

# AIS 於海域空間規劃及離岸風場開發航行風險評估之應用研究

## AIS Application in the Navigational Risk Assessment for Maritime Spatial Planning and Offshore Wind Farm Development

\*張淑淨<sup>1</sup>、葉冠宏<sup>1</sup>、連永順<sup>2</sup>、胡斯遠<sup>2</sup>、張時銘<sup>1</sup>、彭冠敦<sup>1</sup>、任奕翰<sup>1</sup>

<sup>1</sup>國立台灣海洋大學通訊與導航工程學系

<sup>2</sup>工業技術研究院綠能與環境研究所

\*Shwu-Jing Chang<sup>1</sup>, Kuan-Hung Yeh<sup>1</sup>, Yung-Shun Lien<sup>2</sup>, Ssu-yuan Hu<sup>2</sup>,  
Shih-Ming Chang<sup>1</sup>, Guan-Dun Peng<sup>1</sup>, Ren-Yi Han<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Communications, Navigation and Control Engineering, National Taiwan Ocean University

<sup>2</sup>Green Energy and Environment Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute

sjchang@mail.ntou.edu.tw

### 摘要

無論是海域空間規劃或離岸風場開發，都意味著船舶的自由航行空間受到限縮，需要較明確的航道範圍甚至以航道措施調整交通流，更需要航行風險評估協助相關決策。本論文以自行開發之分析工具以及國際組織建議之水道航行風險評估工具 IWRAP，應用臺灣西部海域 AIS 船舶動態資料，先從交通流分析區分出四大區域，分析四大區域的相關特徵，包括從歷史資料中偵測之碰撞危機，再利用 IWRAP 以機率統計的方式比較採用航道規劃前後船舶之間碰撞風險的差異。

關鍵詞：船舶自動辨識系統、航行風險評估、離岸風場、海域空間規劃。

### Abstract

Both maritime spatial planning and offshore wind farm development imply that ships' free navigation space is to be limited. Ships' navigation areas need to be delineated as more clear routes, and ships' routing measures may have to be introduced to reorganized the traffic flow. This paper presents the AIS-based navigational risk assessment for comparing the collision risk before and after a possible introduction of Traffic Separation Scheme to the potential offshore wind farm areas.

**Keywords:** Automatic Identification System, Navigational Risk Assessment, Offshore Wind Farm, Maritime Spatial Planning.

### I. 前言

船舶的航行風險代表著對人命、船舶、貨物與環境安全的威脅。近年人們對海域的利用需求與程度急遽升高，對海域環境保護或保育的意識與作為也同步提升。離岸風場的開發則是為了打造綠色能源低碳環境的目標而必須爭取海域利用空間。海域使用者（尤其是海上航行船舶）可自由利用的空間已實質受到限縮或互相衝突。於是有了海域空間規劃的倡議，此倡議在歐盟國家甚至已進入法規體系之中。

近年海上航行船舶在特性上也有相當大的改變。無論是歐洲主要港口或是新加坡港的統計都顯示，到港船數有減少的趨勢，但貨運量卻是增高的，這正是船舶大

型化的結果。大型化船舶若遇海難，其可能的損失已使得保險公司對航行風險更加高度關注。國際海事組織推動中的電子化航海（e-Navigation）則是另一項重大變化，擬從船舶本身、岸上人員設施與組織、以及船岸之間著手藉由電子資通訊技術與法規標準等整合強化航行與相關服務，提升海上安全、保安及海洋環境的保護。然而任何對技術、設施或服務的選擇與投資都難免需要評估其成本效益。此外，無論是聯合國海洋法公約（簡稱 UNCLOS）條文中關於沿岸國對無害通過其領海的船舶可施行法規限制的必要條件，或是海上人命安全國際公約（Safety Of Life At Sea Convention, 簡稱 SOLAS 公約）內沿岸國設置航標、助航設施、船舶交通服務等責任的相關條文，都提到以航行安全或交通量、風險程度等之評估為依據。

在水道航行風險評估方面，國際海事組織（International Maritime Organization, IMO）海事安全委員會在 2010 年發布的 SN.1/Circ.296:"Degree of Risk Evaluation" 通函[1]，鼓勵各國使用國際航標協會（IALA）的相關建議與指南，尤其是 IALA Recommendation O-134 IALA Risk Management Toolbox 所提的工具[2]，以評估其沿岸航行的碰撞與擱淺風險，並用以規劃新措施使其沿岸海上交通風險減至最低。

風能是我國推動再生能源的重點之一。海域風力發電的規劃是先從淺海區域推動設置示範風場；後續再以區塊方式帶動大規模開發，並逐步擴展至深海區域。離岸風場的區塊開發難免影響該區域船舶的航行自由，必須藉由船舶定線制等各種措施適度組織船舶的交通流，才能在航行安全與效率的前提下順利推動。

從海域利用的角度來看，航運是主要的現有使用者，也是重要的經濟命脈。因此各國的海域空間規劃原則，通常賦予既定航道最高的優先權。唯為了推動再生能源之開發，在相關法規中亦指出可以「重新組織交通流」，進而調整航道之劃設。我國尚未正式實施海域空間規劃，臺灣海域除了國際港的進出港航道和規範兩岸海運直航的航道以外，基本上是由船舶自行規劃航路。從船舶自動辨識系統（Automatic Identification System, AIS）的監測資料可知船舶航跡幾乎佈滿整個沿岸海域。隨著臺灣海峽商漁船數量以及各種海事活動的增加，航行環境日益複雜，有必要透過航行風險評估，規劃適當措施以降低航行風險。如此也才有機會使臺灣海

域的開發利用與環境保護透過適當的空間規劃而相容並進，獲得最好的整體效益。此即本研究之背景目的與重點。

## II. 資料、方法與工具

本研究採用的船舶交通流監測調查工具是「船舶自動辨識系統(Automatic Identification System, AIS)」，航行風險評估所需的船舶相關資料取自近年透過臺灣西部沿岸及澎湖的 AIS 岸台(由交通部運輸研究所港灣技術研究中心、中央氣象局、國立臺灣海洋大學設置)接收的船舶識別與動靜態報告歷史資料。

AIS 是 SOLAS 公約強制要求船舶安裝使用的設備，此要求適用於所有 300 總噸以上國際航線船舶、500 總噸以上國內航線船舶以及所有客輪。目前更有不少漁船及娛樂船艇等基於安全而自願安裝。船舶透過船載 AIS 以自我組織的分時多重接取(Time-Division Multiple Access, TDMA)的通訊協定於 VHF 頻段的兩個 AIS 頻道傳送船舶報告。報告內容分為靜態與動態，靜態內容包括海上移動通訊識別碼(MMSI)、船名、IMO 船舶編號、船舶(及貨載)種類、船舶長寬、靜態吃水、目的地、預計抵達時間等；動態內容則包括船位經緯度、航向、航速、艏向、轉向速率等。VHF 的電波傳播特性使然，岸上可穩定接收的 AIS 船位報告範圍大約 25 浬，但有時甚至可達 100 浬以上。

對沿岸國而言，透過 AIS 接收的這些資料是掌握海上交通狀況、評估航行風險的重要資產。IALA Recommendation O-134 建議使用的 IWRAP Mk2 就是以 AIS 為基礎的評估工具[3]。丹麥、挪威、英國等國家都以此工具評估水道航行風險，英國主管燈塔航標與助導航服務的 Trinity House 在離岸風場開發的許可程序中也是使用此工具定量評估航行風險與因應措施。

IWRAP Mk2 (以下簡稱 IWRAP) 評估船舶碰撞擱淺的理論模型是機率式的：從幾何機率算出各種可能的碰撞或擱淺數再乘以各自的因果係數，得出碰撞或擱淺的頻度，以每年發生的事故數量(Incident/Year)表示，或是改以多少年發生一次(Year/Incident)呈現結果。估算幾何機率時必須依據水道的佈局、交通組成之船舶總類、數量、長寬、各別與相對船速等、以及水道上船舶交通的橫向分佈。

IWRAP 對於擱淺風險的評估分為：有動力情況下的擱淺(Powered Grounding)以及失去動力漂流情況下的擱淺(Drift Grounding)這兩大類。對於誤闖離岸風場碰撞風力機組等結構物的風險評估，可採用類似擱淺風險評估的模型，示意如圖 1。其中在有動力情況下擱淺或碰撞風力機等固定物的可能情境又區分為：(1)因航行控制不準確或海況等外力因素，使船舶航跡偏離航路中心線太遠而導致擱淺，以及(2)應轉向未轉向而導致擱淺。

IWRAP 對於船舶與船舶之間碰撞風險的評估分為：在沿同一航段航行船舶之間迎船正遇或追越時的碰撞風險；以及兩航路互相橫越、合併、或於航道轉彎處相交時的橫越碰撞風險。以迎船碰撞風險之評估為例，圖 2 是假設分道航行且船舶交通之橫向分佈為高斯分佈的航道與交通模型示意圖。

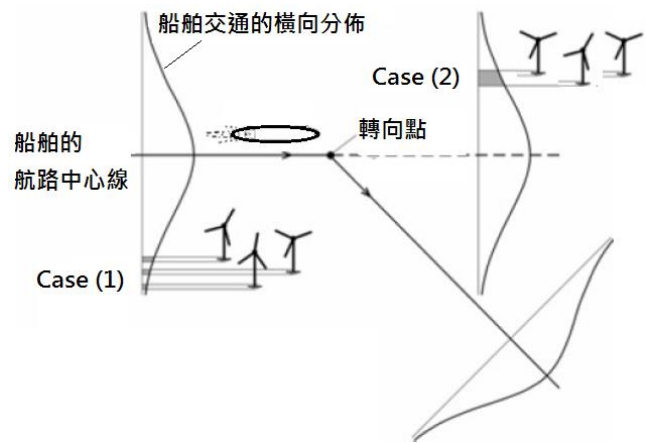


圖 1 碰撞風力機組等結構物的風險評估模型示意圖

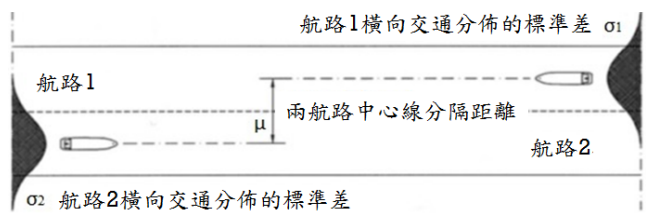


圖 2 評估迎船碰撞風險的航道與交通模型示意圖

無論是為了離岸風場開發或是海域空間規劃，常需要以航道措施之劃設或調整等相關措施組織安全的交通流[4]。航道措施之規劃設計應遵循 IMO「船舶定線制的一般規定」[5]。此規定提出的設計準則摘錄如下：

- 盡可能接近現有交通流模式；
- 應盡量減少航路上的轉向點；
- 盡量減少匯流區與交叉口，且彼此遠離隔開；
- 匯流與連接區之設計應注意使海上避碰規則能明確適用不致混淆；
- 航路連接處將盡量使船舶以直角交叉穿越。

IWRAP 是水道風險評估軟體，得先建立水道或航路的佈局，才能據以從 AIS 資料中取出船舶交通的橫向分佈，進而評估風險。對於還沒有劃設航道的海域而言，更是必須從 AIS 資料分析現有交通流模式取得船舶慣用航路，評估航行風險，再依船舶定線制的一般規定，規劃航道措施，調整交通流之分佈，評估各種航道措施方案對降低航行風險的效果。

對於臺灣沿岸長期累積的 AIS 資料，國立臺灣海洋大學通訊與導航工程學系電子海圖研究中心暨行動資訊實驗室研究團隊，已累積許多資料分析探勘與應用的軟體技術與服務，例如交通流分析、航行危機偵測、海難分析、海氣象資訊服務等，並與工研院綠能所合作應用於離岸風場航行風險評估的相關研究中[6][7]。

本研究採用與 IWRAP 相同的理論模型，利用海洋大學團隊開發之各項工具，以 AIS 資料分析的結果以及電子海圖資料為基礎，於 IWRAP 軟體建立航路與船舶交通等評估用的模型，定量分析分道航行對於船舶之間迎船碰撞以及追越碰撞等風險的影響。以評估引進航道措施，對目前因自由航行而航跡滿佈海域的船舶，究竟影響如何。

碰撞頻度  $\lambda_{col}$  的計算方式如下：

$$\lambda_{col} = P_c \bullet N_G \quad (1)$$

其中  $P_c$  是因果係數； $N_G$  是幾何碰撞數。

因果係數依區域特性與會遇狀況而不同，文獻上提出了許多不同數值，但大致都在  $10^{-4}$  的等級。適用於臺灣西部海域的數值尚待研究，在此使用 IRWAP 預設數值的如下：

$$P_c^{head-on} = 0.5 \times 10^{-4}$$

$$P_c^{overtaking} = 1.1 \times 10^{-4}$$

迎船碰撞的幾何碰撞數的計算方式如下：

$$N_G^{head-on} = L_w \sum_{i,j} P_{Gi,j}^{head-on} \frac{V_{i,j}}{V_i^{(1)} V_j^{(2)}} (Q_i^{(1)} Q_j^{(2)}) \quad (2)$$

$$V_{i,j} = V_i^{(1)} + V_j^{(2)}$$

其中  $L_w$  是該段航路的長度； $Q$  是單位時間通過的船數； $V$  是通過的速度； $i$  與  $j$  標示船舶種類；(1)與(2)標示兩航路方向。 $i$  與  $j$  類船舶迎船碰撞的幾何碰撞機率  $P_{Gi,j}$  計算方式如下：

$$\begin{aligned} P_{Gi,j}^{head-on} &= P \left[ y_i^{(1)} - \frac{B_i^{(1)}}{2} < -y_j^{(2)} + \frac{B_j^{(2)}}{2} \cap y_i^{(1)} + \frac{B_i^{(1)}}{2} < -y_j^{(2)} - \frac{B_j^{(2)}}{2} \right] \\ &= P \left[ y_i^{(1)} + y_j^{(2)} < \frac{B_i^{(1)} + B_j^{(2)}}{2} \right] - P \left[ y_i^{(1)} + y_j^{(2)} < -\frac{B_i^{(1)} + B_j^{(2)}}{2} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

其中  $B$  是船舶寬度； $y$  是用以表示船舶交通橫向分佈的坐標變數。

追越碰撞的幾何碰撞數的算法與迎船碰撞大致相同，如下：

$$N_G^{overtaking} = L_w \sum_{i,j} P_{Gi,j}^{overtaking} \frac{V_{i,j}}{V_i^{(1)} V_j^{(2)}} (Q_i^{(1)} Q_j^{(2)}) \quad (4)$$

$$V_{i,j} = V_i^{(1)} - V_j^{(2)}, V_{i,j} > 0$$

追越碰撞的幾何機率如下：

$$P_{Gi,j}^{overtaking} = P \left[ y_i^{(1)} - y_j^{(2)} < \frac{B_i^{(1)} + B_j^{(2)}}{2} \right] - P \left[ y_i^{(1)} - y_j^{(2)} < -\frac{B_i^{(1)} + B_j^{(2)}}{2} \right] \quad (5)$$

### III. 分析與評估之結果

本研究依 2014 年 AIS 船舶航跡密度將評估範圍劃分為四個區域，標示如圖 3。

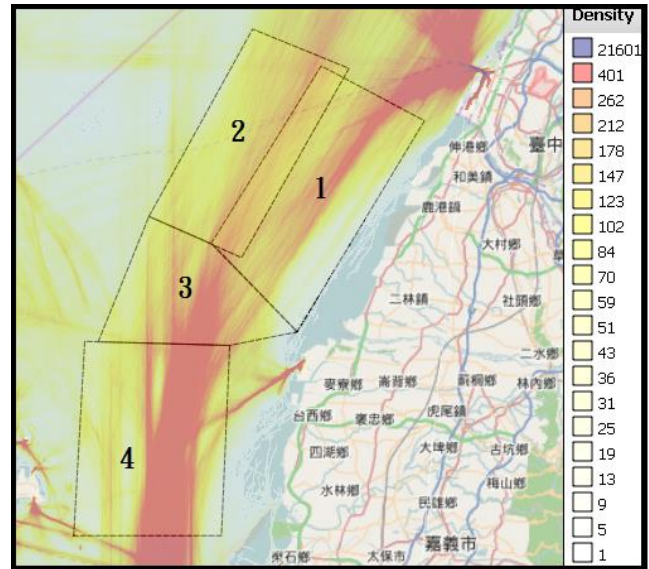


圖 3 AIS 船舶航跡密度分佈以及評估之區域範圍

將全年 AIS 資料以 24 小時為週期，統計每日各小時出現在這四大區域的船舶數量，取其平均值，結果如圖 4。每小時在區域內的船舶數量以第 4 區最高，平均 10~13 艘/小時，其他三區平均都在 4~6 艘/小時左右。

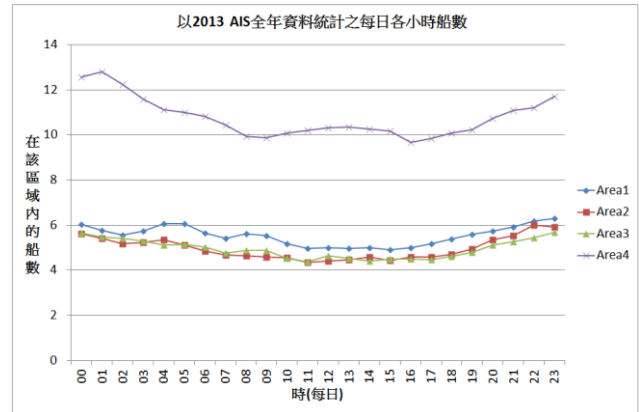


圖 4 每日各小時在四大區域內的船數平均值

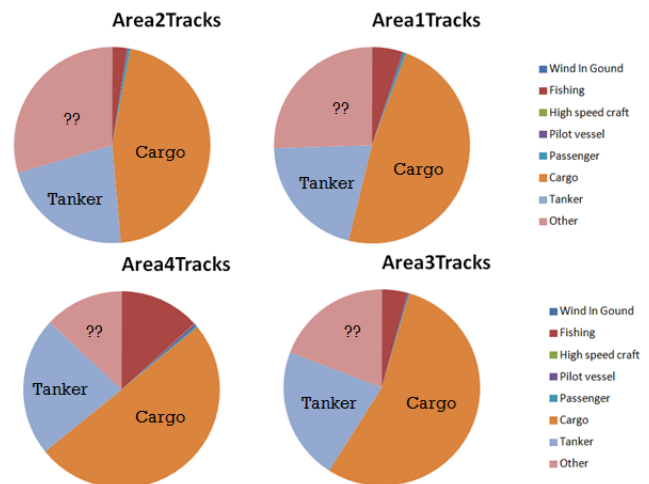


圖 5 四大區域內的船舶種類組成

在這四大區域內的船舶種類組成如圖 5。其中在 AIS 資料庫中欠缺有效船舶種類資訊的比例(圖中標示??的部分)有過高的情形，有待進一步透過資料關聯賦予正確船舶類別。四個區域都以貨輪最多、液貨輪次之。漁船比例最高的是區域 4，澎湖水道至麥寮港外海之間。

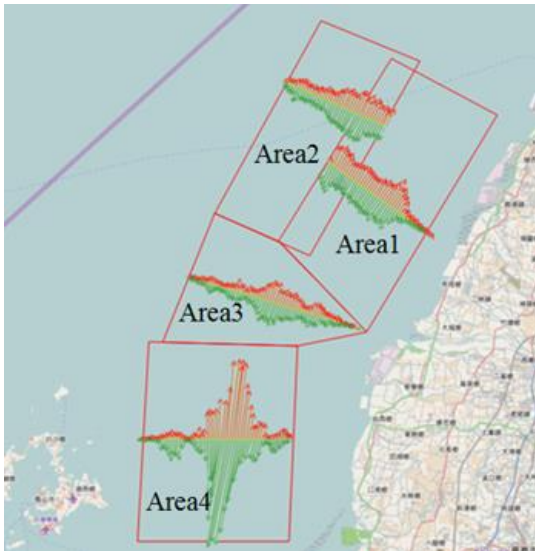


圖 6 各區船舶南北向航跡數橫向分佈 (2013 年)

圖 6 是分析四區域內船舶南北向航跡數橫向分佈的結果，「紅色」和「綠色」分別為「北向」以及「南向」之船舶航跡數與平均船舶航向。

如前節式(1)~(5)所述，估算碰撞風險時需要細部的交通組成資訊，包括：船舶的數量、速度、寬度等等。在此僅以特徵的方式呈現之。

以 AIS 資料分析選取區域範圍內有碰撞危機的船舶會遇狀況分佈，僅取對地航速 (SOG) > 2 的航行中船舶。碰撞危機的偵測條件設定為：兩船間最近會遇距離 (Closest Point of Approach, CPA) > 0.5 浬，兩船達到最近會遇距離之時間 (Time to Closest Point of Approach, TCPA) < 10 分鐘，意思即為「10 分鐘內兩船距離將接近到 0.5 浬以內」。然而兩船之間單一碰撞危機事件，將被連續被偵測出多次，因此必須轉為碰撞危機事件數。結果如表 1。區域 2 的碰撞危機事件總數大於區域 1，但差異不大，若從偵測到的次數 (可大致對應於時間長度) 而言，區域 1 比區域 2 的危機事件維持的時間略長。

表 1 四大區域內航行船舶的碰撞危機數 (2013 年)

	區域 1	區域 2	區域 3	區域 4
碰撞危機事件數	452	558	818	1315
偵測次數/事件	54	40	27	25

再將會遇情況依照國際海上避碰規則 (International Regulations for Preventing Collisions at Sea, COLREGS) 分為三種：迎艏正遇 (Head-On)、交叉相遇 (Crossing)、追越 (Overtaking)。

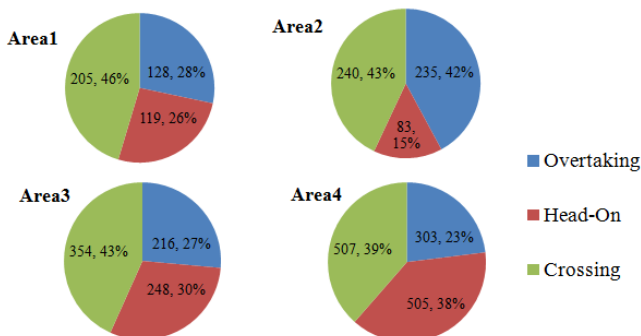


圖 7 各區域內碰撞危機之會遇情況比例

接著以 IWRAP 評估在四大區域內船舶的迎艏與追越等碰撞風險，比較採用航道規劃前後的差異。航道規

劃前使用的是該區域內當前船舶自由航行情況下的 AIS 船舶組成與交通分佈，航道規劃後則是指將該區域南北航行方向角度在 10 度範圍內的船舶交通，調整為分道航行雙向航道中心線距離 1 浬，標準差 0.5 浬的高斯分佈，船舶數量與組成不變。結果分析整理如表 2。

表 2 航道規劃前後的碰撞風險比較

	區域 1	區域 2	區域 3	區域 4
迎艏碰撞 (分道前) (E-4/年)	4.7	2.1	4.6	51
追越碰撞 (分道前) (E-4/年)	0.7	0.2	0.5	6
碰撞 (分道前) (E-4/年)	5.4	2.3	5.1	57
迎艏碰撞 分道後/前	11%	11%	10%	6%
追越碰撞 分道後/前	569%	692%	523%	311%

依據表 2 以 IWRAP 評估船舶碰撞風險 (含迎艏正遇與追越) 的結果，分道航行在各區域大致皆可降低迎艏碰撞的風險為原來的 1/10，但追越碰撞的風險則提高 3~7 倍，前者是因為分道航行使南北向船舶橫向分佈錯開，後者則是因為限縮於標準差 0.5 的高斯分佈範圍。由於依 IWRAP 的分析，在航道規劃前迎艏碰撞風險約為追越的 8 倍，分道航行時迎艏碰撞風險則約為追越的 15%，因此整體而言碰撞風險是降低的，各區域降低碰撞風險的比例如圖 8，以澎湖水道北側的區域 4 效果最明顯，可降為原本自由航行狀態的 39%。

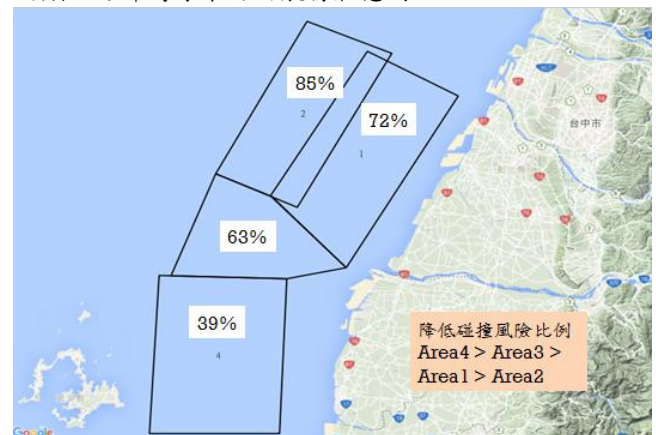


圖 8 分道航行降低各區域船舶間碰撞風險的比例

#### IV. 結論

本論文以自行開發之分析工具以及國際組織建議之水道航行風險評估工具 IWRAP，應用臺灣西部海域 AIS 船舶動態資料，先從交通流分析區分出四大區域，分析四大區域的相關特徵，包括從歷史資料中偵測之碰撞危機，再利用 IWRAP 以機率統計的方式比較採用航道規劃前後船舶之間碰撞風險的差異。

結果發現：分道航行之航道規劃如預期地降低船舶間的迎艏碰撞風險，而提高追越碰撞的風險；對於整體碰撞風險而言，究竟效果如何，則是依各區域狀況而定，其間有些設計與參數必須經過更有系統地深入研究評估，使其更接近於實際情況。

依本研究初步對澎湖水道至台中港外之間四大區

塊的評估：分道航行航道規劃可降低船舶碰撞風險為原可降為原本自由航行狀態的 39%~85%。此研究應用 AIS 於航行風險與航道規劃之定量評估，有助於離岸風場開發以及海域空間之規劃。

#### V. 誌謝

本論文是財團法人工業技術研究院受經濟部能源局委託執行之 104 年度千架海陸風力機設置推動及關鍵技術研發專案計畫，以及委託國立臺灣海洋大學執行該計畫中「區塊範圍調整及航道劃設之航行風險評估與因應策略研擬」研究的成果。

#### 參考文獻

- [1] International Maritime Organization, IMO SN.1/Circ.296 : "Degree of Risk Evaluation", Dec. 2010.
- [2] The International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, IALA Recommendation O-134 on the IALA Risk Management Tool for Ports and Restricted Waterways, Edition 2, May 2009.
- [3] The International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, IWRAP: IALA Waterway Risk Assessment Program , <http://www.iala-aism.org/wiki/iwrap/index.php>.
- [4] International Maritime Organization (IMO), Ships' Routeing, 2013 Edition.
- [5] IMO Resolution A.572(14), General Provisions on Ships' Routeing, adopted in Nov. 1985, amended by Resolution MSC.280(85) in 2008.
- [6] 張淑淨，離岸風場開發對航運安全影響評估技術與管理制度研析，工業技術研究院委託研究報告，2013。
- [7] 張淑淨、曾國鈞、張時銘，船舶交通分析於離岸風場航行風險評估之應用試驗，2013 台灣風能學術研討會論文集，臺灣基隆（國立臺灣海洋大學），2013 年 12 月 5 日