多數有關事故變數分析的研究，廣泛使用機率於和負二項迴歸 (negative binomial regressions)，可以由多元頻率表獲得的交叉分類或檢視應變數相關解釋變數之間的關係離散の間隔。Stamatiadis and Deacon (1995) 採用 Logistic 迴歸分析，測試交通意外的風險因素。Al-Ghamdi (2002) 利用 Logistic 迴歸估計，九個因素影響意外事故的嚴重程度 (致命和非致命的)，結果發現 Logistic 迴歸分析方法適合於二分名義性質變項，進行估計交通意外事故的參數估計和影響因素分類。Hilakivi et al. (1989) 就在交通意外事故 Logistic 迴歸分析，發現性別和年齡為

最重要的影響因素。

Jin et al. (2001) 研究漁船意外事故，使用的機率和負二項 (羅吉斯) 迴歸，分析獲得漁船翻覆之事故，成為全損最佳的解釋變項。Papanikolaou et al. (2005) 研究 AFRAMAX 油輪事故機率分析，利用案例檢討進行事故信息差異識別，其變項包括：船舶重大事故原因 (碰撞，擱淺，觸礁，非意外結構性故障，火災和爆炸事故等)、意外事故嚴重程度 (死亡 / 受傷)、環境污染、財產損失 (輕微的，嚴重的或全損)，發現船齡和事故機率並非直線趨勢；比較新船與舊船對於非結構性意外的敏感估計，居於新船與老船之間的船舶則呈現最為顯著，但分析其原因是否由於新船 (雙殼船) 與老船 (單殼船) 的船舶設計有關，則需再進一步研究澄清。Hashemi et al. (1995) 採用 Logistic 迴歸分析與神經網絡，調查密西西比河事故原因，以羅吉斯迴歸分析進行分類正確率只有 56%。

整體而言，近年由於國際海事法規規範的修改，例如 2010 年航海人員訓練、發證及當值標準國際公約的修改，提升人員操作技術；港口國管制 (Port State Control, PSC) 對「次標準船」加強檢查，加強船舶的安全，再加上使用先進航海儀器、繁忙水域實施分道航行制 (Traffic Separation Schemes) 降低碰撞危機，各種策略都有效預防意外事故發生，因此過去學者研究船舶事故重點，所專注主題之研究結果，需要進一步檢驗，特別是

船舶意外事故大都為多重肇因，研究聚焦在油輪全損意外事故的實質危險因素（船舶特質、載運貨物、事故型態等面向），進行全面評估肇因與事故間的相互關係。

## 參、研究方法

本研究針對與「嚴重意外事故與否」有著關聯之實質危險因素：船舶類型、油輪類型、事故類型與損失程度，進行意外事故調查，計算嚴重意外事故之各種變因之發生概率，包含在全體意外事故數量的事故率或占全球同型船舶事故率，來顯示事故的風險程度，另外再以羅吉斯迴歸模型識別顯著之意外事故實質危險因素，能夠更容易釐清意外事故架構中，各變因之間的關聯性。

### 3.1 資料來源與分類

本研究資料共有 98 筆，資料來源為國際海事組織的全球綜合航運信息系統 (International Maritime Organization's global integrated shipping information system, GISIS)，從 1980 年到 2010 年嚴重油輪之意外事故皆被列入。

**3.1.1 嚴重油輪之意外事故**，包括非常嚴重 (Very serious) 與嚴重 (Serious)，定義如下：

**1. 非常嚴重意外事故**：涉及船舶發生全

損、人員死亡或嚴重污染。

**2. 嚴重的意外事故**：是指人員受傷或船舶發生火災、爆炸、碰撞、擱淺、觸礁、惡劣天氣破壞與船體結構性缺失等等。

**3. 「全損」之定義，在海商法之定義**：全部損失者，係指被保險標的物全部毀損或喪失全部使用價值之損失。其全部損失可分為：

**(1) 實際 (絕對) 全損 (Actual or Absolute Total Loss)**：指油輪全部毀損或喪失而言。

**(2) 推定全損 (Constructive Total Loss)**：本研究對油輪推定全損選取之定義如下：

- a. 船舶不能為修繕或修繕費用超過保險價額時。
- b. 船舶行蹤不明已逾二個月時。

#### 3.1.2 解釋變因

**1. 意外事故類型**，本研究參考美國海岸防衛隊 (US National Oceanic and Atmospheric Administration, 1992)、英國勞氏驗船協會 (Lloyd's Maritime Information Services (LMIS) 與國際海事諮詢組織 (IMO, 2000) 之定義，將海難發生之狀況分類及其意義如下：

**(1) 碰撞**：指船舶與船舶間之發生碰撞，而無論其在航行、錨泊或繫泊時。

**(2) 拘留**：指船舶因政治、違反法規或其他原因被拘留或扣押的船舶。

- (3) 機械故障：主機、推進器、舵機等發生故障，而船舶失去動力，無法操縱者。
- (4) 爆炸：若因爆炸而造成海難者。
- (5) 火災：因貨物或船舶設備發生火災引起之事故。
- (6) 浸水：指船舶遭遇惡劣天候而漏水或破裂而進水。
- (7) 船體破損：指因船體結構因海上氣候或其他原因，導至船體損壞之事故。
- (8) 沉沒：指船舶因失去重心而傾覆者。
- (9) 不知名原因：凡不屬於其他類別之海難事故者，均歸之為此類。
- (10) 擱淺或觸礁：指船舶觸及海底困坐在礁石。
2. 其他解釋變因之實質危險因素包括裝載之貨物、船舶特徵、船舶的大小和船齡，各變因說明如表 1。

### 3.2 事故率計算

本研究計算船舶事故比率，採用兩種計算標準：

1. 個別變因事故率 (Total Losses in all accident rate)：個別變因占全體事故的百分比 (例如：以船舶類型或載運貨物種類占全體事故比率)。

表 1 變因說明

變項名稱		定義	變量值
損害程度		01 全損 02 非全損	全部毀損或喪失 部分毀損或喪失
船舶型態	載重噸位	01- 小船 02- 輕便型 03- 巴拿馬極限型 04- 阿芙拉極限型 05- 蘇伊士極限型 06- 超大型 / 巨型	[< 19,999 dwt]、 [20,000 ~ 34,999 dwt]、 [35,000 ~ 49,999 dwt]、 [50,000 ~ 99,999 dwt]、 [100,000 ~ 149,999 dwt]、 [> 150,000 dwt]
意外事故	事故類型	01- 碰撞 03- 機械故障 05- 失火 07- 船體破損 09- 不知名原因	02- 拘留 04- 爆炸 06- 浸水 08- 沉沒 10- 擱淺
貨物	事故時載運貨物種類	01- 原油 03- 化學品 05- 石油天然氣 07- 多種類	02- 成品油 04- 天燃氣 06- 瀝青
船齡	事故時船舶已使用時間	01- 非常新 (<4 years); 03- 中年 (10 ~ 14 years); 05- 非常老 (> 20 years)	02- 新 (5 ~ 9 years) 04- 老 (15 ~ 19 years)

備註：船型分類依據 UNCTAD (2017)、事故類型依據 GISIS 分類。

$$\begin{aligned} & \text{Total Losses in all accidents rate \%} \\ & = \frac{\text{individual}}{\text{total (accident)}} \end{aligned} \quad (1)$$

Papanikolaou et al. (2005) 曾由 1,294 件相關的事故記錄，計算 Aframax 油輪的事故率，顯示的各種不同事故的機率分配，作為分析事故頻率的高低。

2. 個別實質危險因素變因全球船隊之發生率 (Total Losses in world fleet)：個別實質危險因素變因占全球同類型船隊之百分比 (例如：以不同船齡或不同船舶類型除以全球同類型船隊數之比率)。

$$\begin{aligned} & \text{Total Losses in world fleet rate \%} \\ & = \frac{\text{individual}}{\text{fleet(world)}} \end{aligned} \quad (2)$$

以由上述兩種不同的基礎的事故率作為指標，可進行比較其顯示信息的異同，例如：假如大型油輪事故比率最高，但是如從全球大型油輪船隊角度進行判斷，大型油輪發生意外事故比率則就不一定比較高的？因而由兩種事故率作為比較，可觀察真實存在的機率狀況。

### 3.3 羅吉斯迴歸模型和模型配適度

#### 3.3.1 羅吉斯 (Logistic) 迴歸模型

羅吉斯模型的目標變數是一個二分變數 (dichotomous variable)，在某一預測變數群組合下，二分目標變數兩個分群次數比值的對數值，其目標變數兩個分群

次數的比值稱為兩分率 (odds，或稱勝敗比值)，意指一個事件發生的機率與不發生的機率之比值。Česnauskis (2007) 就曾使用相同機率模型，評估油輪溢油事故造成機率，而本文分析重大事故之 Logistic 模型，係由對數機率函數 (log probability function) 轉換而來，有兩種可能的形式，事件發生 ( $Y_i = 1$ ) 或事件不發生 ( $Y_i = 0$ )，其發生的機率分別為  $p$  和  $1-p$ ，其計算方程式如式 (3) 與式 (4)。

$$\text{發生 } P_i = \text{prob}(Y_i = 1) = \frac{e^{f(x)}}{1 + e^{f(x)}} \quad (3)$$

$$\text{不發生 } 1 - P_i = \text{prob}(Y_i = 0) = \frac{1}{1 + e^{f(x)}} \quad (4)$$

當將事件發生的條件機率定為  $P(x)$ ，而 Logistic 迴歸函數可以式 5 表示：

$$\begin{aligned} P(x) &= \text{In} \left[ \frac{p}{1-p} \right] = \text{In} \left[ e^{f(x)} \right] = f(x) \\ &= \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k \end{aligned} \quad (5)$$

其中  $P$  = 成功機率

$\beta_i$  = 常數項

$\beta_0$  = 第  $i$  個變數發生事件的機率係數 (logit)

$X_i$  = 第  $i$  個獨立變數值

$i = 1, 2, 3, \dots, k$

#### 3.3.2 模型正確預測率及勝算比 (Odds Ratio)

為驗證 Logistic 模型是否已得到較佳的估計結果，一般常用混淆矩陣

(Confusion Matrix) 來表示，可計算預測值與實際值命中比例 (Hair et al., 2016)，來評估模式的預測能力高低，而模型分類正確率 (Classification Accuracy, CA) 表示如式 (6)，全損分類正確率表示如式 (7)，非全損分類正確率表示如式 (8)。在表 2 中，A 表示分類模型正確判斷該油輪之意外事故發生全損；B 表示該油輪意外事故發生全損，但分類模型誤判為未發生全損；C 表示該油輪意外事故未發生全損，但分類模型誤判為發生全損；D 表示分類模型正確判斷油輪意外事故未發生全損。

表 2 分類模型效率評估交叉矩陣

真實值 預測值	否定	肯定
否定	A (正確預測發生全損)	B (誤判未發生全損)
肯定	C (誤判發生全損)	D (正確預測未發生全損)

$$\text{模型 } CA = \frac{A+D}{A+B+C+D} \quad (6)$$

$$\text{否定分類正確率 } CA = \frac{D}{C+D} \quad (7)$$

$$\text{肯定分類正確率 } CA = \frac{A}{A+B} \quad (8)$$

綜合以上研究方法，可以由不同油輪嚴重意外事故的機率，進行比較其發生風險比率，再由 Logistic 迴歸模型，在許多意外事故實質危險因素變因中，識別顯著事故與事故變因間的關係，再從顯著變因中評估其意外事故特徵。

## 肆、實證分析與討論

本研究從意外事故變因之觀點，探討影響嚴重意外事故關鍵因素，首先經彙集各種嚴重意外事故案例，再經由分類與事故率計算，比較不同事故因素的發生頻率，再經由 Logistic 迴歸模型分析，歸納出影響全損之意外事故關鍵因素，並於最後提出改善策略建議。

### 4.1 事故率估計

#### 1. 個別變因事故率計算

依據五個關鍵變因為基礎進行分析，表 3 顯示的百分比事故船舶類型中，以油輪 (91.8%) 發生事故占最多，如從事故類型可以看出最常生的是碰撞 (35.7%)，然後是沉沒 (20.4%)，兩者超過 50% 以上的事故。關於發生意外時，船上裝載之貨物分類，意外事故最高為裝載原油 (41.7%)，其次是化學 (27.6%)，第三是成品油 (18.4%)。在依據船型大小分析，小於 19,999 載重噸之小型油輪占 50% 的重大事故。依據船齡也發現高齡船事故率較高，尤其是船齡在 15 至 19 年和 20 年以上，兩者總和超過總事故數的 64%，顯示老舊單殼船特別容易發生事故，此原因亦為國際海事組織 (IMO) 所屬海上環境保護委員會為加速淘汰單船殼油輪，規範於 2005 年 4 月 5 日開始生效之 MARPOL 73/78 附錄 I 之規則 13G (防止意外油污

表 3 不同變因之油輪事故比率

船舶型態	油輪	液化天然氣	液化石油氣		
	90/91.8%	3/3.1%	5/5.1%		
意外事故種類	碰撞	拘留	不知名原因	沉沒	火災
	35/35.7%	1/1.0%	6/6.1%	20/20.4%	11/11.2%
	浸水	船體損壞	機械故障	爆炸	擱淺
貨物種類	5/5.1%	3/3.1%	6/6.1%	6/6.1%	5/5.1%
	瀝青	化學品	液化石油氣	原油	液化天然氣
	1/1.0%	27/27.6%	5/5.1%	41/41.7%	3/3.1%
	多種貨品	成品油(汽柴油、潤滑油)			
船舶大小	3/3.1%	18/18.4%			
	超大型	蘇伊士型	阿芙拉型	巴拿馬極限型	輕便型
	10/10.2%	10/10.2%	12/12.2%	9/9.2%	8/8.2%
	小型船				
船齡	49/50%				
	0~4年	5~9年	10~14年	15~19年	20年以上
	17/17.4%	8/8.2%	10/10.2%	21/21.4%	42/42.8%

資料來源：本研究整理。

染 - 對現成油輪措施) 13H (防止載運重級油油輪之油污染)，特別具體載明淘汰單船殼油輪的時間表，以降低老舊油輪意外事故率。

## 2. 個別實質危險因素變因

依據全球船隊之發生率估計，在表 4 評估油輪嚴重事故占全球同型船隊或同齡船隊之意外率，依不同船型之意外率比

較，蘇伊士型油輪 (2.79%) 最高、次為巴拿馬極限型 (2.52%) 與小型油輪 (2.32%) 具有高事故率，而超大型 (1.99%) 與阿芙拉型 (1.57%) 次之；如依據不同船齡之船舶，進行意外率比較，20 年以上 (2.51%) 與 15~19 年 (2.48%) 具有較高事故率，其他依序為 10~14 年 (1.19%)，而 0~4 年 (0.74%) 與 5~9 年 (0.63%) 之新船事故率最低。

表 4 油輪事故的船齡和油輪類型占全球船隊的百分比

油輪類型	超大型	蘇伊士型	阿芙拉型	巴拿馬極限型	輕便型	小型船
	10/503 (1.99%)	10/359 (2.79%)	12/762 (1.57%)	9/357 (2.52%)	8/2831 (0.28%)	49/2111 (2.32%)
船齡	0~4年	5~9年	10~14年	15~19年	20年以上	
	17/2301 (0.74%)	8/1262 (0.63%)	10/837 (1.19%)	21/848 (2.48%)	42/1675 (2.51%)	

船隊資料來源：UNCTAD (2008)。

## 4.2 影響船舶的全損意外變因分析

在羅吉斯回歸模型應變項之輸入數據，將發生船舶全損設定為 1，未發生全損為 0，其他自變項包括「事故類型」、「貨物種類」、「油輪類型」、「船齡」，採取向後逐步移除法，變項被移除準則，以顯著性  $p$  值決定，如果小於 0.05，意味著此變項可納入模型，表 5 在輸入全部自變項模型中，「貨物種類」與「船齡」之  $p$  值都遠大於 0.05，因而此二自變項將被從模型中移除。另外 Cox & Snell  $R^2$  與 Nagelkerke  $R^2$  值分別為 0.5438、0.731，表示投入的自變項與全損效標變項間有中強度的關聯。

表 6 為逐步迴歸最終模型，依據顯著性  $p$  值小於 0.05 為標準，移除不顯著自變項之完整模型。事故類型 ( $p=0.00 < 0.05$ ) 和油輪類型 ( $p=0.0004 < 0.05$ ) 表

示具有顯著解釋能力，對於應變項(意外事故造成全損)產生重大影響。而檢定模型配適度，以 Hosmer and Lemeshow ( $p=0.7729 > 0.05$ ) 未達顯著水準，表示接受模型配適度佳之虛無假設，亦代表建立的 Logistic 迴歸模型非常理想。

表 7 為  $2 \times 2$  預測全損分類正確率之交叉表，由觀察值與預測之分類交叉表，顯示在非全損正確預測比率達 91.2%，而全損正確預測比率達 85.4%，整體的正確分類預測比率也達  $(52 + 35)/98 = 88.8\%$ 。由於所有研究對於命中比例值，沒有一個標準方法，可以確認何種預測值正確率，來說明預測之有效性，Hair et al. (2016) 提到完全由研究者依其收集資料的所花費之成本與可獲得資訊的效益間的取捨來判斷，但是本研究 Logistic 迴歸模型所得到預測命中比例值 (88.8%)，應為可接受的預測正確率。

表 5 Logistic 迴歸模型

變數名稱	Coefficient	Wald	Odds	Sig.
意外事故類型	0.9025	20.3009	2.4659	0.0000
貨物種類	-0.1575	0.2035	0.8542	0.6519
油輪類型	-0.6046	5.8302	0.5463	0.0158
船齡	0.3044	1.1131	1.3559	0.2914
Model $R^2 = 72.204$ ( $p = 0.000$ ) Cox & Snell $R^2 = 0.5438$ Nagelkerke $R^2 = 0.731$ Hosmer and Lemeshow $R^2 = 2.2624$ ( $p = 0.9719$ )				

表 6 Logistic 逐步迴歸模型

變數名稱	Coefficient (Sig.)	Wald	Odds
意外事故類型	0.9308 (0.0000)	22.9783	2.5366
油輪類型	-0.6439 (0.0004)	8.0642	0.5252
常數項	-3.4439 (0.0002)	13.85	0.0319



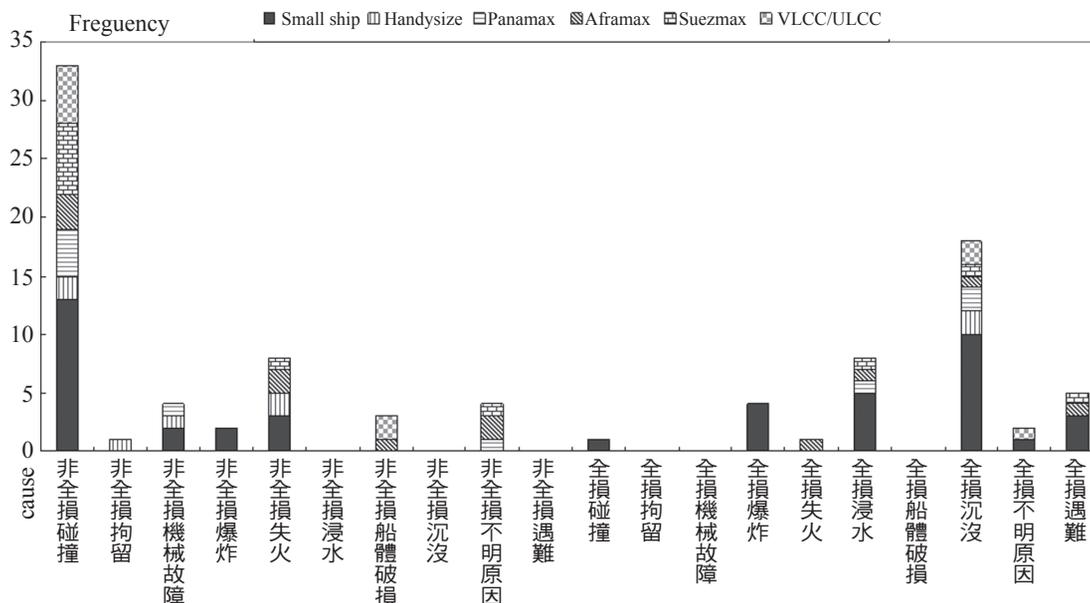


圖 2 全損之意外事故類型和油輪類型發生事故頻率分析

輪(包括輕便型與小油輪)發生「沉沒」所造成全損頻率占 66% 最高(如圖 3~1), 依序為小型油輪發生「浸水」、「爆炸」與「擱淺」所造成全損頻率較高, 再從發生全損事件之船舶年齡分析(如圖 3-2), 老舊油輪(包括 14~19 年與 20~25 年)占 91%。整體顯示全損的意外風險是重心在老舊小型油輪, 特別是關於「沉船」意外, 將導致航運公司發生嚴重資產損失, 經營小型油輪風險相對較高, 需要特別防範意外事故的發生。國際海事組織下設之海洋環境保護委員會(Marine Environment Protection Committee, MEPC)於 2003 年 12 月決議正式啟動淘汰單殼油輪的時間表, 2010 年後禁止船齡 25 年以上之單殼油輪營運, 將迫使單殼油輪退出運輸市

場, 25 年以內的單殼油輪如未獲船旗國、裝卸、起運國的許可, 亦不可營運, 因此未來數年內, 易發生意外事故之老舊單殼油輪將拆除消失, 勢必可以改善油輪事故發生機率。

### 4.3 小結

由於海洋天氣和海象條件變化無常, 難以控制, 因此海上運輸充滿高度不確定性危機, 很難預測可能發生的事件, 依據 The Guardian News (2015) 報導平均每年有因為船舶沉沒造成 2,000 名船員的生命損失, 大多數情況是在惡劣的天氣條件下, 其沉沒的原因, 大都是船體結構問題。另外英國船東互保協會(UK P&I)統計 1988 年至 2003 年間, 6,091 件意外事故海損理

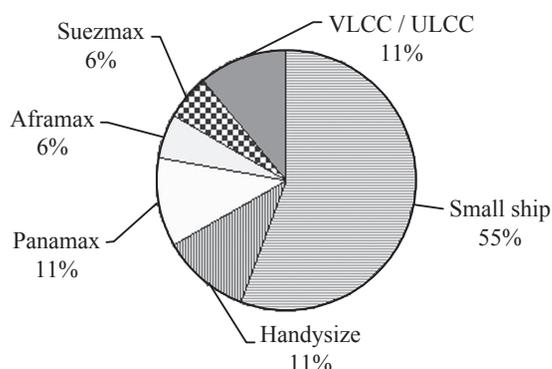


圖 3-1 不同船型油輪沉沒全損事件次數

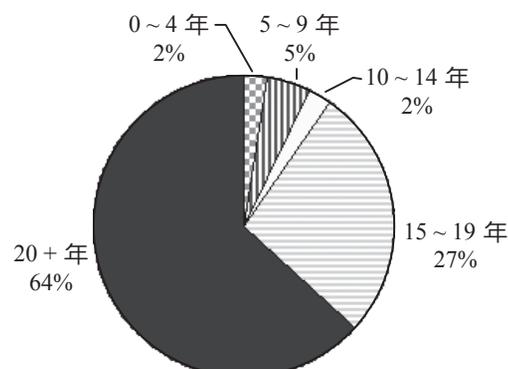


圖 3-2 不同船齡之油輪全損事件次數

賠案例，其中人員失誤因素就占了 62%，因此 UK P&I (1997) 分析意外事故原因，提出如圖 4 顯示的分析圖，人為錯誤、設備故障與外部環境為主要直接事故原因，但是這些直接原因又受到許多實質危機因素影響，因此要維護船舶安全，避免實質危機的發生，必須由消除潛在的危機因素著手，包括法規修訂與加強組織安全能力，例如：強化船員安全培訓和演練，減少人為錯誤，或是維護設備的良好狀況，同時也可以利用科技改善危機應變能力，協助意外事故之控制和決策，確保安全。

設定建造的安全技術標準，並對散裝貨船和油輪之船體結構，運用風險分析，辨識安全情勢和影響風險之要素，因此本研究運用 Logistic 迴歸建立油輪全損事故預測模型，發現意外事故類型與油輪類型兩項變因，顯著與油輪全損事故發生存在高度相關，如果針對兩項變因深入分析，可以深入對事故案例進行系統分析，降低事故發生機率。

針對個別變因事故率與危險因素變因全球船隊發生率之兩種之事故率分析結果，呈現些微不同結論，在個別變因事故率之事故類型分析，油輪發生碰撞與沉沒事故率超過 50% 以上；在危險因素變因全球船隊發生率之船型與船齡分析，載重噸小於 19,999 噸之小型油輪發生重大事故也占 50% 以上，尤其是船齡在 15 至 19 年和 20 年以上油輪事故發生率為 64.2%，此與 Česnauskis and Tarasevicius (2004) and Papanikolaou et al. (2006) 分析油輪意外事故以超過 15 歲船舶占大多數，兩者結論

## 伍、結論與建議

### 5.1 結論

船舶之意外事故不僅對船東帶來資產損失，亦對海洋生態造成威脅，這些嚴重災難，調查發現是由於建造之船體結構技術不良所致，重大意外事件刺激海事組織

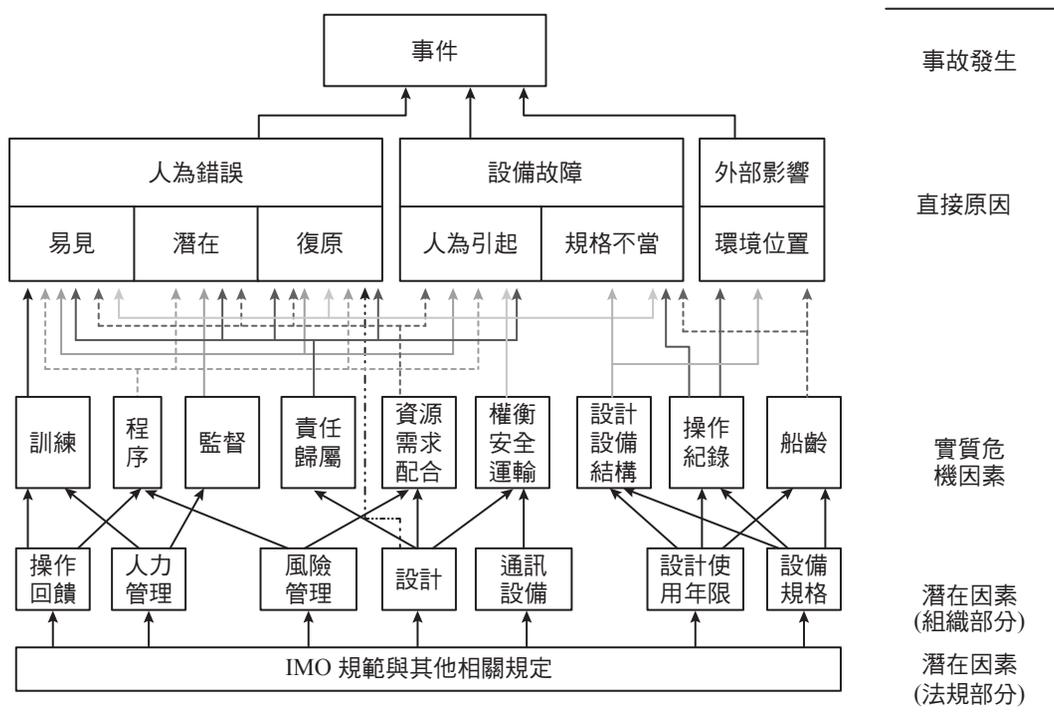


圖 4 意外事故原因分析圖

相同，意味著舊船容易發生意外，也會造成船東資產重大損失。如依全球船隊為計算事故率之分母分析，除了蘇伊士型油輪事故率高以外，49,999 dwt 以下之油輪事故率也出現高比率嚴重事故，15 年以上的舊油輪同樣也出現高事故率。最後再以 Logistic 迴歸模型進行全部變因與全損事件關聯性分析，事故類型和油輪類型出現對全損事件有顯著迴歸關係，因此可以確認小型油輪發生意外事故風險最大，尤其是發生沉沒事故，更具有高比率會導致全損發生。小型油輪由於航程較短，對於船員而言，頻繁的進出港口與沿岸航行，加重船員體能與精神負擔，如果船舶老舊，

船體與機械老化，此兩種因素深邃影響船舶安全，只要人為稍有疏失或遭遇劇烈天氣變化，就容易發生事故。

由於事故發生是無法避免，而追求油輪的零事故率，也是不可能的，但是安全之風險管理是可以非常有效地減少意外因素的不確定性，避免嚴重事故的事件，UK P&I (1997) 提出設備故障、人為錯誤與外部環境三個改善策略

第一：增加船舶的性能，發揮優良的船藝：瞭解船舶關鍵特性，例如適航能力，船體結構、重要技術參數等，當船舶使用超過 15 年以上，要考慮鏽蝕、損耗、設備老化等問題，另外發揮優秀操船

技術與設備效能，例如導航定位設備船、充分航行資訊、協調溝通等，才能保障航行安全。

第二：船員遵守操作程序，提高應急反應能力：根據過去研究和分析，船員不安全行為，亦就是「人為因素」已成為危害海上人命財產和海洋環境的關鍵因素。確實遵守 SOLAS 和 STCW 公約，依據 ISM 規則和 PSC 規則，實施嚴格的檢查，加強安全教育，提高船員的安全意識技能，營造良好的安全氣候。

第三：掌握環境要素，預測可能的危險，採取適當的避險策略，特別是在進入港區航道或接近暗礁區。最終惟有依據所有國際海事法規，精心設計安全管理措施，才能減少油輪事故發生的機率和損失。

## 5.2 建議

本研究經由分析，確認油輪全損的事故之實質危險因素，但是深入探討各種危險因素都存在錯縱複雜的潛在事故因子，可以更明確擬訂預防的方法與應變措施，因此未來研究應可由不同的防災策略與建立相對應績效指標，進而發現主要危險指標，船舶管理階層透過主要危險指標的監控，許多問題可以由即時採取改善措施而消弭於無形。

## 參考文獻

- 陳彥宏、張家榕，2003a，散裝貨輪安全研究(二)散裝貨輪安全評估模式之研究，*海運研究學刊*，第 15 期，39-59。
- 陳彥宏、張家榕，2003b，散裝貨輪安全研究(一)散裝貨輪全損海難風險分析，*海運學報*，第 12 期，77-92。
- 陳治平，2006，運用數值定量分析探討商船海難全損之研究，國立臺灣海洋大學商船學系碩士論文，基隆市。
- Al-Ghamdi, A.S., 2002. Using logistic regression to estimate the influence of accident factors on accident severity. *Accident Analysis and Prevention*, 34, 729-741.
- Allianz Global Corporate & Specialty, 2017. Safety and Shipping Review 2017. Available at: <http://www.agcs.allianz.com/insights/white-papers-and-case-studies/safety-and-shipping-review-2017/> (accessed 18 Jan, 2018)
- Česnauskis, M. and Tarasevicius, R., 2004. Analysis of statistics and investigations of marine casualties, registered in Lithuanian competent authorities during the period of 1999-2003. *Sea & Environment*, 2, 33-40.
- Česnauskis, M., 2007. Model for probabilistic assessment of oil outflow event caused by tanker accident. *Transportation*, 22(3), 187-194.

- Devanney, J., 2009, *Uses and Abuses of Ship Casualty Data Center for Tankship Excellence*, USA, Available at: <http://www.c4tx.org/ctx/pub/casdata.pdf> (accessed October, 2017).
- Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L. and Black, W.C., 2016. *Multivariate Data Analysis*, 7th Edition, New York: Macmillan.
- Hashemi, R.R., LeBlanc, L.A., Rucks, C.T. and Shearry, A., 1995. Vessel accident modeling: neural networks, discriminant analysis and logistic regression, *Expert Systems with Applications*, 9(3), 247-256.
- Hilakivi, I., Veilanti, J., Asplund, P., Sinivuo, J., Laitinen, L. and Koskenvuo, K., 1989. A sixteen factor personality test for predicting automobile driving accidents of young drivers, *Accidental Analysis and Prevention*, 21(5), 413-418.
- IMO, 1997. *Interim Guidelines for the Application of Formal Safety Assessment (FSA) to the IMO Rule-Making Process*, 17 November.
- IMO, 2000. Amendments to the code for investigation of marine casualties and incidents (resolution A.849 (20)), Assembly 21st session Agenda item 5.
- ITOPF, 2017. Oil tanker spill statistics 2017. Available at: [http://www.itopf.com/fileadmin/data/Photos/Statistics/Oil\\_Spill\\_Stats\\_2017\\_web.pdf](http://www.itopf.com/fileadmin/data/Photos/Statistics/Oil_Spill_Stats_2017_web.pdf)(accessed 20 Jan, 2018).
- Jin, D., Kite-Powell, H.L. and Talley, W.K., 2001. The safety of commercial fishing: determinants of vessel total losses and injuries. *Journal of Safety Research*, 32(2), 209-228.
- Lloyd's Maritime Information Services (LMIS) incidents data, Available at: <https://www.lloydslistintelligence.com/incidents/>.
- Lu, C.S. and Tsai, C.L., 2008. The effects of safety climate on vessel accidents in the container shipping context. *Accident Analysis & Prevention*, 40(2), 594-601.
- Milton, J. and Mannering, F., 1997. The relationship between highway geometric, traffic-related elements and motor-vehicle accident frequencies. The 76th Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Papanikolaou, A., Eliopoulou, E., Alissafaki, A., Aksu, S., Delautre, S. and Mikelis, N., 2005. Critical review of AFRAMAX tankers incidents. In *Proceeding of 3<sup>rd</sup> International Conference ENSUS*, April, 13-15, Newcastle upon Tyne.
- Papanikolaou, A., Eliopoulou, E., Mikelis, N., Aksu, S. and Delautre, S., 2006. Casualty analysis of tankers. In *Proceeding of RINA Learning from Marine Accidents III Conference*, January 25-26, 2006, London, UK.
- Psaraftis, H.N., Panagakos, Desypris, G.N. and Ventikos, N., 1998a. An analysis of maritime transportation risk factors. In *Proceeding of ISOPE Conference*, Montreal, Canada, May 1998.

Psarafitis, H.N., Panagakos, G., Desypris, N. and Ventikos, N., 1998b. The human element as a factor in marine accidents. Technical report, IMLA-10 Conference.

Stamatiadis, N. and Deacon, J.A., 1995. Trends in highway safety: effects of an aging population on accident propensity. *Accident Analysis & Prevention*, 27(4): 443-459.

The Guardian News, 2015. Worse things still happen at sea: the shipping disasters we never hear about. Available at: <https://www.independent.co.uk/news/world/politics/maritime-murders-justice-for-the-2000-sailors-who-go-missing-each-year-9950812.html> (accessed 18 May, 2018).

UK P & I Club, 1997. *Analysis of Major Claims: Ten-Year Trends in Maritime Risk*, Thomas Miller P & I Ltd.

UK P & I Club, 2008. *Annual Report 2007*, Available at: <http://www.ukpandi.com>.

UNCTAD, 2008. *Review of Maritime Transport*, a report by the United Nations Conference on Trade and Development secretariat, Geneva Switzerland.

UNCTAD, 2017. *Review of Maritime Transport*, a report by the United Nations Conference on Trade and Development secretariat, Geneva Switzerland.

US National Oceanic and Atmospheric Administration, 1992. Oil spill case histories, 1967-1991, NOAA, Washington.

