

僱船人原油運輸航路選擇之 成本效益評估模式

APPLICATION OF COST-BENEFIT EVALUATION FOR CRUDE OIL TRANSPORTATION ROUTE SELECTION BY CHARTERER

韓子健 Tzeu-Chen Han¹
王志敏 Chih-Ming Wang²

(107 年 5 月 11 日收稿，107 年 6 月 5 日第 1 次修改，
107 年 6 月 25 日第 2 次修改，107 年 6 月 30 日定稿)

摘 要

本研究應用因果關係檢定來驗證油輪租金，原油價格和燃油價格之間的關係，檢驗的結果發現由於油輪租船業務策略的改變，油輪租金與原油價格之間存在負相關，當原油價格回落至低油價時，由於交易商等待價格上漲，因此傾向先將低價原油以繞遠路運送方式或直接儲存於海上，例如油輪租賃者決定在航行繞經好望角（南非）增加數千海哩的距離，或者拋錨在海上將其作為原油油庫，期待航行結束時可以從原油價格上漲獲利。在這種情況下原油運輸供應將會被凍結，因此預計未來幾個月油輪運價將上漲。我們還研究了從波斯灣到鹿特丹的原油運輸路線選擇繞遠路不具有任何成本效益，而基本上油輪以繞遠路運送方式或直接儲存於海上，是利用時間延遲獲取在原油市場的低買高賣獲取利益的機會。

關鍵詞：油輪租金；航路選擇；原油價格

-
1. 國立澎湖科技大學航運管理系副教授（聯絡地址：880 澎湖縣馬公市六合路 300 號 澎湖科技大學航運管理系；電話：06-9264115 轉 3202；E-mail：tchan@gms.npu.edu.tw）。
 2. 長榮大學航運管理系助理教授（聯絡地址：71101 臺南市歸仁區長大路 1 號 長榮大學航運管理系；電話：06-2785123 轉 2261；E-mail：wang8200@mail.cjcu.edu.tw）。

ABSTRACT

This analysis examines the relationship between tanker freight rates, crude oil price and fuel price using base granger causality test. The result shows that due to the changes of tanker charterer's business strategy, the relationship between tanker freight rates and crude oil price is negative. When crude oil prices decline to low price level, in order to wait for the price to rise, traders would keep cruising or storage the crude oil at sea. For instance, some tanker charterers would choose to take the route around the Cape of Good Hope (South Africa), which is thousands of nautical miles further than usual, or they would anchor offshore as a "crude oil floating storage", so that they could earn more money by the end of the voyage. As a result, the transport of crude oil supply was frozen and significant increase in the tanker freight rate was unavoidable in the following months. We also examined the cost-benefit of the crude oil transportation route between Persian Gulf and Rotterdam, which turned out to be ineffective. The reason of selecting long distance route and anchoring at sea, which extend sailing time is to gain profit by speculating in crude oil market.

Key Words: Tanker charter hire; Route selection; Fuel price

一、前言

U.S. Energy Information Administration^[1] 統計 2015 年世界石油和其他液體供應總量約為每天 9,670 萬桶，經由海上運送約佔 61% (5,890 桶/日)，運輸區域包括在中東，西非，美國灣區和北海等區域，自從次貸金融危機後全球景氣崩跌，原油價格也受經濟衰退的衝擊大跌，在原油供應過剩價格低落的情況下，原油交易商為謀取利益，大量建構岸上油庫存放，甚至以租賃油輪方式囤油於海上，British Broadcasting Corporation^[2] 報導 International Energy Agency 追蹤全球港口約有 1.12 億桶原油存放於海上，從新加坡到墨西哥灣，滿載石油的油輪最多時曾多達 120 艘，這些存放在油輪的原油，俟原油價格上漲後賣出進行套利，另外亦提到在 2016 年原油處於低價期間，許多船舶因燃油成本降低，往返歐洲至亞洲之間，棄蘇伊士運河而繞道好望角，罕見的出現繞路來節省成本，導致原油海運運輸回到 19 世紀的歐亞航線，選擇更長的路線不僅可以省錢，船舶可以在海上航行更長的時間，希望在航行結束前尋找好的買家進行交易以獲得較佳的盈利，相對原油以油輪當油庫的增加，削弱油輪的運輸供給，還可能會導致原油海運市場趨緊，推升油輪的租金日益走高，形成原油價格與油輪租金相互影響的奇特關係。

財經新報^[3] 報導全球產油國自 2017 年 8 月減產，中東到亞洲的油輪運輸量大減，Institute of Shipping Economics and Logistics^[4] 統計 2018 年新造油輪陸續下水，原油運輸供給增加 255 艘共 49.2 百萬載重噸，在運量增加需求下滑的雙重打擊下，油輪市場運價大跌，基於此嚴峻的情境，特針對近年油輪市場特性進行研究，期盼研究結果將可提供原油

銷售、生產與運輸相關業者參考，特別是油輪船東與傭船人在洽談傭船契約時，可將相關影響因素納入評估模式，藉完整的資訊降低營運財務風險，有利於企業的永續經營。

因此本研究聚焦的重點如下：(1) 原油價格、燃油成本與油輪原油運費三者間的關係；(2) 原油價格變動如何牽引原油海上運輸航線轉移；(3) 原油價格如何拉扯原油海運運費的漲跌。

二、文獻回顧

2.1 原油價格和油輪運費之關聯性

過去學者在研究原油價格和油輪運費之關聯性時，分別有不同的發現，有認為兩者間具有關聯，例如 Alizadeh 與 Nomikos^[5] 研究原油期貨價格和油輪運費之間的持有成本，因果關係和套利，研究發現油輪市場之石油期貨與現貨市場以及油輪租金之間的動態關係，驗證原油現貨和期貨價格之間的差異會反映至運輸成本，表明石油衍生品與油輪貨運市場之間存在套利機會。又如 Poulakidas 與 Joutz^[6] 運用共整合和因果關係分析 1997 年到 2007 年間原油價格和油輪租金間的領先與落後關係，發現運費大幅上漲係與油價同步。Sun 等人^[7] 研究運費和原油價格之間的關聯性，可以改善運營管理和預算規劃決策，聚焦重點在討論油輪租金與油價之間的多尺度關聯，發現兩者中長期顯著相關。但是 Abouarghoub 等人^[8] 研究油輪運費結構突變是外生的還是內生的，實證結果明顯證據表明油輪市場貨運動態發生重大變化，油輪運費會受到內部和外部因素衝擊影響，原油運輸供需的平衡可以使原油價格與現貨油輪價格之間的關係模糊不清 (Glen 與 Martin)^[9]。

2.2 海運航路選擇之成本效益

謝幼屏^[10] 探討航商是否選擇航路時，會以航運成本與存貨成本最小化之雙目標作為決策模式。李選士等人^[11] 研究指出，最佳化航路選擇係以迴避惡烈天氣、減少船與貨的損失，航路規劃也可以達成節省燃油的目標。另外在 2011 年世界最大海運企業丹麥斯維策公司和挪威海運企業宣布所屬油輪將取消原來經由蘇伊士運河以及亞丁灣的航線，轉而從南非好望角附近海域繞道運輸貨物，其原因為避免油輪、貨物與船員處於可能被索馬利亞海盜劫持的風險 (國際海事訊息網)^[12]。

綜合過去學者研究，可以發現原油運輸航路選擇，基本上是從成本效益進行考量，但是除了成本外，亦會受到外在因素影響，例如油價、航路安全等因素，因此本研究將先從油價對於油輪租金收入進行分析，再進行成本評估，最後在運費收入與營運成本間進行效益評估，作為比較原油運輸航路選擇的依據。

三、研究方法

研究將利用皮爾森相關係數與 Granger 因果關係檢定檢驗油輪租金、原油價格和燃油價格之間的關係，然後在建構油輪運輸建構成本評估模式時，將彙整過去學者分析與研究者的實務經驗，完整納入相關成本因素，力求獲得最適切的驗證結果。

3.1 變數間的關係分析

(一) 變數間相關係數檢定

本研究利用皮爾森相關係數 (Pearson's correlation coefficient) 來檢定變數間之線性相關度，如方程式 (1)：

$$\text{corr}(x, y) = \frac{\text{Cov}(x, y)}{\sqrt{\text{Var}(x)\text{Var}(y)}} \quad (1)$$

其中 $\text{corr}(x, y)$ 為觀測值 x 與 y 間之相關係數； $\text{Cov}(x, y)$ 為觀測值 x 與 y 間之共變異數； $\text{Var}(x)$ 及 $\text{Var}(y)$ 分別為 x 與 y 之變異數。

相關係數主要是告訴分析變項間的相關程度高或低，得到的相關係數 (R 值) 說明變數間是正相關、負相關，或者是無關，而依據皮爾森相關定義，相關程度以 R 值高低決定，R 值在 0.3 至 -0.3 之間為低度相關；在 0.3 至 0.6、-0.3 至 -0.6 之間為中度相關；而在 0.6 至 0.9、-0.6 至 -0.9 之間為高度相關；若 R 值絕對值為 1 表示完全相關。當兩變數有相關存在，並不代表兩者一定存在因果關係，但是當相關程度高的時候，彼此的預測能力也高。

(二) 變數間交叉相關檢定 (cross correlation)

交叉相關檢定最主要是衡量變數間在不同時間的相關性，兩者是否彼此有所影響，例如 X 序變數可能會是 Y 變數的領先指標。這樣子我們可以用 CCF 函數來進行交互分析，藉以評斷變數的相關程度大小，當正相關性愈高，表示變數其波動方向相同。惟此比較只能顯出變動方向，對於實際因果關係不能判斷，故仍需輔以 Granger 因果關係分析方法進行判斷。

定義 X_t 與 Y_t 兩變數時間差 k 期的交叉相關係數 (cross-correlation, 謝邦昌^[13]) 如方程式 (2)：

$$\hat{\rho}_{xy}(k) = \frac{C_{xyv}(x, y)}{S_x S_y}, k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (2)$$

其中，

$$C_{xy}(k) = \begin{cases} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(y_{t+k} - \bar{y}), k=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \\ \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n+k} (y_t - \bar{y})(x_{t-k} - \bar{x}), k=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \end{cases}$$

$$S_x = \sqrt{S_x^2} = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$S_y = \sqrt{S_y^2} = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

(三) 變數間 Granger 因果關係檢定 (Granger causality test)

本研究利用 Granger^[14] 所提出的此因果關係檢定，探討兩變數間的關連性，驗證波羅的海原油運價指數、西德州原油價格、海運 380cst 燃油價格，彼此間影響力大小觀察變數間的因果關係。

其模型建構如方程式 (3) 與方程式 (4)：

$$X_t = \sum_{i=1}^p \alpha_i X_{t-i} + \sum_{j=1}^q \beta_j Y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (3)$$

$$Y_t = \sum_{j=1}^p \gamma_j X_{t-j} + \sum_{j=1}^q \delta_j Y_{t-j} + \eta_t \quad (4)$$

其中 α 、 β 、 γ 及 δ 為迴歸係數， ε_t 與 η_t 為非相關之干擾項， p 為 Y 最佳落後期數， q 為 X 最佳落後期數。

檢定 Y 是否影響 X 之虛無假設為 $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 \dots = \beta_q = 0, j=1, 2 \dots q$ ，若拒絕虛無假設，亦即 Y 會影響 X 。同理可證，若檢定 X 是否影響 Y 之虛無假設為 $H_0: \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 \dots = \delta_q = 0, j=1, 2 \dots q$ ，若拒絕虛無假設，亦即 X 會影響 Y 。

檢定過程利用 F 統計量，直接檢定 β 是否為 0；若上述的 β 係數不全為 0，則認為 Y_t 對 X_t 具有因果關係。若上述之虛無假設皆拒絕，亦即兩模式之 β 與 δ 係數皆不全為 0，則表示 Y 與 X 具有回饋因果關係。

3.2 建構油輪航線成本效益評估模式

(一) 建構油輪燃油成本評估模式

1. 建構油輪燃油消耗計算模式

Stopford^[15]、Chang 與 Wang^[16] 建構船舶速度與能源消耗計算，如方程式 (5)：

$$F = F^* \left(\frac{S}{S^*} \right)^a \quad (5)$$

其中，

F ：實際燃料消耗量 (噸/日)

S ：實際速度 (海浬/時)

F^* ：船舶設計之燃料消耗 (噸/日)

S^* ：船舶設計速度 (海浬/時)

a ：實際速度與實際速度的燃料消耗比值，在柴油引擎之約為立方

2. 船舶單一航程的能源消耗計算模式

張靜之與王志敏^[17] 評估船舶在航程中能源消耗，依據船舶動態可分為 3 個階段：海上巡航、接近港區機動與靠泊碼頭，由 3 個階段所需要的不同動力，進行計算燃油量消耗，船舶單一航程的主機與輔機能源消耗可以建構如方程式 (6)：

$$F_{sv} = F_s^{ij} + F_m^{ij} + F_p^{ij} = \frac{T_s}{24}(ME_s + AU_s) + \frac{T_m}{24}(ME_m + AU_m) + \frac{T_p}{24}(AU_p) \quad (6)$$

其中，

F_{sv} ：單一航程船舶燃料消耗量

d ：航程距離 (海浬)

i, j ：港口別

s ：海上巡航動態階段

m ：接近港區機動動態階段

p ：靠泊碼頭動態階段

ME ：船舶主機

AU ：船舶輔機

T ：時間 (小時)

3. 油輪燃油成本評估模式

由於燃油成本隨原油市場價格變動，Stopford^[15] 估算燃油成本，依船型類別占船舶運輸成本的 25%-40%間，燃油價格高低影響運輸成本甚鉅，而油輪單一航程燃油成本可以方程式 (6) 乘以燃油價格如方程式 (7)

$$FC_{sv} = F_{sv} \times FP = (F_s^{ij} + F_m^{ij} + F_p^{ij}) \times FP \quad (7)$$

其中，

FC_{sv} ：單一航程船舶燃油成本 (美金)

FP ：船舶燃料價格（美金／噸）

（二）建構油輪原油運輸成本計算模式

依據 Stopford^[15]、林光、張志清^[18] 及參考臺塑海運油輪成本計算案例之船舶運輸主要成本納入，包括資本成本、營運成本、航次成本、歲修成本等，而個別成本中所包含的費用詳如圖 1 所示

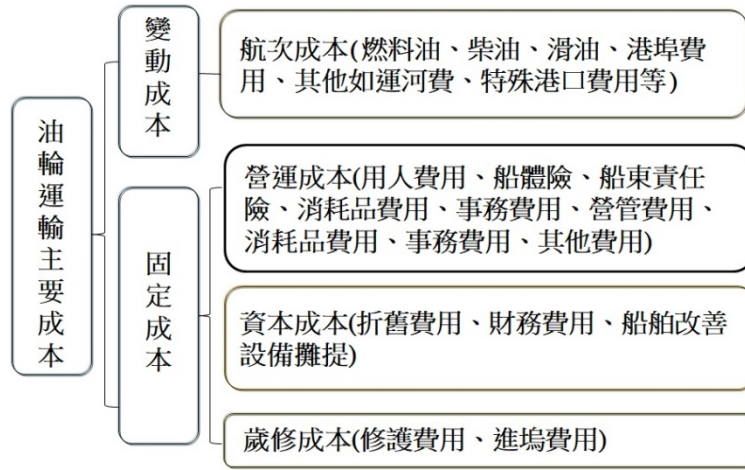


圖 1 船舶運輸主要成本分析

依據圖 1 所含成本因素，建構單一航程海洋船舶運輸成本計算詳如方程式 (8)

$$TC_{sv} = K + OC + VC + PM \quad (8)$$

其中，

TC_{sv} ：單一航程海洋船舶運輸成本

K ：資本成本

OC ：營運成本

VC ：航次成本

PM ：歲修成本

依據謝幼屏^[10]、張有恆^[19] 之研究，可將單一航程海運資本成本 (K) 轉換為更詳細方式表示如方程式 (9)：

$$K_{sv} = \frac{C_{oa}}{\left[\frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} \right]} \div 365 \times D_{sv} \quad (9)$$

其中，

C_{oa} ：購買船舶資本成本

r ：折舊率

n ：船舶使用年限 (useful life)，

D_{sv} ：航程所需時間 (日)

(三) 建構燃油價格變動對於油輪運輸成本評估模式

方程式 (10) 為參考相關文獻建構的一般船舶運輸成本，依據油輪運輸特性，本研究將營運 (OC)、航次 (VC) 與歲修 (PM) 成本轉換為燃油成本 (FC_{sv}) 與其他成本 (C_{ct}) 代表，因此模擬燃油價格變動對於油輪運輸船舶成本的影響，可將方程式 (9) 代入方程式 (8) 可改寫成如方程式 (10)：

$$TC_{sv} = K + (OC + VC + PM) = \left(\frac{C_{oa}}{\left[\frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} \right]} \div 365 \times D_{sv} \right) + (FC_{sv} + C_{ct}) \quad (10)$$

在方程式 (10) 中，航次燃油成本 (FC_{sv}) 受燃油價格變動而增加或減少，都將影響航次成本的變動，因此可以用來評估不同航線之燃油消耗導致航次成本變異程度。

(四) 建構不同航線油輪運輸成本差異評估模式

為評估最佳的航線決策，必需基於相同起運港與目的港之貨物運送，從航次成本進行比較，因此須在同一條件下，船舶行駛不同航路所增加的特殊的成本納入評估模式中，例如航行經過蘇伊士運河所增加之運河通行費與海盜附加保險費等，或是油輪航行中停泊於錨地等待通知卸油港等成本，因此將方程式 (10) 改寫成如方程式 (11)：

$$TC_{sv}^x = K + FC_{sv} + C_{ct} + C_{ai} + C_{ss} \quad (11)$$

其中，

TC_{sv}^x ： x 航路單一航程成本

C_{ct} ：除燃油成本外之其他成本

C_{ai} ：附加保險費

C_{ss} ：特別費用 (例如運河費或海盜區保全費用等)

不同航線運輸成本差異評估模式建構如方程式 (12)：

$$\Delta TC = TC_{sv}^A - TC_{sv}^B \quad (12)$$

其中 A 與 B 代表不同航路選擇、 ΔTC ：為兩航線成本差異，當 $\Delta TC < 0$ 表示船舶採 A 航路之決策具有低成本效益， $\Delta TC > 0$ 表示船舶應採 B 航路之決策具有低成本效益， $\Delta TC = 0$ 表示船舶採 A 航路或 B 航路之決策成本相同。

(五) 建構油輪滿載延宕航程期待原油上漲的運輸成本效益評估模式

為模擬備船人或原油貿易商利用油輪轉變為海上油庫，本研究將原油售出差價納入油輪運輸船舶成本的影響，可獲得備船人或原油貿易商租賃油輪營運可期望的獲利，因此將 ΔB 代表原油買進與賣出的獲利 (profit)，則方程式 (12) 可改寫成如方程式 (13)：

$$\Delta P = \Delta B + \Delta TC = (CR_s - CR_b) + (TC_{sv}^A - TC_{sv}^B) \quad (13)$$

其中，

ΔP ：不同航線油輪運輸成本效益

ΔB ：原油買進與賣出的獲利

CR_s ：原油賣出金額

CR_b ：原油買進金額

四、實證結果與分析

4.1 變數說明

研究變數為波羅的海原油運價指數 (Baltic exchange dirty tanker index 簡稱：BDTI)、西德州原油價格 (West Texas intermediate (crude oil) price 簡稱：WTI)、海運 380cst 燃油價格 (heavy fuel oil 380 Cst. price 簡稱：HFO380) 1998 年 8 月至 2018 年 3 月止之月資料，共 236 筆月觀察值，資料來源為 Clarkson Research Services Limited。

圖 2 為波羅的海原油運價指數 (BDTI)、西德州原油價格 (WTI)、海運 380cst 燃油價格 (HFO 380) 的趨勢圖。原油價格在 2008 年 7 月創下每桶 133.88 美元的天價後開始下跌，同期間原油運價指數與 HFO 380 燃油價格都呈現同步的大跌，但自 2011~2014 年間原油價格與原油運價指數的趨勢，卻出現相反的波動方向，原油價格回升至高檔每桶 80~110 美元間波動，2015 年後原油價格下跌由每桶 80 美元跌至每桶 30 美元，但是原油運價指數一直處於低檔 500 點至 1000 點間，原油運價指數在 2016 年平均值下降至 731 點，略低於 2015 年的平均值 821 點，2017 年則回升至 788 點，整體而言 2018 年原油運價指數距離 2008 年最高的 1502 點，尚屬於處在低檔。

4.2 變數間關係檢定

(一) 變數間皮爾森相關係數檢定

由表 1 檢定 WTI、BDTI、HFO380 三者間的相關程度，依據皮爾森相關定義相關程度以 R 值高低決定，可以發現 WTI 與 HFO380 間 R 值為 0.96 顯著呈現高度正相關，也就是說原油價格上漲，燃油價格立即跟隨上漲，關連性非常顯著；WTI 與 BDTI 間 R 值為-0.12 顯著呈現兩者不存在相關性，也就是說原油價格漲跌並不會帶動油輪原油運價的漲跌。而 BDTI 與 HFO380 間 R 值為-0.29 顯著呈現兩者不存在相關性，亦代表油輪原油運價不會因為燃油價格上漲所導致營運成本增加而反應至運價的調整。

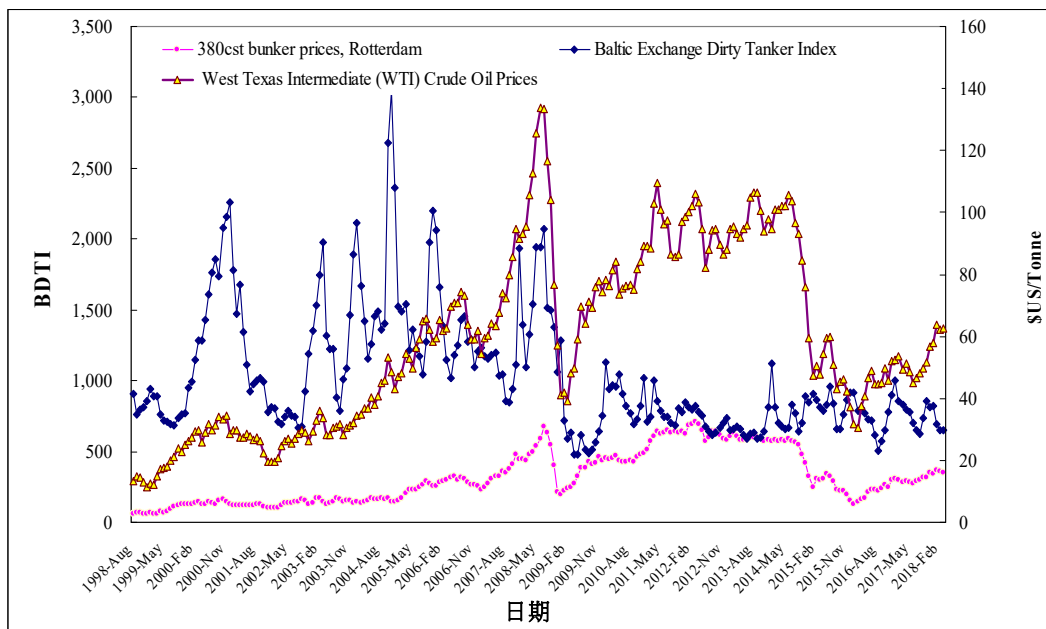


圖 2 1998-2018 年 WTI 原油價格、BDTI 指數與 HFO380 燃油價格趨勢圖

表 1 原油運價指數、原油價格與燃油價格之相關係數矩陣

	HFO380	BDTI	WTI
WTI	0.96***	-0.12**	1.00
BDTI	-0.29***	1.00	-0.12**
HFO380	1.00	-0.29***	0.96***

備註：*** $P < 0.01$ ，** $P < 0.05$ 。

(二) 變數間交叉相關係數檢定

由圖 3-1 WTI 與 BDTI 交叉相關係數檢定，可以發現在 $\text{lead}=15$ 時，交叉相關係數 ($\text{CCF}=-0.52$) 值最大，兩者呈現中度負相關之後呈穩定出現，亦即原油價格的變動領先原油運價指數 15 個月。

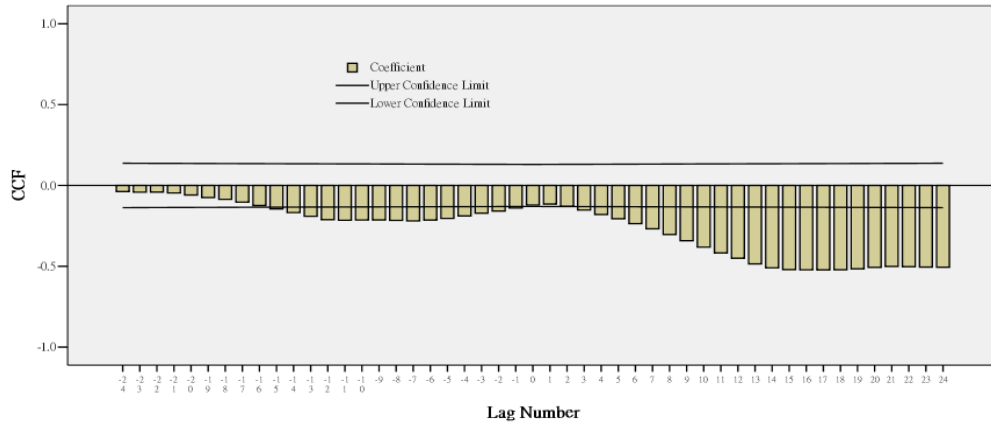


圖 3-1 WTI 與 BDTI 交叉相關係數

由圖 3-2 WTI 與 HFO380 交叉相關係數檢定，可以發現在 $\text{lag}=0$ 時，交叉相關係數 ($\text{CCF}=0.957$) 值最大，兩者呈現高度正相關之後呈逐漸相關性降低，亦即原油價格的變動同時帶動燃油價格同方向的變動。

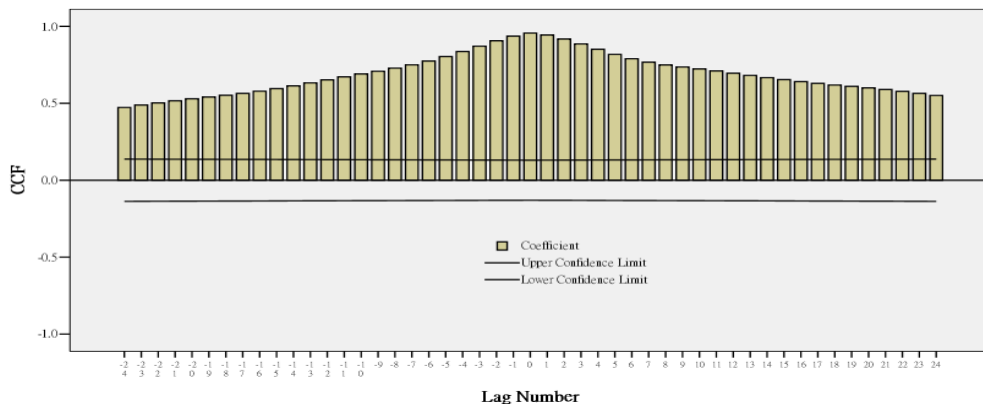


圖 3-2 WTI 與 HFO380 交叉相關係數

由圖 3-3 BDTI 與 HFO380 交叉相關係數檢定，可以發現在 $\text{lag}=18$ 時，交叉相關係數

(CCF=-0.544) 值最大，兩者呈現高度負相關之後呈逐漸相關性降低，亦即原油運價指數的變動落後燃油價格 18 個月。

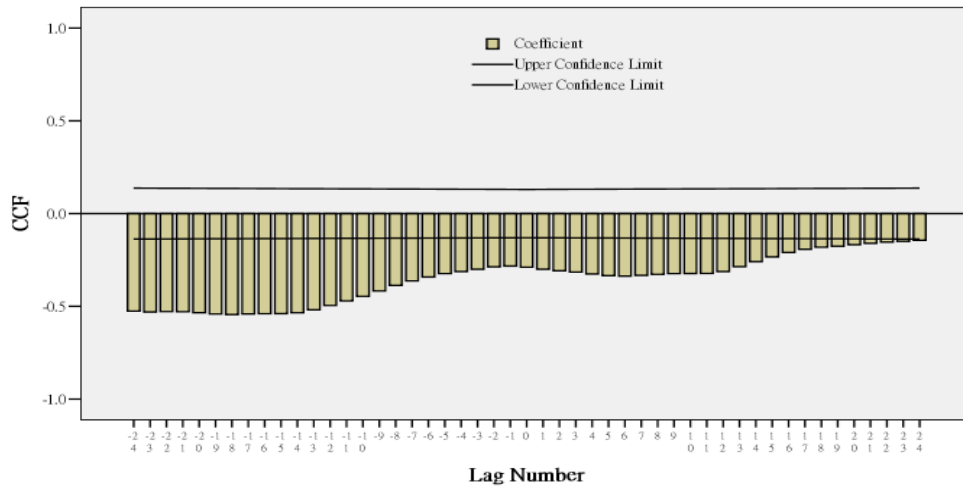


圖 3-3 BDTI 與 HFO380 交叉相關係數

(三) 變數間因果關係檢定

由表 2 顯示變數間因果關係檢定結果可以發現，顯然拒絕虛擬假設只存在 2 個變數單向因果關係，第 1 個為拒絕虛擬假設(WTI does not Granger Cause BIX380)原油價格不是引起燃油價格改變的因素，代表原油價格會帶動燃油價格漲跌；第 2 個為拒絕虛擬假設(WTI does not Granger Cause BDTI)原油價格不是引起油輪運價改變的因素，代表原油價格會帶動油輪運價漲跌，整體而言原油價格對於油輪運價與燃油價格都存在單向因果關係。

表 2 變數間因果關係檢定

Null Hypothesis	F-Statistic	Probability
BDTI does not Granger Cause HFO380	1.11	0.35
HFO380 does not Granger Cause BDTI	1.77	0.15
WTI does not Granger Cause HFO380	4.21***	0.01 (非常顯著)
HFO380 does not Granger Cause WTI	1.17	0.32
WTI does not Granger Cause BDTI	2.57*	0.06 (顯著)
BDTI does not Granger Cause WTI	1.55	0.20

備註：***P<0.01，**P<0.05，*P<0.1。

4.3 航線成本效益評估

4.3.1 資料來源與設定

(一) 資料說明

本研究油輪包括超大型油輪、蘇伊士運河極限型油輪與阿芙拉型極限型油輪，作為案例分析之樣本船舶資料。燃油為海運重油 (380cst 燃油)，資料期間為自 2004 年 1 月至 2016 年 10 月止之平均值、最低價格與最高價格；各貨櫃船型船舶主機馬力輸出設定在 80% 之船速以及燃油消耗如表 3 所示。計算油輪成本效益評估資料使用 Clarksons Research 數據庫資料，雙層艙油輪 1 年論時傭船租金費率 (1 Year time-charter rate D/H modern tanker) 和西德州 (WTI) 原油燃料價格，自 2000 年到 2017 年的最高與最低價格，燃油價格和租船費率，以及船舶之設計船速與耗油量，進行兩種航線的成本評估，並採取模擬在不同租金費率和燃料價格水準下對於航線成本的影響。

表 3 油輪成本效益評估計算資料說明

資料名稱	載重噸位	1 年論時傭船租金 (USD/day)		船舶主機輸出 80%功率	
		最高	最低	船速 (kts)	平均燃油消耗 (噸/日)
超大型油輪* (very large crude carrier: VLCC)	310,000 DWT	90,000	19,563	16.0	96.8
蘇伊士運河極限型 (Suezmax oil tanker: Suezmax)	163,000 DWT	55,625	17,000	15.5	56.7
阿芙拉型極限型 (Aframax oil tanker: Aframax)	115,000 DWT	43,500	13,938	15.5	51.2
燃油價格 (USD/ M.T) bunker prices of Japan	380cst 燃油 (Heavy Fuel oil: HFO)	最高 781 最低 123			
	MDO (Marine Diesel oil)	最高 1,294 最低 217			
WTI 原油價格 (USD/桶)	最高 133.88 (USD/桶) 最低 27.26 (USD/桶)				

資料來源：Clarkson Research LTD.；* 超大型油輪船速與燃油消耗資料係本研究整理。

(二) 航線距離與港口停泊時間

本研究選取航線之航行距離依據 Caney 與 Reynolds^[20] 距離表計算 (詳列於表 4)，案例分析包括兩種航線，第一種為波斯灣至西北歐航線 (包含經蘇伊士運河與經好望角)：航行起訖港口為由巴林至鹿特丹港，經蘇伊士運河航線距離為 6,395 海浬，經好望角航線距離為 11,128 海浬；第二種為波斯灣至亞洲航線：航行起訖港口為巴林至臺灣麥寮港，航線距離為 5,371 海浬。依據船舶屬性分別設定其船舶動態，包括船舶靠泊港口時間、船舶機動時間與航行時間，貨物載運量去程滿載與回程為壓艙。

表 4 船舶動態與航線說明

航線類別	航程距離 (海浬)	說 明
波斯灣至亞洲航線	5,371 海浬	巴林至臺灣麥寮港
波斯灣至西北歐航線	6,395 海浬	巴林至鹿特丹港 (經蘇伊士運河)
	11,128 海浬	巴林至鹿特丹港 (經好望角)
船舶動態	時間	說 明
船舶全速航行	依船速與距離計算	離港全速航行至抵達下一港口 第一條纜繩繫泊至碼頭或抵達錨地止
進港機動時間	3 小時	航行抵港減速至第一條纜繩繫泊至碼頭或抵達錨地 完成拋錨作業止
出港機動時間	3 小時	最後一條纜繩解除或完成起錨作業至離港全速航行止
裝卸貨時間	依裝卸貨量估算	靠泊港口或錨地裝卸油作業 (包含等待與驗艙時間)

航行距離：整理 Caney 與 Reynolds^[20] *Reeds Marine Distance Tables*, 10th ed.

4.3.2 油輪原油運輸成本計算模式

(一) 船舶燃油消耗計算

依船舶屬性分別設定其船舶動態，船舶靠泊港口總時間包括錨地等候、港內裝卸貨時間，船舶機動時間以每次進出港各耗費 3 小時計，經以方程式 (9) 計算，結果顯示 (如圖 4) 三種油輪之兩種航線航程耗油量，其中以超大型油輪波斯灣至西北歐航線經好望角航程，因為距離長相對燃油消耗最多，在理論上也是成本最高。

(二) 油輪原油航次運輸成本計算

航線成本之燃油價格以 2018 年 4 月全球 IFO380 燃油平均價格 407 美金／噸、MDO

燃油平均價格 544 美金／噸，租金則以 Clarkson Research 資料庫 2000 年至 2017 年的一年期雙層艙油輪最高與最低的平均值計算，經由蘇伊士運河航線因為要經過索馬利亞附近海域，需要購買海盜險，海盜保險費通常為船舶總價格的 0.125%~0.2%。經以方程式 (13) 評估各航線成本，在表 5 計算出航次的每載重噸成本，在同樣的航線為比較標準，以波斯灣至亞洲為例，可以發現超大型油輪具規劃經濟航次每載重噸成本最低 (10.00 美金)、蘇伊士運河極限型次之 (12.53 美金)，而阿芙拉型極限型成本最高 (14.76 美金)。而從蘇伊士運河極限型行駛波斯灣至西北歐航線航次的每載重噸成本進行比較，經蘇伊士運河每載重噸成本為 14.74 美金，相較於經好望角航線的成本 17.36 美金為低。整體而言，大型油輪因載重噸位大，因此在每載重噸成本低於蘇伊士運河極限型與阿芙拉型極限型油輪。而經蘇伊士運河航線需繳交運河費與海盜保險費，但在於航程短燃油與租金成本少的優勢下，比經好望角航線每載重噸成本低 33.4%，因此備船人租賃之油輪選擇行駛航程較短的航線，可以藉節省燃油費用與租金方式，增加營運收益。

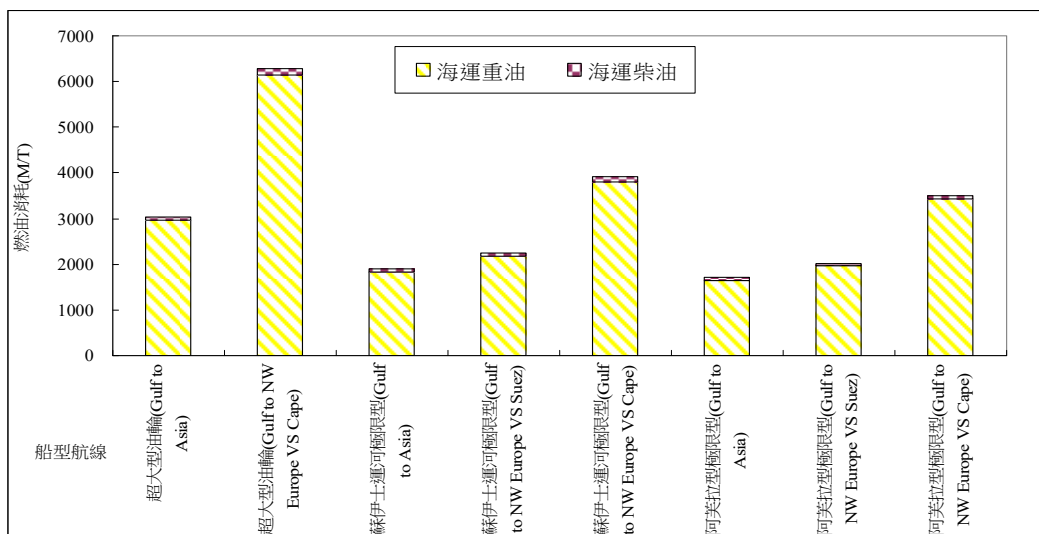


圖 4 三種油輪不同航線航程耗油量

由表 6 統計資料，可以比較蘇伊士運河極限型油輪波斯灣至西北歐經蘇伊士運河航程與經好望角航程之成本，經蘇伊士運河航程每年可往返 9.1 航次，經好望角航程每年只能往返 5.6 航次，兩者相差達 3.5 航次。如果同時以 5.6 航次進行比較，蘇伊士運河極限型油輪經蘇伊士運河航程只要 225 天，經好望角航程需要 365 天，兩者之成本相差達 5,673,491 美金。顯示選擇經蘇伊士運河的航行成本低於經好望角航程，也就是經營行駛經蘇伊士運河航程的獲利較佳。

表 5 三種油輪在兩種航線航之次成本分析

船型	航線	航程	航行時間 (天)	燃油費用 (美金)	租金 (美金／航次)	航道費用 (美金／航次)	海盜保險及其他費用 (美金／航次)	單位載重噸成本 (美金)
超大型油輪	波斯灣至亞洲	經新加坡	33.81	1,247,704	1,852,031	無	21,000	10.07
	波斯灣至西北歐	經蘇伊士運河	滿載吃水超過通過經蘇伊士運河水深限制					
		經好望角	63.79	2,571,473	3,494,635	無	21,000	19.64
蘇伊士運河極限型	波斯灣至亞洲	經新加坡	34.71	781,728	1,260,378	無	17,000	12.63
	波斯灣至西北歐	經蘇伊士運河	40.22	928,953	1,460,289	571,619	29,318*	18.34
		經好望角	65.66	1,609,433	2,384,293	無	17,000	24.61
阿芙拉型極限型	波斯灣至亞洲	經新加坡	34.71	700,623	996,827	無	15,000	14.89
	波斯灣至西北歐	經蘇伊士運河	40.22	832,385	1,154,936	446,318	23,686*	21.37
		經好望角	65.66	1,441,394	1,885,727	無	15,000	29.06

備註：1.燃油價格來源 Clarkson Research 資料庫。

2.*表示含海盜險。

3.波斯灣至西北歐航線經蘇伊士運河航程與經好望角航程每年總成本比較。

4.4 動態評估船舶營運成本

(一) 模擬不同租金費率水準與燃油價格之油輪行駛經蘇伊士運河航程與經好望角航程成本變化

模擬不同的燃料價格與租金高低，分析各航線的成本變化，表 7 顯示載重量大的油輪具經濟規模，因此平均單位載重噸成本最低；而航程短的油輪單位載重噸成本低於航程長的單位載重噸成本，例如波斯灣至西北歐航線 Suezmax 油輪經好望角之單位載重噸成本為 25.82 美金／噸，經蘇伊士運河之單位載重噸成本為 19.96 美金／噸。

而從租金燃油價格高低進行分析，在高燃油價格且高租金時，由波斯灣至西北歐航線之 Suezmax 型油輪經好望角的成本為 41.62 美金／噸，當租金下跌至最低，燃油價格維持

高檔時，成本降至 25.53 美金／噸，下降達 38.65%。另外比較當租金處於低檔，燃油價格由高價下跌至低價時，Suezmax 型油輪由波斯灣至西北歐航線經好望角的成本由 25.53 美金／噸急速下降至 10.08 美金／噸，下降達 60.05%；由波斯灣至西北歐航線經好望角航程航次之 Aframax 型油輪單位載重噸成本，也由 28.8 美金／噸急速下降 12.05 美金／噸，下降達 58.16%，當租金不變時，油輪成本受到燃料價格上漲或下跌產生重大的衝擊，亦即燃料價格是影響油輪成本的重要因素。

表 7 不同租金費率水準與燃油價格之油輪航線單位載重噸成本變化

航線	船型	高燃油 高租金	高燃油 低租金	低燃油 低租金	低燃油 高租金	平均值
波斯灣至亞洲航線 (5,371 海哩)	VLCC	17.67	11.11	3.50	9.99	10.57
	Suezmax	21.25	13.42	5.30	6.85	11.71
	Aframax	25.06	15.12	6.34	11.39	14.48
波斯灣至西北歐航線 (經好望角 11,128 海哩)	VLCC	34.62	21.12	6.69	20.12	20.64
	Suezmax	41.62	25.53	10.08	26.06	25.82
	Aframax	49.21	28.80	12.05	32.33	30.60
波斯灣至西北歐航線 (經蘇伊士運河 6,395 海哩)	Suezmax	28.45	19.16	13.31	18.92	19.96
	Aframax	33.32	21.51	15.27	22.98	23.27

備註：單位載重噸成本 (美金／噸)。

(二) 模擬降低航速節省燃料成本對於之油輪行駛經蘇伊士運河航程與經好望角航程成本影響

依據 Stopford^[15] 研究，船舶降低航速可以節省燃料成本，因此本研究模擬降速後節省燃料成本，對各航線進行成本變化分析。圖 5-1 顯示油輪降低船速節省燃料費用支出的效益，Suezmax 油輪經蘇伊士運河航程，當船速降低於 13kts 時單位載重噸成本最低 (22.47 美金)，但是船速降低於 12kts 時每載重噸成本 (22.77 美金) 不降反升；同樣情形也出現於 Suezmax 油輪經好望角航程，當船速降低於 13kts 時單位載重噸成本最低 (17.13 美金)，但是船速降低於 12kts 時每載重噸成本 (17.31 美金) 不降反升。

圖 5-2 Aframax 油輪經蘇伊士運河航程，當船速降低於 14kts 時單位載重噸成本最低 (28.84 美金)，但是船速降低於 13kts 時每載重噸成本 (29.03 美金) 不降反升；同樣情形也出現於 Aframax 油輪經好望角航程，當船速降低於 14kts 時單位載重噸成本最低 (21.25 美金)，但是船速降低於 13kts 時每載重噸成本 (21.36 美金) 不降反升。這表示降速有一定限制，當降速過多將導致航行時間延長，租金費用亦相對增加，就無法顯現降速的效益。

4.5 油輪滿載降速、移轉航線與停航期待油價上漲賺取差價之經營策略可行性評估

油輪經營策略的可行性評估係以一般正常油輪運輸成本合併繞路與油價漲別利益為基準，在模擬不同航線航程的成本效益，係以本研究案例資料中之油輪全年運送原油由波斯灣往返鹿特丹，營運模式分為三種，第一種營運航線模式為「一般油輪正常速度」運送原油；第二種營運航線模式為「降低船速繞行路線」運送原油；第三種營運航線模式為「滿載航程中停航」運送原油。油輪從波斯灣出發繞道好望角，多走數千海浬，備船人或原油貿易商是希望在航行結束時會因原油價格上漲，產生差價增加盈利，這在海運市場是個非

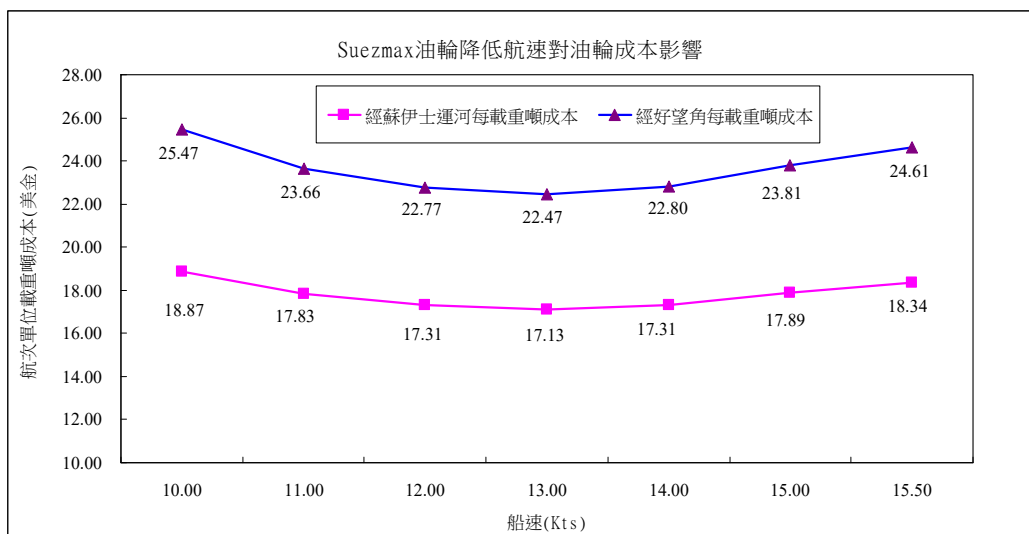


圖 5-1 降低航速對 Suezmax 油輪航程之成本影響

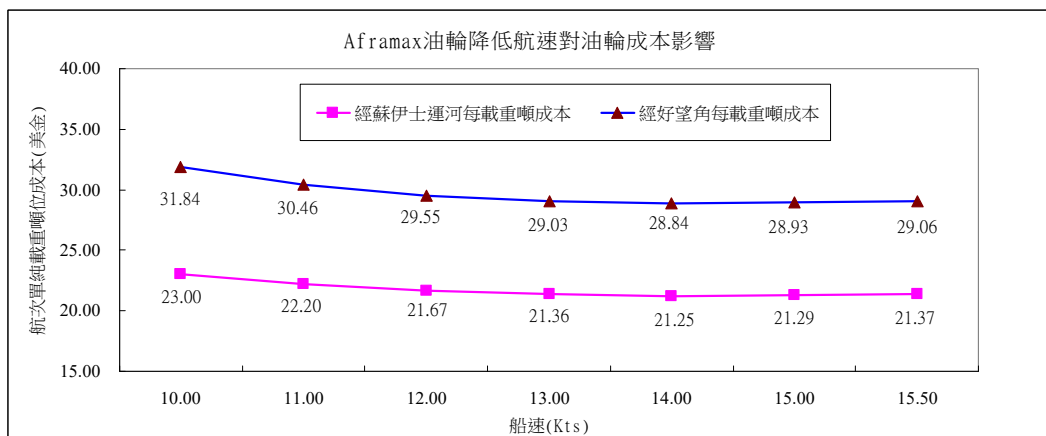


圖 5-2 降低航速對 Aframax 油輪航程之成本影響

常奇怪現象，但在原油市場有時候短期價格因為某種原因造成劇烈波動，選擇走更長的路會是更好的選擇。另外有人懷疑滿載大型油輪的錨泊在航程途中是否可以增加獲利，原油交易商把石油存儲在油輪上待價而沽，期待什麼都不做就能賺錢？雖然油價在短期可能上漲，但上漲速度能否支撐繞道多走距離的成本或是停航仍需油輪維護的成本與租金費用，這樣的疑問許存在多人的心中。

(一) 模擬油輪滿載航程中降速與移轉航程更賺錢之經營策略

模擬油輪滿載航程中降低至最具效益船速 (14.0 海浬/時) 與原油價格每桶上漲 1-5 美元的情境，從圖 6 可以發現，降速對於油輪營運成本效益 (-6.6%) 不高，但是原油價格上漲可以帶來巨大的營運成本降低效益，以蘇伊士運河極限型油輪經蘇伊士運河航程為例，降速至 14.0 海浬/時只降低成本 6.6%，但是原油價格每桶上漲 1 美元則可藉由原油售出所增加的收益來降低成本 46.67%，如果原油價格每桶上漲 5 美元時原油銷售利益則可降低成本 206.97%，降低船速雖然燃油消耗量減少，但是延長航行時間卻增加租金，所以降低成本的效益並不顯著，但是如果到港前原油價格上漲，在合併降速與原油價格上漲的效益情況下，勢必為備船人或原油貿易商的獲利大增。

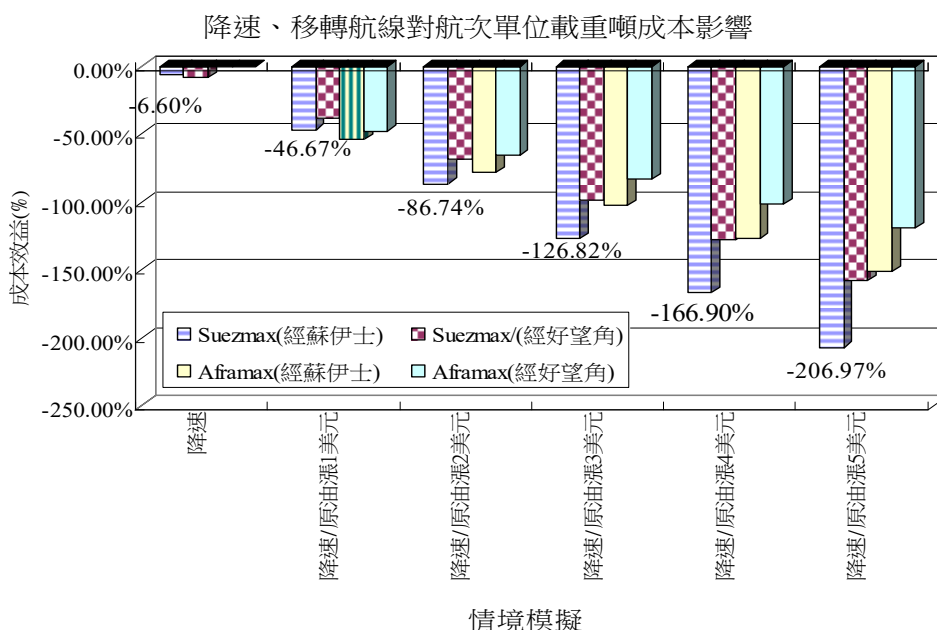


圖 6 降速、移轉航線對航次單位載重噸成本影響比較

(二) 模擬油輪滿載航程中降速、移轉航線與停航更賺錢之經營策略

情境分析模擬油輪滿載航程中降低至最具效益之船速、途中停航 30 天與原油價格上

漲每桶 1-5 美元的情境，從圖 7 可以發現，降速 (-6.59%) 與停航 30 天 (-9.41%) 對於成本效益不高，但是原油價格上漲可為備船人或原油貿易商帶來巨大的原油銷售利益，因此產生營運成本降低的效益，以蘇伊士運河極限型經蘇伊士運河航程為例，降速至 14.0 海浬/時只降低成本 6.59%，但是原油價格每桶上漲 1 美元則可降低成本 49.48%，如果原油價格每桶上漲 5 美元時則可降低成本 167.71%，降低船速雖然燃油消耗量減少，但是停航與降速卻延長航行時間也增加租金支出，所以其降低成本 (-9.41%) 的效益不顯著，但是如果到港前原油價格上漲，在降速與原油價格上漲，綜合兩者的效益情況下，勢必為備船人或原油貿易商帶來獲利大增。

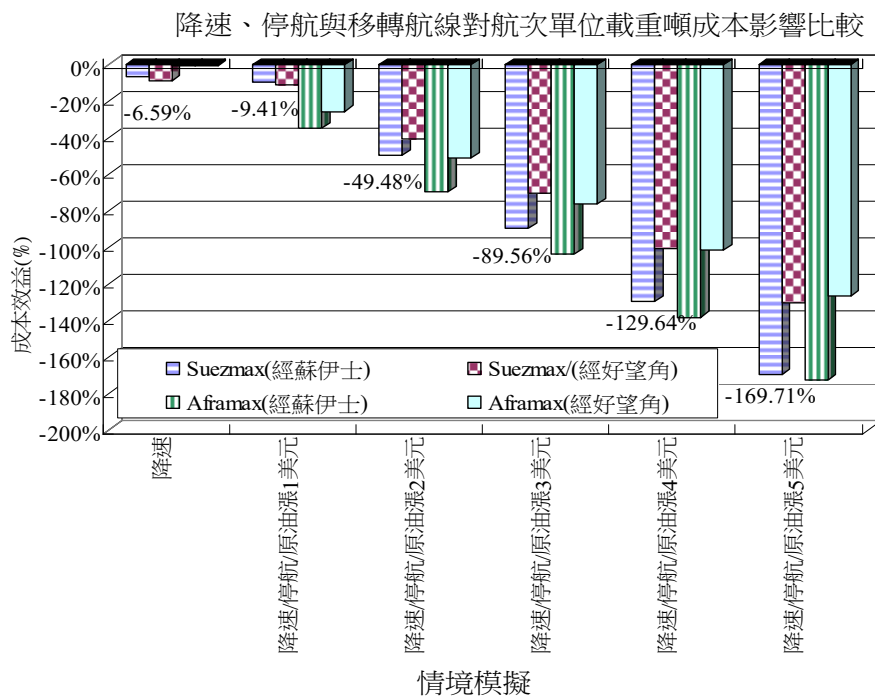


圖 7 降速、停航與移轉航線對航次單位載重噸成本影響比較

依據以上驗證，油價處於低價逐漸上漲期間，備船人或原油貿易商延遲交貨比較有利可圖，但是當備船人或原油貿易商出清所有運送中掌握的原油，油輪供給反而變得更多，導致原油運價（租金市場）反而下跌，顯示油輪船噸之供給，遠高於需求的問題嚴重。

4.6 油輪滿載延宕航程期待油價上漲賺取原油販售差價之可能性

為了解油價上漲賺取原油販售差價之可能性，係評估油價漲跌之機率分配模式分析，由表 8 檢驗 1998 至 2017 年之月、季與半年油價漲跌之最佳機率分配模型，經比較 A-D 值

Chi-square 值與 KS 值後，Student's t 為最適機率分配，而油價漲跌之 Student's t 機率分配，其偏態係數 (SK<0) 為負值，呈現左偏 (負偏)，意味著在機率密度函數左側的尾部比右側的長，絕大多數的油價漲跌 (包括中位數在內) 位於平均值 (0.63-0.97 間) 的右側。而峰態係數 CK 值都大於 3 較常態峰態為高，呈現高狹峰型態，亦即油價漲跌集中於眾數所在位置，分散於兩側的分數少。

表 8 油價漲跌最適機率分配模式之配適度

資料別	最佳機率分配	A-D 值	Chi-square 值	KS 值	偏態	峰態	平均值
月	Student's t distribution	1.68*	36.86	0.06*	-1.19	7.02	0.97
季	Student's t distribution	2.48*	23.89	0.07*	-2.02	11.1	0.87
半年	Student's t distribution	1.48*	19.74*	0.07*	-2.20	11.36	0.63

備註：*檢驗值最小代表，代表機率分配模式有最佳配適度。

由圖 8-1、8-2、8-3 觀察 1998 至 2017 年之月、季與半年油價上漲機率達 65%以上，遠高於下跌機率的 35%，而整體平均上漲幅度分別為月每桶上漲 0.97 美元、季每桶上漲 0.87 美月及半年每桶上漲 0.63 美元，油價的漲跌範圍以月波動最劇烈，從每桶上漲 14 美元至下跌 27 美元，雖然波動幅度大也意味者原油市場具有高風險，但是相對如果能掌握良好時機亦可能得到高報酬。

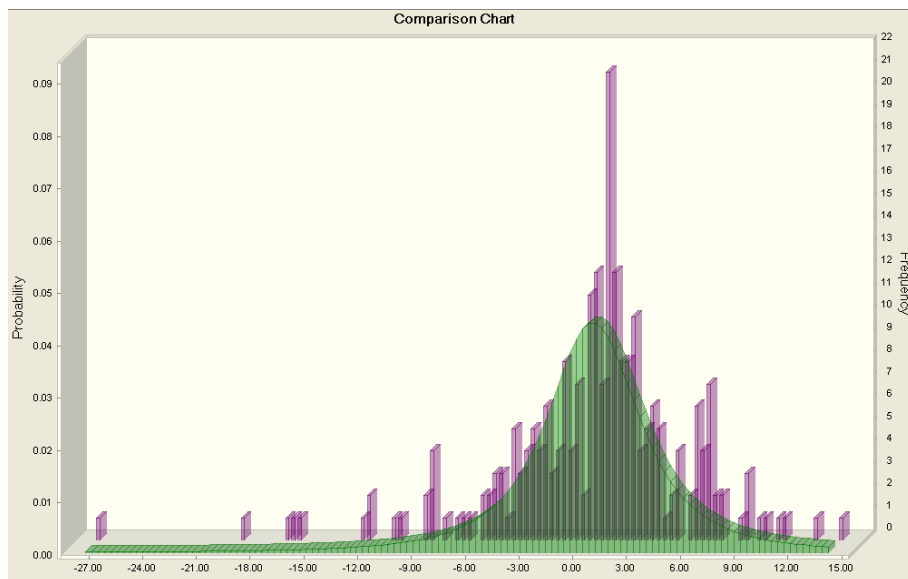


圖 8-1 1998-2017 年月平均油價之漲跌機率分配模式

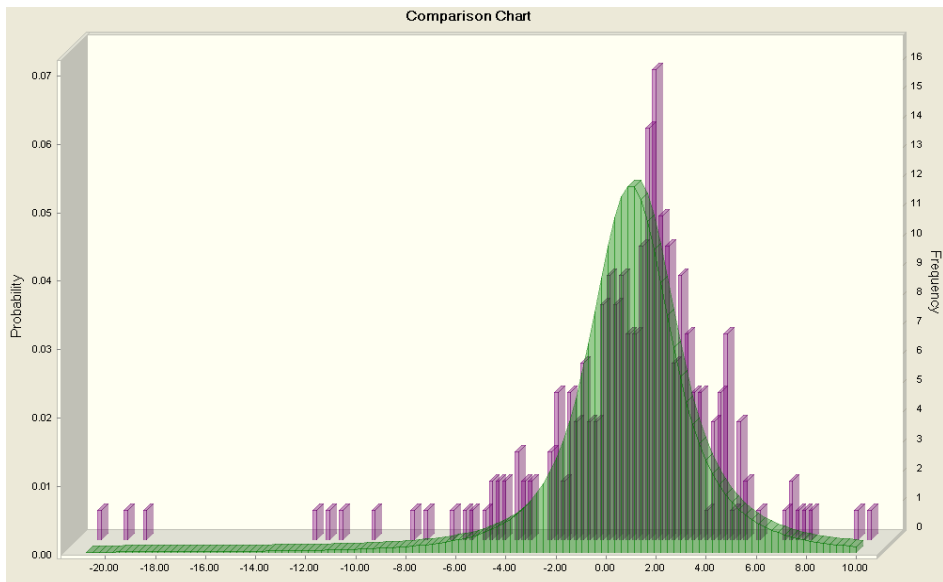


圖 8-2 1998-2017 年季平均油價之漲跌機率分配模式

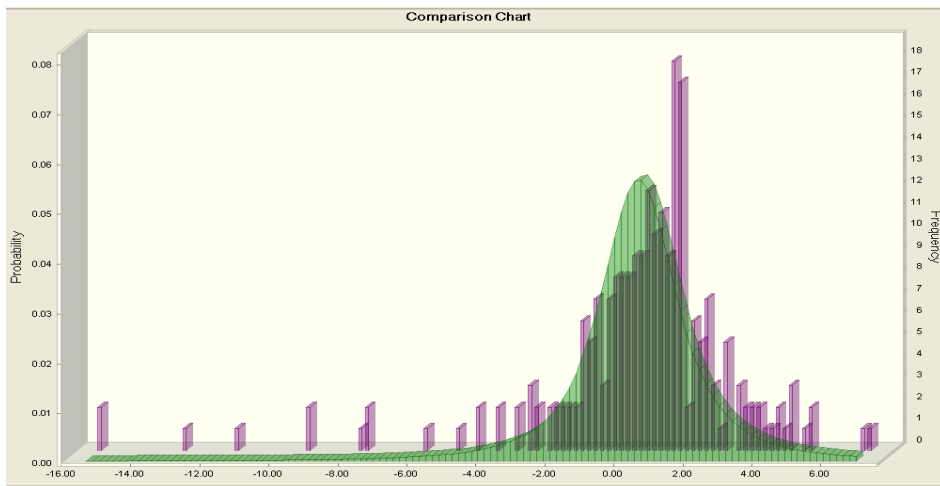


圖 8-3 1998-2017 年半年平均油價之漲跌機率分配模式

由以上油價漲跌機率分配模式評估，油價上漲機率遠高於下跌機率，傭船人或原油貿易商如果能掌握原油市場適當的時機，要獲得較高的報酬是一個可行的策略，而無論是降速、繞路或停航等方式只是延宕航程的方法。

4.7 小結

實證結果驗證降速、停航與移轉航線的策略規劃，都是為了以時間換取原油價格上漲

的空間，備船人或原油貿易商從油價的波動中，掌握良好的出售時機賺取利潤。在 1998 至 2009 年間原油價格由低點 11.35 美元/桶上漲至 2008 年歷史高點的 133.88 美元/桶，但是油輪運費指數的高點出現在 2004 年的 3050 點；在 2009 至 2018 年間原油價格由歷史高點下跌至 30.32 美元/桶，然後再回升至近期 (2018 年) 的 63.7 美元/桶，油輪運費指數卻在 485 點至 1126 點低檔間上下震盪，2016 年的原油價格由 2 月的每桶 30.32 元低點反轉上漲，而儲存於海上油輪的原油被大量釋出，運輸供給大量增加的影響，雖然原油價格上漲拉高燃油成本，但是在原油運輸供過於求的狀況下，2016 年的油輪平均每日盈餘約為 17,917 美元，與 2015 年相比下降了 42% (UNCTAD, 2017) ^[21]，究其原因實為原油價格上漲，用於海上儲存原油的油輪被釋出、新造油輪陸續下水營運及高油價影響購買者的意願，造成原油海上運輸量供給的船噸數大於實際需求的船噸數所導致的結果。

五、結論與建議

5.1 結論

油輪在海運市場的功能由暫時性原油運輸增加了短期海上原油儲存，改變油輪市場供需狀況，特別是在海運市場短期間供給量無法增加情況下，基於原油運輸與儲存的油輪需求下，勢必引起油輪運價市場的波動，尤其當油輪突然需要增加，供需不平衡將引發運價上漲，特別當原油油價低迷，原油將被大量儲存於海上的油輪之際，研究顯示的訊息將可作為判斷油輪運價上漲的重要決策因素。為釐清其中原油價格、油輪運價與燃油價格三者間的關係，本文經實證分析結果驗證如下：

1. 經由交叉相關與 Granger 因果關係檢定原油價格、油輪運價與燃油價格三者間的關係，發現油輪運價與燃油價格間相關係數呈現中度負相關，代表油輪運價不會因為燃料成本增加而調漲運費；原油價格與燃油價格則呈現高度正相關，代表燃料成本會緊隨著原油價格上漲反應至燃油價格；原油價格與油輪運價呈現中度負相關，代表原油價格上漲運輸需求反而降低，原油價格下跌時因為搶購低價原油的運輸與儲存需求增加，導引運價上漲。
2. 研究發現運送過程中放慢船速或繞遠路而行，對於降低成本的效益不佳，主要是因為延長航行距離導致租金增加，不利營運成本降低，所以油輪租賃者考慮的因素主要在期待原油上漲時，可在原油現貨市場出售好價格，以增加其獲利。
3. 模擬 1998 至 2017 年之月、季與半年油價漲跌的最佳機率分配，顯示購進原油隔月上漲機率達 61.8% 以上，遠高於下跌機率的 38.2%，季與半年油價上漲機率也顯示有類似情形，而從漲跌幅度則以月的波動最劇烈，這意味著油輪租賃業者可以從降速、移轉航線與停航等方式，進而獲取每桶上漲 14 美元的暴利或是招致至每桶下跌 27 美元的巨大虧損，此驗證追求高報酬的同時，也存在高風險，但是油輪租賃業者在研究期間因為油價上漲機率高，如果能掌握低油價的良好時機，則可能得到不錯的報酬回饋。

整體而言，在原油價劇烈波動期間，原油價低時傭船人會讓原油先儲存在海上油輪船艙內，一旦原油價格上漲就賣出獲取高額利潤，並將原油運交買家，傭船人然後釋出租賃的油輪，回歸市場進行原油運送，這就是造成油輪運輸供需不平衡的主因。另外當原油價上漲至高點時，油商不再期待原油上漲，亦不再將原油儲存於海上，油輪運輸市場恢復正常，這也是原油價格拉扯原油海運運價的主因，亦代表原油本身的市場供需特性，遠遠地影響油輪運輸市場的一切，這是個完全的衍生性需求市場。

5.2 建議

油輪海運經營者（船東或長期傭船人）可依原油價格高低，採取適宜的經營策略，例如當油價低迷時，租賃人競相逢低買入原油並儲存於海上時，可以高於市場行情的短租費率出租油輪；當油價高漲時則可以低於市場行情之費率長期出租油輪，規避未來市場變動的風險，以確保公司的穩定獲利。

參考文獻

1. U.S. Energy Information Administration, "World Oil Transit Chokepoints", https://www.eia.gov/beta/international/analysis_includes/special_topics/World_Oil_Transit_Chokepoints/wotc.pdf, 2018.
2. British Broadcasting Corporation, "Why Are More and More Oil Ships Anchoring off Singapore ?", <http://www.bbc.com/future/story/20160628-why-are-more-and-more-oil-ships-anchoring-off-singapore>, 2018.
3. 財經新報，「油輪完工下水時油國減產,航運業雙重打擊」，<http://finance.technews.tw/2018/02/01/opec-s-oil-cuts-claim-a-victim-as-supertanker-earnings-tumble/>, 2018.
4. Institute of Shipping Economics and Logistic, *Shipping Statistics and Market Review* 2018, Vol. 62, No.3, Bremen, Germany, 2018.
5. Alizadeh, A. H. and Nomikos, N. K., "Cost of Carry, Causality and Arbitrage between Oil Futures and Tanker Freight Markets", *Transportation Research Part E*, Vol. 40, 2004, pp. 297-316.
6. Poulakidas, A. and Joutz, F., "Exploring the Link Between Oil Prices and Tanker Rates", *Maritime Policy & Management*, Vol. 36, Issue 3, 2009, pp. 215-233.
7. Sun, X. L., Tang, L., Yang, Y. Y., Wu, D. S., and, Li, J. P., Identifying the Dynamic Relationship between Tanker Freight Rates and Oil Prices: In the Perspective of Multiscale Relevance", *Economic Modeling*, Vol. 42, 2014, pp. 287-295.
8. Abouarghoub, W., Biefang-Frisancho Mariscal, I., and Howells, P., "Dynamic Earnings within Tanker Markets: An Investigation of Exogenous and Endogenous Structure Breaks", *American International Journal of Contemporary Research*, Vol. 2, No. 1, 2012, pp. 132-147.
9. Glen, D. R. and Martin, B.T., "A Survey of the Modeling of Dry Bulk and Tanker Markets",

Research in Transportation Economics, Vol. 12, 2005, pp. 19-64.

10. 謝幼屏，高雄港貨櫃航線轉運成本分析之研究（2/2），交通部運輸研究所，臺北，民國 94 年。
11. 李選士、林彬、陳彥宏、鍾政棋、翁順泰 郭俊良、鍾添泉、吳珮琪、吳建興，「海運安全整體研析及管理策略研究」，交通部航政司委託研究報告，民國 104 年。
12. 國際海事訊息網，「海盜活動推高貿易商品價格」，http://www.simic.net.cn/information_products_show.php?eid=53&lan=cn，2018.
13. 謝邦昌，**Microsoft SQL Server 2005 Data Mining 演算法–Time Series**，中華資料採礦協會，新北市，民國 94 年。
14. Granger, C. W. J., “Investigating Causal Relation by Econometric Model and Cross-Spectral Method”, *Econometric*, Vol. 36, 1969, pp. 424-438.
15. Stopford, M., *Maritime Economics*, Third Edition, Rout Ledge, London and New York, 2009.
16. Chang, C. C. and Wang, C. M., “Evaluating the Effects of Speed Reduce for Shipping Costs and CO2 Emission”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 31, 2014, pp. 110-115.
17. 張靜之、王志敏，「徵收碳稅對船舶減速與營運成本間之影響評估」，**運輸計劃季刊**，第 39 卷，第 4 期，民國 99 年，頁 441-460。
18. 林光、張志清，**航業經營與管理**，第 8 版，航貿文化事業有限公司，臺北，民國 103 年。
19. 張有恆，**運輸經濟學**，第 3 版，華泰文化，臺北，民國 100 年。
20. Caney, R. W. and Reynolds, J. E., *Reeds Marine Distance Tables*, 10th edition, Consortium Book Sales & Dist, London, 2008.
21. United Nations Conference on Trade and Development, *Review of Maritime Transport 2017*, UNCTAD secretariat, New York and Geneva, 2017.

