

# 航路選擇評估模式：以北極航線為例<sup>①</sup>

## Evaluation Model of Shipping Route Selection: A Case of Arctic Route

王志敏 (Chih-Min Wang)<sup>②\*</sup>、徐文華 (Wen-Hwa Shyu)<sup>③</sup>、呂威祥 (Wee-Siang Lu)<sup>④</sup>、  
張秉濬 (Bing-Jun Zhang)<sup>⑤</sup>、田宛芸 (Wan-Yun Tien)<sup>⑥</sup>、鄭瑜文 (Yu-Wen Cheng)<sup>⑦</sup>

### 摘要

**本**研究建構航路選擇的成本評估模擬模式，進行歐亞洲間替代航運路線的有效性估算。以巴拿馬型油輪為案例分析發現，通過選擇經北極航線來替代傳統蘇伊士運河航線的貨物運送，對於降低油耗和成本是最有效的。但其效果取決於許多因素，包括：北極型船舶的建造成本高（租金費率高），船速減慢所引起的時間延遲，額外的破冰服務費用。模擬結果發現燃料價格和租船費率變動將導致航程成本產生，當燃油價格低於每公噸 275 美元，而且船舶租金費率處於低點時，經由蘇伊士運河的傳統航線之航次成本將低於北冰洋航線。此外，北極型船舶的高租金費率，亦將導致航次成本增加。因此，選擇北極航線來實現提高船舶運營績效，降低成本的目標是有困難。

**關鍵字：**航路選擇、動態評估模式、北極航線

### Abstract

The paper evaluates the effectiveness of alternative shipping route between

<sup>①</sup> 本篇論文參加由國立臺灣海洋大學、中華航運學會、中華海運研究協會主辦 2017 年大專院校航運專題創新競賽獲得第一名。

<sup>②\*</sup> 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；E-mail: wang8200@mail.cjcu.edu.tw。

<sup>③</sup> 長榮大學航運管理學系副教授；E-mail: shyu@mail.cjcu.edu.tw。

<sup>④</sup> 長榮大學航運管理學系三年級學生；E-mail: siang919@hotmail.com。

<sup>⑤</sup> 長榮大學航運管理學系三年級學生；E-mail: H54463125@mailst.cjcu.edu.tw。

<sup>⑥</sup> 長榮大學航運管理學系三年級學生；E-mail: wd851015@gmail.com。

<sup>⑦</sup> 長榮大學航運管理學系三年級學生；E-mail: ci854826@yahoo.con.tw。

Asia and Europe, based on a newly developed evaluation of simulation model to calculate costs. The case study of Panama oil tanker and found the selection of altering the shipping route from traditional route via the Suez Canal to Arctic Ocean via the Northern Sea Route is most effective in cutting fuel consumption and costs. But the effectiveness depend many factors, including: higher building costs for ice-classed ships (as higher charter rate), time delayed by slower speeds and charge for extra ice breaker service. The result of simulation found fuel price and charter rate to derive different scenarios for voyage costs. When the fuel price less than 275 USD per metric tonne and charter rate was low level, the voyage costs of traditional route via the Suez Canal is lowing than Arctic Ocean via the Northern Sea Route. In addition a high charter rate of ice-classed ships leading to increase in voyage cost per trip. Therefore, the goals of cost down in selection the Arctic Ocean via the Northern Sea Route to improve their performance is difficult to be achieved through altering shipping route.

**Keywords:** Shipping route selection, Dynamic evaluation model, Arctic route

## 壹、前言

北極因氣候變遷造成溫度上升，冰層逐漸融化而冰區覆蓋範圍也縮小，因此在夏季，船舶可航行穿越北極海的航道，另外近幾年海運市場由於船噸供過求，也威脅海運公司營運，在競爭激烈的經營困境下，海運公司必須尋找新的藍海航線才有機會開創價值，確保能夠達到永續經營的目標。中國中遠集團「永盛」輪自 2013 年至今已往返北極航線三次；俄羅斯亞馬爾 (Yamal) 公司 LNG 運輸船 Christophe de Margerie 於 2017 年 8 月完成第一艘經北極航線航行 15 天抵達韓國的保寧市 LNG 卸

站卸載。日本商船三井公司破冰型液化天然氣 (LNG) 油輪從北極圈內的俄羅斯亞馬爾半島經由北極航線東北航道航行，7 月 17 日抵達中國江蘇省南通市如東的港口靠岸。現代商船也宣佈將於 2020 年試運營釜山至鹿特丹僅需 14 天的北極航線定期貨櫃航線。依據俄羅斯統計 2016 年北極航線通航數據，在 2016 年經由北極航線航行的船舶共 297 艘，總通航次數為 1,705 次，共運輸貨物 726.6 萬噸，比 2015 年增加 35%，而分析其詳細數據資料顯示如表 1，通航船舶噸位以 5,000 至 50,000 噸間船舶較多，船舶種類則以雜貨船與其他類船舶為主 (76%)，其中船舶冰

表 1 2016 年北極航線通航數據

數據名稱	類別內容			
船舶噸位	0 ~ 5,000 噸 (128 艘)		5,001 ~ 50,000 噸 (169 艘)	
船舶類型	雜貨船 (91 艘)	油輪 (45 艘)	科考船 (27 艘)	拖船 (27 艘)
冰級	無冰級 (50 艘)	冰級 Ice 1 至 Ice 3 (66 艘)	冰級 Arc 4 至 Arc 7 (165 艘)	破冰船 (16 艘)
通航時間	夏季 (7 月 ~ 11 月)(1,211 次)		冬季 (12 月 ~ 6 月)(494 次)	
通航類型	過境通行 (19 次)		俄羅斯港口通航數 (1,570 次)	

資料來源：天津市航海學會 2017 年第 05 期水運經濟信息簡訊。

級證書有 50 艘船舶沒有證書，其他 247 艘分屬不同冰級證書，通航類型則有 99% 是由俄羅斯港口出發，而過境只有 1%，亦代表目前聯通歐亞的北極航道使用率不高。雖然航線縮短可節省成本和時間，成為聚焦的重點，但破冰設備價格昂貴，僅夏季可行駛，其他時間必需行駛南方航線不符效益。

本研究為釐清北極航線成本效益，選擇以油輪行駛北極航線為例進行分析，其理由如下：(1) 現行的北極航線有吃水限制，北極航線因為航路有淺灘，吃水限制在 12.8 m 以下，而 48,000 dwt 油輪滿載吃水不超過 12.0 m。(2) 船舶裝載貨物性質不能選擇在低溫下會發生變化損壞或可能帶給船舶嚴重的影響，而原油不受低溫影響是最可行的運輸貨物。(3) 東北亞主要進口原油之國家包括中國大陸、日本、臺灣及韓國，其中，中國大陸近年原油需求占全球總量的五分之一，北極油輪航線極可能是北海原油輸往東北亞的最佳選擇。

研究將聚焦在以下主題：

1. 建構具可信度的選擇航線之評估模式方式，釐清航線其成本利益。

2. 以北極航道為例，模擬北極航道與經蘇伊士運河成本之外部之環境經濟因數影響效應，並進行情境分析。
3. 依據船舶實際數據套入建構模式，進行海運產業經營北極航線可行性評估。

## 貳、文獻回顧

### 2.1 北極航線的發展

Raza and Schøyen (2014) 通過液化天然氣運輸船個案研究，發現航行於北歐和東北亞之間的港口，有另一種航線選擇（詳如圖 1），經由白令海峽沿俄羅斯北極沿岸至東北歐之北極航線可以替代原先的經蘇伊士運河的航線，並且縮短了 50%（約 20 天）的航行時間與航行距離，對於降低經由蘇伊士運河的成本效率潛力達到 42% 水準，實證發現由挪威至日本的北極航線，在液化天然氣運輸船全程可節省 470 萬美元。這個低成本的海運運輸航線可以吸引海運產業積極參與必要的投資。俄羅斯亞馬爾 (Yamal) 公司的 LNG 運輸



圖 1 北極航線示意圖

船“Christophe de Margerie”在 2017 年 8 月成第一艘經北極航線在 15 天後抵達韓國的保寧市 LNG 卸站卸載。現代商船也於 2017 年 8 月宣佈將開闢釜山至鹿特丹的北極定期貨櫃航線，可在 14 天內將亞洲貨物運抵歐洲，而且預計將於 2020 年開始試運營。但是亦有學者與媒體發表不同的看法，例如壽建敏、馮遠(2015)研究北極航線的經濟性，發現在目前北極航道的天候與浮冰的環境下，船舶航行時間節約不多，航次成本節約也只有 10% 左右，燃油成本節約較大達 35%。Lindstad et al. (2016) 研究顯示北極航線具有低成本的優勢，但在減緩船舶的溫室氣體排放，因為航行的船舶使用高污染的燃料，所以船舶排放的溫室氣體排放並沒有因航程縮短而減輕對北極海域環境生態的衝擊，另外考量船舶航行冰區風險增加的前提下，

北極航道仍不具備經濟性的海洋運輸條件(壽建敏、馮遠，2015)。IFUUN.com (2017) 報導日本「軍事研究」五月份月刊，日本軍事專家文谷數重的文章提醒《北極開發熱潮只是一種幻想》，日本開發北極航線和北極圈資源，不符合國家利益，雖然北極航線減少航行天數與燃料，增加船舶運轉能力，降低運輸成本，但是存在三個不利因素，第一個因素是因船舶載重噸位及吃水受到限制，缺乏規模經濟優勢；第二個因素是氣候海象影響，無法全年通航，僅限夏季可航行，條件不利於穩定航線長久發展；第三個因素是北極航線的運輸距離縮短之優勢，東北亞至北歐港口間的貨物運送受到限制。另外俄羅斯規定使用北極航道強制收取高額破冰和導航服務費用，也增加海運業者開航北極航線的成本負擔。

另外過去研究所採用的船舶投資成本係為單一的船舶建造成本，其僅代表性是否足夠尚須觀察，基於各海運公司建造成本皆不相同，在不同時期船舶建造的差價可高達數倍，為解決此疑慮，本研究參考 Stopford (2009) 提到論時備船租金 (time charter rate) 依例涵蓋固定成本，選擇從備船人的角色，以租金代表固定成本再加上變動成本，雖然無法涵蓋全部有形與無形成本，但本研究油輪論時備船租金是來自具公信力的 Clarksons Research 數據庫，因此實證結果亦較能為海運企業所認同。

## 2.2 影響北極航線發展的因素

Liu and Kronbak (2010) 以 4,300 teu 貨櫃輪進行案例研究，比較經由蘇伊士運河以及經由北極航線其獲得的利潤，發現影響兩者航線利潤的差異有三個因素：通航時間、俄羅斯的領航費用和燃料價格；在模擬成本的變動中，發現俄羅斯的冰區領航費用如果保持現在的水準，北極航線在經濟上是不可行的，如果領航費用降低或是免費，北極航線就具有優異條件與蘇伊士運河競爭。Raza and Schøyen (2014) 在研究以北極航線替代蘇伊士運河的個案分析中，也確認租金價格是運輸成本中最重

要也是影響最大的因素，保險費用似乎影響相對較小。

### 1. 天候地理環境的影響

圖 2 顯示北極航線其航行依浮冰狀況可分為非冰區、冰區非領航區域與冰區領航區域三部分，表 2 為錢作勤等人 (2015) 研究分析，北極可通行時間大約為每年 5 月～10 月，依據浮冰密集情形可允許的船舶航行速率與領航範圍皆不同，特別是 5 月～6 月浮冰密集度高，必須將速率降至 7～8 節，避免船舶碰撞浮冰危害船舶，而 9 月浮冰覆蓋範圍縮小，船舶速率可提升至 14～15 節。

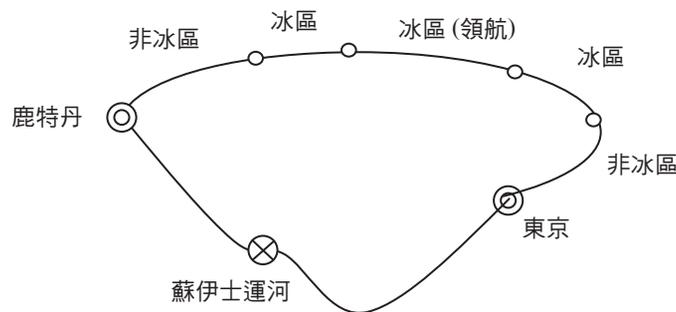


圖 2 東京至鹿特丹之北極航線與經蘇伊士運河航線圖

表 2 東京至鹿特丹經北極航線可航行月份與航線距離

月份	冰區			非冰區	合計
	領航距離	船速 (海浬 / 時)	非領航距離		
5 月	1,541	7	1,008	4,651	7,200 海浬
6 月	1,541	8	793	4,866	
7 月	1,541	10	194	5,465	
8 月	1,541	11	66	5,593	
9 月	1,541	14 ~ 15	0	5,659	
10 月	1,541	9	412	5,247	

資料來源：錢作勤等人 (2015)。

## 2. 船舶限制與貨物選擇

北極航線因為航線附近有淺灘，船舶可航行的吃水限制在 12.8 m 以下；而從船舶裝載貨物類型分類，可以通過淺灘 (Arctic Council, 2005) 的貨櫃船約為 3,000 ~ 4,000 TEU 或者 6.7 萬載重噸的散貨船。船舶航行中因船體經常碰撞浮冰，依據 IMO 相關要求，航行極地的船舶需經檢驗符合「極地規則」，並獲得所屬船級協會簽發冰級船舶 (ice-classed) 證書。

此外船舶裝載貨物性質不能選擇在低溫下會發生變化損壞或可能帶給船舶嚴重的影響，例如船舶運載含水分的礦物，因低溫導致貨物結冰體積增大破壞船體結構，或是低溫導致貨物結冰變質。

## 3. 冰級加強型船舶造船成本的影響

錢作勤等人 (2015) 研究冰區適航的冰級加強型船舶價格較同類型或同噸位的普通船舶高約 20%。壽建敏、馮遠 (2015) 研究提到航行北極船舶的改裝，可以普通

船型為基礎，在船體增加鋼板厚度，加強主機馬力，以及相關的除冰抗冷設備，因此造價將增加 15%。另外冰級船舶因為加強船體鐵板厚度與增加設備，其總噸位較普通船舶重，且馬力輸出也較大，耗油量將增加約 10% ~ 20%，彙整普通船舶與冰級加強型船舶成本比較如表 3。

從以上學者的研究，彙集並探討影響北極航線的發展因素、影響船舶成本因素或是普通船舶與冰級加強型船舶成本的比較，對於本研究在建構評估模式及模擬各種影響因素變動對成本衝擊時，都可提供良好的參考資訊。

## 參、研究方法

Stopford (2009) 分析船舶成本，以資本成本、航次成本、營運成本、定期維護成本為主，而分析散裝船舶經營成本詳細項目如表 4，依費用屬性又可分為其

表 3 普通船舶與冰級加強型船舶成本比較

成本項目	船型種類	普通船舶 (蘇伊士運河航線)	冰級加強型船舶 (北極航道航線)
船舶投資成本		◎	◎ (較高)
主輔機燃油消耗		◎	◎ (較高)
船員薪資		◎	◎
船舶備品及消耗品費用		◎	◎
保險費		◎ (海盜險及一般保險)	◎ (冰區險及一般保險)
維修管理費與港口費		◎	◎
運河費		◎	無
破冰引航費		無	◎

資料來源：錢作勤等人 (2015)、壽建敏、馮遠 (2015)。

表 4 散裝船舶經營成本分析

屬性	分類	內容	比率
固定成本	資本成本	船舶購置費用及貸款利息	42%
	營運成本	人力成本、潤滑油與食物等庫存費用、例行維修和保養費用、保險費用、行政管理費用、一般規費、註冊費與雜支費用	14%
	定期維護成本	定期保養維護與零件備品	4%
變動成本	航次成本	主機與輔機燃料費用、港口費用及運河費用	40%

資料來源：Stopford (2009)。

固定成本 (Fixing Cost) 包括保險費、船員費用、船舶修理和保養費、潤滑油和淡水費、行政管理費、船舶折舊；變動成本 (Variable Cost) 包括燃料費、鍋爐用淡水、港埠費用、裝卸費用、理貨費、代理費和佣金、運河通過費、貨損賠償、雜項支出、事務費用等，整體而言資本成本 (42%) 航次成本 (40%) 為最主要的支出，特別是航線距離與船舶速度會對燃油成本與每日資本成本支出產生極大的影響效

果，因此航次成本是選擇航線的重要關鍵因素。

圖 3 為船舶成本組成分析，北極航線為維護船舶安全，遭遇浮冰時會降低船舶速度，速度減慢亦會增加航行時間，在船速、航行距離、租金等，各個因素之間的相互影響，將成為研究分析的重點。

### 3.1 建構北極航線成本模式

建構評估模式共有三個步驟，首先

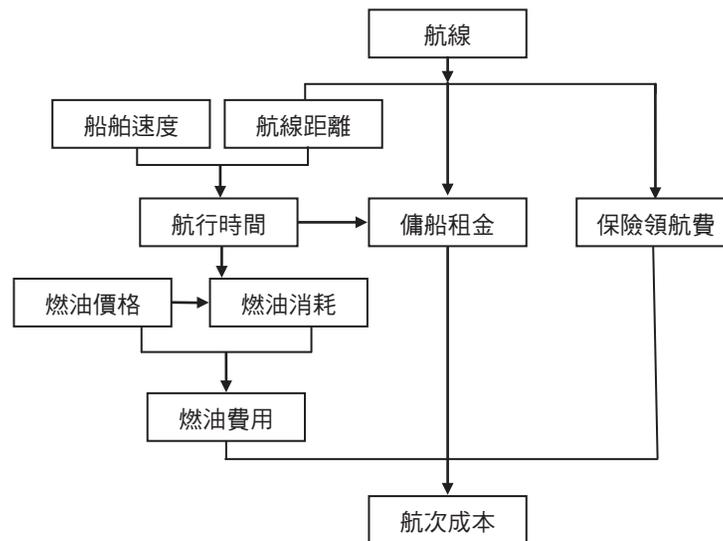


圖 3 船舶成本組成分析

建立基本航運成本函數模式，再轉換為北極航線與經蘇伊士運河航線的成本模式，最後再納入兩航線特有的成本影響變數，成為最終航線成本之評估模式。

### 1. 基本航運成本函數模式

基本航運成本函數依據表 4 與圖 3，可歸納成本函數的變數是燃油價格、租金水準和航行時間，其中因為船舶建造價格因船東對規格要求不一，及國際造船市場的競爭變動，很難取得合理價格作為代表，故研究參考 Raza and Schøyen (2014) 等學者的做法，以備船租金代替資本成本。

$$VC = f(F^+, C^+, \frac{d^{\pm}}{v}) \quad (1)$$

其中

- VC：航次成本 (USD/航次)
- F：燃料費用 (USD/day)
- C：論時備船租金 (USD/day)
- d：航線距離 (海浬)
- v：船速 (節)

### 2. 北極航線成本模式

Pastusiak (2016) 在研究以北極航線作為船舶運輸的通道時，為了比較不同航路之支出費用，從經濟觀點建立船舶航次成本模式作為比較標準，包括燃料費用和船舶租金，因而評估模式可由式 (1) 轉換如式 (2)

$$K = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{d_i}{V_i \cdot 24} (C_H \cdot Z_i + C_i) \right] \quad (2)$$

其中

- K：一般航次成本
- $d_i$ ：一般航線  $i$  距離 (海浬)
- $V_i$ ：一般航線  $i$  船舶速度 (節)
- $C_H$ ：重油油價 (heavy fuel oil : HFO USD/tonne)
- $Z_i$ ：航線  $i$  每日重油消耗量 (tonnes/day)
- $C_i$ ：航線  $i$  論時備船租金 (USD/day)

### 3. 最終北極航線成本之評估模式

依據俄羅斯規定船舶航行北極航線之浮冰區需要收取領航費用，以及船舶行駛冰區需增加保險費用，因此式 (2) 可以改寫如式 (3)

$$K_a = \sum_{a=0}^1 \left[ \frac{d_a}{V_a \cdot 24} (C_H \cdot Z_a + C_a) + P_a + I_a \right] \quad (3)$$

其中

- $K_a$ ：北極航線航次成本
- $a$ ：北極航線 ( $a=0$  代表非冰區航線， $a=1$  代表冰區航線)
- $P_a$ ：冰區航行領航費用 (USD/航次)
- $C_a$ ：北極航線論時備船租金 (USD/day)
- $I_a$ ：北極航線保險費用 (USD/航次)

## 3.2 建構經蘇伊士運河航線之成本評估模式

為比較航線的成本差異，本研究依航

行蘇伊士運河需繳納通過的費用與經過索馬利亞海域海盜區需增加海盜風險的保險費用，將式 (2) 改寫如式 (4)

$$K_s = \sum \left[ \frac{d_s}{V_s \cdot 24} (C_H \cdot Z_s + C_s) + P_s + I_p \right] \quad (4)$$

其中

$K_s$ ：經蘇伊士運河航線航次成本

$C_s$ ：蘇伊士運河論時備船租金 (USD/day)

$P_s$ ：蘇伊士運河通過費用 (USD/航次)

$I_p$ ：航線經索馬利亞海域之海盜區保險費用 (USD/航次)

### 3.3 建構航線動態效益評估模式

為判斷船舶航線效益，將式 (3) 與式 (4) 整合成本效益動態評估模式如式 (5)，並進行模擬起訖港口距離變動的成本效益之差異評估。

$$\begin{aligned} \Delta K &= K_a - K_s \\ &= \sum \left[ \left( \frac{\frac{d_a}{V_a} - \frac{d_s}{V_s}}{24} \right) \times (C_H \cdot (Z_a - Z_s)) \right. \\ &\quad \left. + (C_a - C_s) + (P_a - P_s) + (I_a - I_p) \right] \quad (5) \end{aligned}$$

其中

$\Delta K$ ：為兩航線成本差異

$\Delta K < 0$  表示船舶採北極航線之決策具有低成本效益

$\Delta K > 0$  表示船舶應採蘇伊士運河航線之決策具有低成本效益

$\Delta K = 0$  表示船舶可採經北極航線或經蘇伊士運河航線之決策成本效益相同

## 肆、實證分析

### 4.1 資料說明

計算船舶動態效益評估使用 Clarksons Research 數據庫資料，表 5 列出油輪的租金費率和燃料價格為自 2000 年到 2017 年的最高與最低價格，燃油價格和租船費率及船舶之設計船速與耗油量，進行兩種航線的成本評估，並採取動態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。航行起訖港口為由東京至鹿特丹港，經蘇伊士運河航線距離為 11,400 海浬，北極航線距離為 7,200 海浬，包括冰區領航範圍、冰區非領航範圍與非冰區三部分。

### 4.2 計算船舶營運成本

#### 1. 北極航線船舶成本

航線成本之燃油價格以 2017 年 11 月 1 日新加坡港 IFO380 燃油每噸 364 美金、MDO 燃油每噸 535 美金，租金則以最高與最低的平均值 21,187.5 美金計

表 5 船舶與燃料價格資料

船舶種類	載重量 (DWT)	設計船速 (Knots)	每日耗油量 (M.T/day)		論時傭船租金 (USD/day)	
			主機 (IFO380)	輔機 (MDO)	最高	最低
輕便型油輪	48,000	15.0	40.3	1.1	30,500	11,875
燃油價格 (USD/ M.T)		最高	IFO380=680		MDO=1,130	
		最低	IFO380=102		MDO=148	

算。經以方程式 (3) 評估北極航線成本，結果如表 6 所示，以 9 月份成本最高 (1,507,579 美金)、5 月份 (1,457,828 美金) 次之，而以 7 月航次成本最低 (1,371,677 美金)，從組成航次成本之個別費用分析，7 月航次成本航行時間短 (22.41 天) 導致租金與保險費用較低，船速每小時 10 海浬，符合經濟速率，燃油效率良好，因而節省燃油費用，可以降低航次成本。

## 2. 經蘇伊士運河航線船舶成本

經以方程式 (4) 評估經蘇伊士運河航

線成本，船舶速度以全速每小時 15 海浬計算，由於航行距離遠，航次航程時間長 (31.27 天)，導致租金與燃油費用高，如表 7 所示，經蘇伊士運河航線成本明顯高於北極航線的航次成本。

## 3. 北極航線與經蘇伊士運河航線船舶成本比較

比較北極航線與經蘇伊士運河航線之成本，計算係以北極航線可航行月份每年 5 月~10 月為基準，航行次數皆為六次往返東京至鹿特丹，由表 8 統計資料可

表 6 北極航線可航月份航次成本分析

可航月份	船速 (海浬 / 時)	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)	保險費用 (美金 / 航次)	總成本 (美金)
5	7	28.09	59,590	637,576	672,000	88,663	1,457,828
6	8	25.67	73,417	586,320	672,000	81,028	1,412,765
7	10	22.41	111,767	517,181	672,000	70,729	1,371,677
8	11	21.62	138,995	500,517	672,000	68,246	1,379,758
9	15	20.00	306,331	466,125	672,000	63,123	1,507,579
10	9	23.62	89,906	542,753	672,000	74,538	1,379,197

資料來源：Clarkson Research 資料庫。

備註：燃油價格 2017 年 11 月 1 日新加坡 IFO380 (364 美金/噸) 與 MDO (535 美金/噸)，其他。

表 7 經蘇伊士運河航線航次成本分析

可航月份	船速 (海浬 / 時)	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)	保險費用 (美金 / 航次)	總成本 (美金)
全年	15.0	31.67	484,338	713,383	325,359	45,036	1,568,116

表 8 北極航線與經蘇伊士運河航線船舶成本比較

航線	平均航次 航行時間(天)	航行次數	合計航行時間 (天)	總成本 (美金)
北極航線	25.57	6	153.41	8,508,806
經蘇伊士運河	33.67	6	202.02	9,401,631

備註：北極航線可航行月份為每年 5~10 月。

以發現北極航線六次航行成本為 8,508,806 美金，經蘇伊士運河六次航行成本為 9,401,631 美金，顯示經營蘇伊士運河的航行成本高於北極航線約 892,825 美金，也就是經營行駛北極航線的獲利較佳。

### 4.3 動態評估船舶營運成本

#### 1. 模擬不同租金費率水準船舶行駛北極航線與經蘇伊士運河航線之成本變化

燃料價格是影響燃料成本的主要因素，因此研究模擬不同的燃料價格與租金

高低，分析各航線的成本變化，圖 4 顯示在高租金低燃料價格（低於每噸 150 美金）時，經蘇伊士運河航線航次成本最低，但當燃料價格上漲時，蘇伊士運河航線航次成本隨著燃料價格上漲，由每航次 147 萬美金急速增加至每航次 224 萬美金，北極航線除了 9 月份浮冰少、船速較快耗油量大外，其他月份航次成本穩定隨著油價上漲而微幅增加，亦即北極航線航次成本受到燃料價格上漲的衝擊較小。

圖 5 顯示在低租金低燃料價格（低於

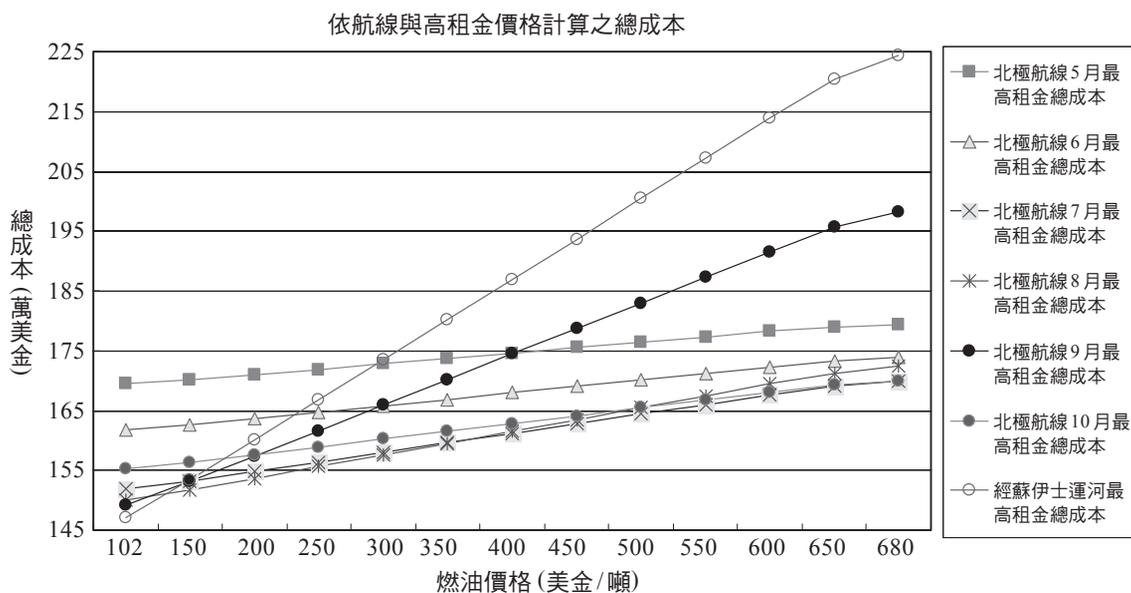


圖 4 高租金費率水準與燃油價格之航線總成本變化

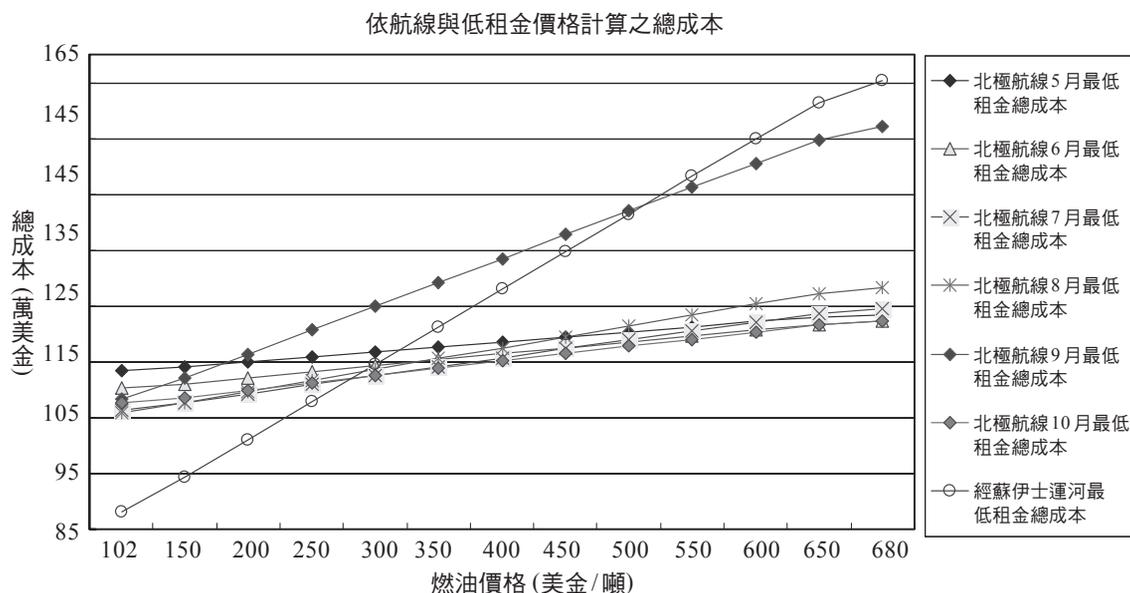


圖 5 低租金費率水準與燃油價格之航線總成本變化

每噸 275 美金) 時，經蘇伊士運河航線航次成本最低 (每航次 88 萬美金)，但當燃料價格上漲時，蘇伊士運河航線航次成本隨著燃料價格上漲，由每航次 88 萬美金急速增加至每航次 165 萬美金，北極航線除了 9 月份航次成本較高外，其他月份航次成本穩定隨著油價上漲而微幅增加，受到燃料價格上漲的衝擊較小。

## 2. 模擬不同燃料價格水準船舶行駛北極航線與經蘇伊士運河航線之成本變化

模擬燃料價格變動進行各航線的成本變化分析，圖 6 顯示在低租金低燃料價格 (低於每噸 275 美金)，蘇伊士運河航線總成本最低，當燃料價格上漲至每噸 275 美金以上時，北極航線因為航程短耗油少，燃料成本增加少因此總成本低，另外觀察

兩航線成本的趨勢線，蘇伊士運河航線成本隨著燃料價格上漲急速上升，而北極航線總成本趨勢平穩上升，代表北極航線受到燃料價格上漲的衝擊較小。

## 4.4 海運產業經營北極航線可行性評估

### 1. 模擬全年船舶行駛北極航線與經蘇伊士運河航線之航次平均成本比較

一般船舶經營績效評定是以全年營運為基準，在分析北極航線與經蘇伊士運河航線經營績效採取同樣的基準，本研究假設案例中之輕便型油輪全年運送北海原油返回東京，營運模式分為四種，第一種營運航線模式為使用一般型船舶「北極混合航線」5~10 月行駛北極航線，1 月~4 月與 11 月~12 月行駛經蘇伊士運河航

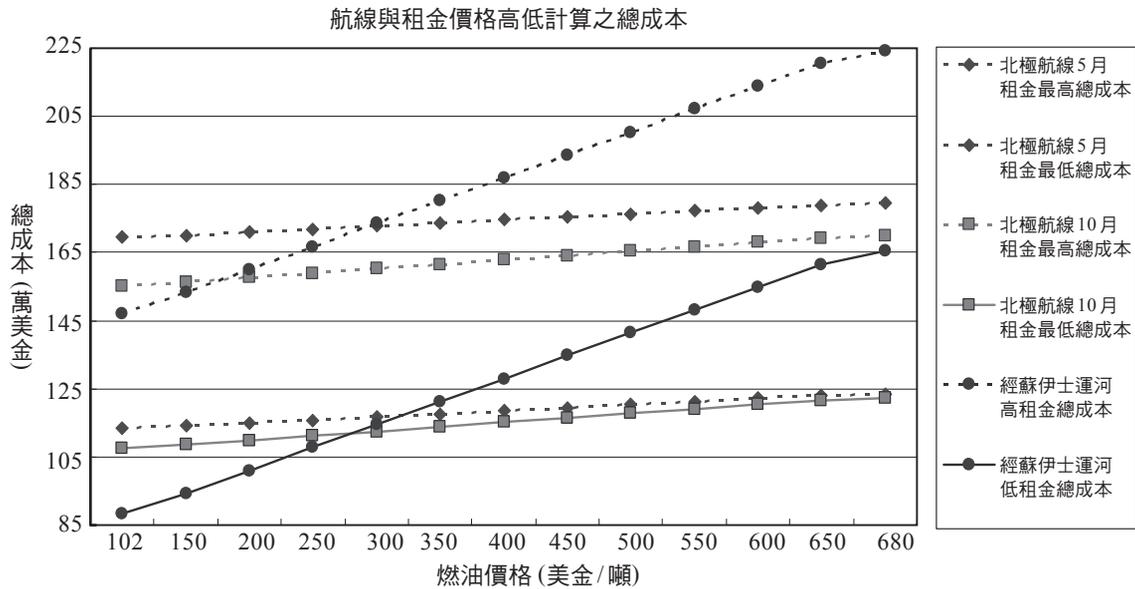


圖 6 高低租金費率水準與燃油價格之航線船速差異總成本變化

線；第二種營運航線模式為使用一般型船舶全年行駛「蘇伊士運河」單一航線；第三種營運航線模式為使用加強型冰級船舶 (ice1-ice3) 之「北極混合航線 I」，其租金與燃料費為一般型船舶的 1.1 倍，5 ~ 10 月行駛北極航線，1 月 ~ 4 月與 11 月 ~ 12 月行駛經蘇伊士運河航線；第四種營運航線模式為使用加強型冰級船舶 (arc4-arc7) 之「北極混合航線 II」，其租金與燃料費為一般型船舶的 1.2 倍，5 ~ 10 月行駛北極航線，1 月 ~ 4 月與 11 月 ~ 12 月行駛經蘇伊士運河航線。

圖 7 為四種全年營運航線模式年平均航次成本比較，第一種營運航線模式年平均航次成本為 1,469,749 美金，第二種營運航線模式年平均航次成本為 1,568,045 美金，第三種營運航線模式年平均航次成

本為 1,563,990 美金，第四種營運航線模式年平均航次成本為 1,604,151 美金。在假設四種經營模式運費收入相同的條件下，觀察全年營運航線模式以使用一般型船舶「北極混合航線」年平均航次成本最低，冰級加強型船舶「北極混合航線 I」年平均航次成本次低，一般型船舶全年行駛經蘇伊士運河單一航線年平均航次成本較高，冰級加強型船舶「北極混合航線 II」年平均航次成本最高。就經營績效而言行駛北極航線的船舶須具備極地適航證書，必須加強船體強度與抗寒設備，改造或新建需要花費較高費用，因此相對資本成本較一般船舶高，船體加強重量也增加，主機馬力輸出增加，導致燃油消耗量必定增多，上述資本成本與燃油消耗量，兩者增加的情況下，勢必航次成本大增。

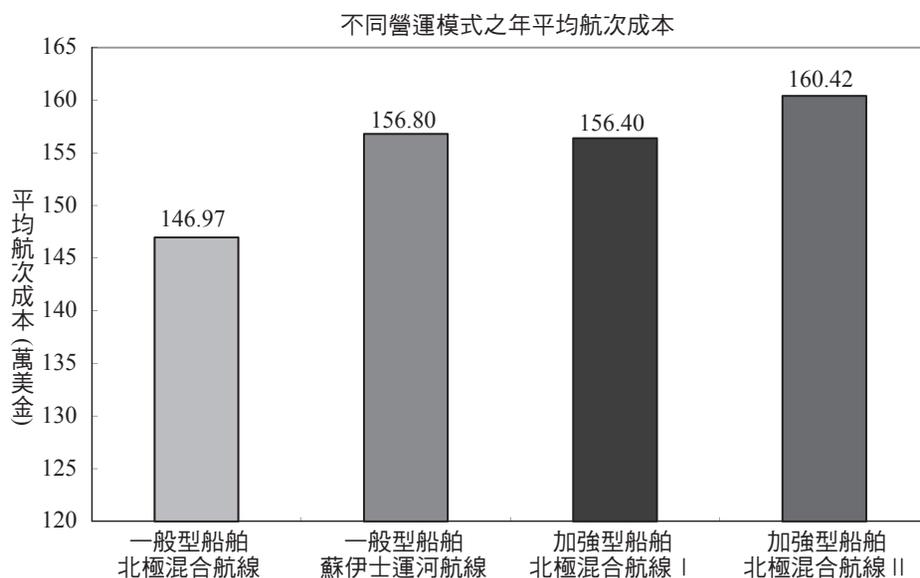


圖 7 四種全年營運航線模式年平均航次成本比較

## 2. 模擬起訖港口距離變動對船舶行駛北極航線與蘇伊士航線之航次成本比較

模擬由不同的起訖港行駛北極航線與蘇伊士航線運送貨物，從距離變動可以發現，當起運港口往南移動（代表北極航線距離增加），此時北極航線成本逐漸增加，而經蘇伊士運河航線的成本逐漸減少，當兩者相差大約 1,200 ~ 1,600 海浬時（詳如表 9），北極航線低成本的優勢就消失，亦即北極航線起訖港口距離超過 8,000 ~ 8,200 海浬以上，由東京起運之北極航線航次成本為 8,508,806 美金，移轉至由高雄港起運之北極航線航次成本變為 9,113,067 美金，而由東京起運之蘇伊士運河航線航次成本為 9,408,270 美金，移轉至由高雄港起運之蘇伊士運河航線航次成本變為 8,679,366 美金，因此選擇由高雄

港起運經蘇伊士運河航線是較適宜的航行路線。

綜合實證結果驗證北極航線的優勢主要在於航程縮短，可節省燃油消耗量與固定成本支出，但是如果加強船體或新建適於極地航行之冰級專用船舶，在固定成本支出與燃油消耗量增加的狀況，將抵消航程縮短效益，因此如果北極航線無法達到全年可通航的情況下，北極航線經營存在極大的財務風險。

## 伍、結論與建議

### 5.1 結論

本研究經由模式建構與實證分析，在模擬租金、燃油價格與起訖港口距離變

表 9 起訖港口距離變動對北極航線與蘇伊士航線船舶航次成本比較

起訖港口	經北極航線		經蘇伊士運河航線		航次成本差異 ( $\Delta K$ )
	距離 (海哩)	成本 (美金)	距離 (海哩)	成本 (美金)	$\Delta K < 0$ (北極航線具有低成本效益)
東京至鹿特丹	7,200	8,508,806	11,400	9,408,270	-899,464
	7,400	8,609,516	11,200	9,286,786	-677,270
八幡至鹿特丹	7,600	8,710,226	11,000	9,165,302	-455,076
	7,800	8,810,936	10,800	9,043,818	-232,882
上海至鹿特丹	8,000	8,911,647	10,600	8,922,334	-10,689
	8,200	8,926,326	10,400	8,800,850	125,476
高雄至鹿特丹	8,400	9,113,067	10,200	8,679,366	433,701
	8,600	9,213,777	10,000	8,557,882	655,895

資料來源：<https://sea-distances.org/>.

動，進行北極航線與經蘇伊士運河航線的航次成本，以及全年經營成本的比較，詳如以下的幾點。

### 1. 單一航次成本效益評估

由蘇伊士運河航線轉換至北極航線進行貨物運送，經由案例分析，由單一航次來進行比較，北極航線的航次成本以 7 月最低，9 月最高，如果與蘇伊士運河航線成本比較約可節省 3.8% ~ 14.2% 間，其效益不如期望的原因係由於北極航道線需要破冰領航服務，造成船舶航行速度低，需要耗費更長時間完成全程的運輸工作，且冰區領航費用也是成本增加的另一個原因，因此北極航線距離短的優勢似乎沒有發揮良好效果。

### 2. 北極航線可通航期間的航次成本效益評估

北極航線可通航期間為 5 月至 10 月，在分析中北極航線 153.41 天可完成六次東京至鹿特丹往返為成本比較標準，北極航

線的六航次成本 (8,508,806 美金) 遠比行駛蘇伊士運河的六航次成本 (9,401,631 美金) 低，可節省 10.5% 的成本支出。

### 3. 東京至鹿特丹航線之船舶年平均航次成本效益評估

在海運經營船舶營運效益評估大都以年為單位，北極航線可通航期間每年為 5 月至 10 月，而其他時間船舶將轉換至蘇伊士運河航線，可稱為北極混合航線，在比較蘇伊士運河航線單一航線與混合航線的全年營運成本，發現北極混合航線全年平均航次成本較蘇伊士運河航線單一航線全年平均航次成本低 6.69%，但是如果將冰級加強型船舶的北極混合航線全年平均航次成本納入比較，就可發現北極航線的距離短與低成本的優勢消失，因為造價高的冰級加強型船舶，不僅租金高，燃油消耗多費用也高，在假設冰級加強型船舶租金與燃料費用增加 10% ~ 20% 的情境下，冰級加強型船舶北極混合航線 I 全年平均

航次成本較蘇伊士運河航線單一航線全年平均航次成本低 4,055 美金 (0.26%)；冰級加強型船舶北極混合航線 II 全年平均航次成本較經蘇伊士運河單一航線全年平均航次成本高 36,106 美金 (2.25%)。

#### 4. 起訖港口變動為選擇北極航線的重要關鍵因素

模擬起訖港口距離變動，發現起運港由東京移轉至高雄港，北極航線距離增加，蘇伊士運河航線距離減少，比較兩者之航次成本變化，由高雄港起運經由北極航線航次成本明顯高於高雄港起運經由蘇伊士運河航線航次成本，驗證選擇適宜起訖港口才能獲得短距離且成本低的效益。

綜合上述，選擇經營北極航線獲取成本低高利潤的收益，需專注在三個重要焦點，第一慎選北極航線之起訖港口；第二冰級加強型船舶需要降低其造船成本；第三加強科技的利用減少燃油的消耗，在達到上述的條件下，相信北極航線才能確保公司的永續經營，發揮北極航線的運輸效益。

## 5.2 建議

1. 由於研究僅以巴拿馬型油輪為對象，因而在此限制下，未來研究可擴展至其他海運運輸模式，根據不同類型船舶（貨櫃與散裝運輸）之異質化特性進行分析。
2. 未來研究可針對船舶航行北極區域之氣候環境影響進行風險探討，提供船舶航

行北極區域應採取的風險管理，可以降低船舶意外事故發生的機率。

3. 未來可預期北極航線將有更多的船舶往來，船舶所排放的污染勢必增加，勢必衝擊北極海域環境 (ACIA, 2005)，因此如何制定與執行相關的規定，減輕污染的危害環境生態，也是值得探討研究的議題。

## 參考文獻

- 壽建敏、馮遠，2015，基於航運成本的北極東北航道集裝箱運輸潛力研究，*極地研究*，第 27 卷，第 1 期。
- 錢作勤、徐立、嚴新平、程君林、張凌傑、姚志敏，2015，北極東北航道通航策略及經濟性研究，*極地研究*，第 27 卷，第 2 期，203-211。
- IFUUN.com, 2017，刊警告日本別蹚北極渾水：北極航線還不如中歐鐵路划算，<http://www.ifuun.com/a20175202314026/>，2017 年 11 月 1 日。
- ACIA, 2005, Arctic Climate Impact Assessment (ACIA), Cambridge University Press. ISBN 13 978-0-521- 86509.
- Arctic Council, Arctic Marine Shipping Assessment, 2009 Report, pp. 18-26.
- Lindstad, H., Bright, R. and Strømman, A., 2016. Economic savings linked to future Arctic shipping trade are at odds with climate

change mitigation. *Transport Policy*, 45, 24-30. DOI: 10.1016/j.tranpol.2015.09.002

Liu, M. and Kronbak, J., 2010. The potential economic viability of using the Northern Sea Route (NSR) as an alternative route between Asia and Europe. *Journal of Transport Geography*, 18(3), 434-444.

Pastusiak, T., 2016. *Northern Sea Route as a Shipping Lane: Expectations and Reality*, Springer International Publishing: Switzerland.

Raza, Z. and Schøyen, H., 2014. The commercial potential for LNG shipping between Europe and Asia via the Northern Sea Route. *Journal of Maritime Research*, 11(2), 67-79.

Stopford, M., 2009. *Maritime Economics*, Third Edition, Routledge: London.

