

# 船舶特高頻資料交換與航行風險評估之技術發展

## Document Analysis of VHF Data Exchange System and AIS-based Risk Assessment for Navigation Safety

主管單位：交通部運輸研究所

張憲國<sup>1</sup> 黃茂信<sup>2</sup> 李俊穎<sup>2</sup> 曹勝傑<sup>2</sup>

Chang, Hsien-Kuo Huang, Mao-Hsing Lee, Chun-Ying Ysao, Sheng-Chieh

<sup>1</sup>國立陽明交通大學

<sup>2</sup>交通部運輸研究所港灣技術研究中心

### 摘要

臺灣位於東北亞和東南亞交界處，往北連結日本、韓國，往南連接東南亞各國，且為東北亞與東南亞海上來往航運的樞紐，在海運與經濟貿易上更為重要據點。雖然，近 20 年以來船舶自動識別系統(AIS)提供了海域內各船隻的即時資訊，然而海上事故卻仍常造成人身安全及船舶財產嚴重損失。為降低海上事故發生的可能，本研究主要蒐集往昔海上事故歷史資料，分析其類別與時空分布以進一步了解其發生的熱區與風險因子。

本研究首先蒐集國內外特高頻資料交換系統(VDES)之相關應用與技術文件，彙整 VDES 對航運安全及海上通訊之助益，以供國內學術與港灣管理單位做參考。透過事故的成因統計與熱區分析，了解臺灣沿岸海域常發生海難事故的位置及重要成因。選擇高雄港當為案例，分析與海氣象因子有關的往昔事件，並以實測資料與數值模式完成重點事故的情境重現並以探討其成因。最後，以歷史 AIS 資料初步建立高雄港的船行模擬模式，以航行安全範圍來評估高雄港海域之航行風險。結果顯示兩個高風險熱區與高雄港範圍碰撞事故熱區分析結果並無一致的現象，顯示高雄港目前透過 VTS 管理中心的管控下其海事碰撞事件在交通密集區域並無明顯較多的情況。本研究針對海上事故的記錄提出幾項建議，期望能加強國內海事案件的資料紀錄與資訊整合。船行模擬模式配合文檔式資料庫與航行安全範圍的大數據處理方式可應用在其他海域航道或港區，可提供港務管理與規劃相關單位在航控與調配上做參考。

**關鍵詞：**自動識別系統、特高頻資料交換系統、海上事故分析、航行風險模式

## Abstract

Taiwan is located at the junction of Northeast Asia and Southeast Asia, connecting Japan and South Korea to the north and Southeast Asian countries to the south. It is not only a hub for maritime transportation between Northeast Asia and Southeast Asia but also an important base for shipping and economic trade. Although the Automatic Ship Identification System (AIS) has provided real-time information of all ships in the sea for the past 20 years, marine accidents still often cause personal safety and serious damage to the ship's property. In order to reduce the possibility of marine accidents, this project mainly collects historical data of past marine accidents and analyzes their types and temporal and spatial distribution to further understand their hot spots and risk factors.

This research first collects relevant application and technical documents of domestic and foreign UHF Data Exchange System (VDES), and summarizes the benefits of VDES on shipping safety and maritime communications for reference by domestic academic and harbor management units. Through accident cause statistics and hot zone analysis, we can understand the locations and important causes of frequent maritime accidents in the coastal waters of Taiwan. Select Kaohsiung Port as a case to analyze past events related to marine meteorological factors, and reconstruct the scenarios of key accidents with measured data and numerical models to explore their causes. Finally, based on historical AIS data, a preliminary ship simulation model of the Kaohsiung Port was established to evaluate the navigation risk in the waters of the Kaohsiung Port. The results show that the two high-risk hot spots are not consistent with the analysis results of the collision accident hot spot in the Kaohsiung Port. This shows that maritime collision incidents are not significantly more in densely trafficked areas under the control of the Kaohsiung Port VTS Management Center. This research provides suggestions for the marine accidents recording, hoping to strengthen the data record and information integration of domestic maritime cases. The ship simulation model, combined with the big data processing method of the NOSQL and the ship domain method, can be applied to other routes or port, the results can be used for reference by relevant units of port management and planning in navigation control and deployment.

**Keywords : automatic identification system ; VHF data exchange system ; marine accidents analysis ; navigation risk assessment model**

## 一、前言

臺灣位於東北亞和東南亞交界處，往北連結日本、韓國，往南連接東南亞各國，不僅為東北亞與東南亞海上來往航運的樞紐，在海運與經濟貿易上更為重要據點。近20年以來船舶自動識別系統(AIS)提供了海域內各船隻的即時資訊，然而海上事故卻仍常造成人身安全及船舶財產嚴重損失，為降低海上事故發生的可能，本研究主要蒐集往昔海上事故歷史資料，分析其類別與時空分布以進一步了解其發生的熱區與風險因子，並將各風險因子量化後初步建立單一主要港口周邊之航行風險評估模式；另蒐集國內外特高頻資料交換系統(VDES)之相關應用與技術文件，彙整VDES對航運安全及海上通訊之助益，供國內學術與港灣管理單位做參考。

## 二、研究方法

本研究主要可分為兩部分，第一階段主要收集國內外特高頻資料交換系統(VDES)之相關研究與技術文件，彙整相關應用與技術提升實例，評估VDES對於國內船舶安全與管理上之助益，提供後續港灣規劃與航行管理做為參考；其次針對目標港周邊所發生的海上事故進行收集，建立海上事故資料集，再依事故屬性與時空分布進行分類與統計，歸納目標港主要風險因子包括海氣象因子、航線空間因子、人為因子及其他可能因素所佔成分，並分析事故熱區。

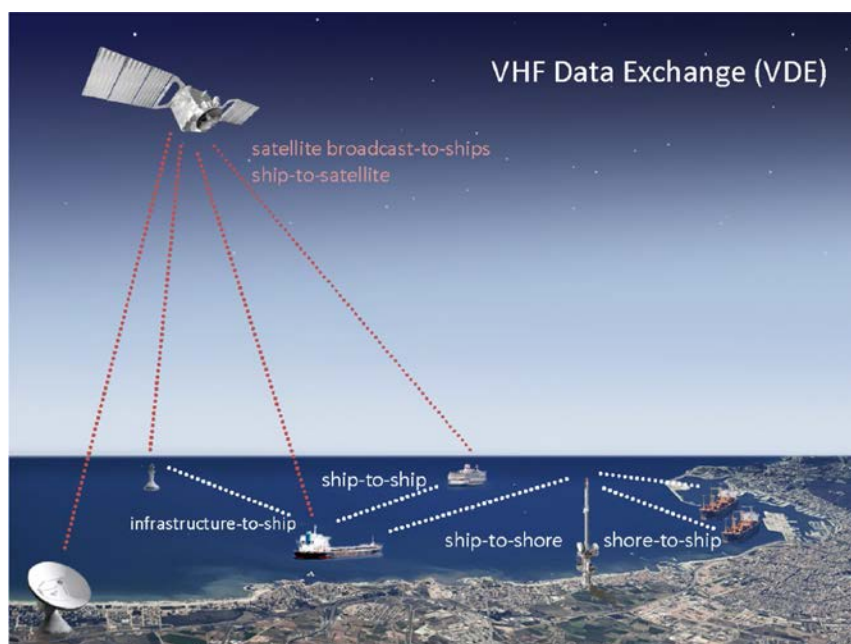
第二階段則考慮影響航行的風浪流等因素，以統計方式處理風速資料與二維數值模式推算目標港周遭的波場、流場等資訊。最後結合航港局之AIS系統，透過選定的風險因子與其量化結果初步建立目標港周邊的海上航行風險模式，並評估模式適用範圍及後續應用及發展、建立特定目標港海上航行風險模式。

### 2.1 特高頻資料交換系統(VDES)的文獻研析

船舶自動識別系統(Automatic Identification System, AIS)是一種應用於船和岸及船和船之間的海事安全與通信的輔助導航設備，透過AIS的通信可達到識別船隻、協助追蹤目標、簡化訊息交換及提供其他輔助訊息以避免碰撞的功能，強化海上船舶交通安全。2000年12月國際海事組織(International Maritime Organisation, IMO) MSC73會議通過AIS強制性安裝議案，因此AIS目前為船舶航行的基本配備，由於此系統的成功發展，目前承受越來越大的應用與傳輸壓力，國際助導航協會(International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, IALA)提出當AIS負載超過50%時，將因信息阻塞而影響航行安全，故提出特高頻資料交換系統(VHF Data Exchange System, VDES)的概念，而後被國際電信聯盟(International Telecommunication Union, ITU)、國際海事組織(IMO)和其他機構採用。

VDES是一種包含不同通信子系統的通信系統，除了現有的AIS並增加特定應用訊息(Application Specific Messages, ASM)和特高頻資料交換(VHF Data Exchange, VDE)兩個子系統，可緩解現有AIS數據通訊的壓力，滿足船對船、船對岸、船對衛星及岸對衛星之間的數據交換需求，如圖1所示。各子系統功能分別為：1.AIS-用於傳輸船舶名稱、位置、航行狀態、搜尋和救援等信息。2.ASM-用於傳輸除了船舶位

置和航行狀態外的安全信息，如水文、氣象等信息，其目的是減少AIS的負載。3.VDE-是VDES的核心功能，允許更高速率的通信，分為地面VDE和衛星VDE兩個部分，能傳輸多種結構信息。VDES的特色為：1.對船舶位置 and 安全性關用專用頻道以保障信息傳輸。2.使用更靈活，使用者可根據需要主動向其他船舶、港口、海圖中心等傳送或索取信息。3.依照頻道調整使得信息傳輸速度大幅提升。本研究透過蒐集國內外相關文獻進行，並在本研究中彙整目前國內外VDES的現況規劃與發展。



資料來源：Lázaro 等人(2019)

圖1、VDES通訊鏈路

## 2.2 主要港口海上船舶事故資料蒐集與彙整

國內海難事件定義為船舶發生故障、沉沒、擱淺、碰撞、失火與爆炸等情況，或其他有關船舶、貨載、船員與旅客之非常事故者。其中災害規模又依人員傷亡失蹤與殘油或洩漏量分為甲級、乙級與丙級三類。目前國內主要資料來源為國家運輸安全調查委員會(以下簡稱運安會)與交通部航港局，運安會雖然能提供完整詳細的調查事故資料，然而自108年成立至今的資料較為不足；交通部航港局由於法規相關規定無法提供調查報告，經研商後研究團隊透過網際網路陸續蒐集2013年1月起至2021年4月份的交通部航港局海事案件統計表，其內容包括：事發日期、船名、噸位、船籍、船種、失事地點、失事原因、嚴重程度、傷亡情形、船體損害、原因分析、資料來源與附註等項。

為確保後續分析的正確性與代表性，研究團隊針對所收集海事案件統計表進行彙整並進行資料品管。經檢視後發現資料集中有以下幾個問題：1.重複性的資料；2.失事原因與法規海難定義有差異；3.肇事地點紀錄不夠詳實等。其中部分座標資訊可透過Google雲端運算平臺服務中Geocoding API來批次處理這些肇事地點的文字說明，結果顯示有大量資料被正確的轉譯為座標點；然而以「高雄港25號碼頭」此類文字敘述為例約僅有半數能被接受，且定位的座標位置往往位於碼頭區的陸域，這

也增添了資料品管工作的難度。故工作團隊僅能採用Geocoding API配合專業人工進行判斷，但在資料集中仍有許多無法明確定位的文字敘述，為避免影響熱區分析的正確性，工作團隊僅能將此類資料歸類為未詳實記錄肇事地點的資料，並在後續空間分析中進行排除。透過GoogleMap API配合專業人工進行判斷修正其中157筆資料，約佔全部的35.3%。在資料品管後扣除未詳實記載肇事位置的資料重新統計資料集中所有事故資料的時間分布如圖2所示。除上述修正與資料品管外，研究團隊亦提出未來海難事故紀錄的相關建議。

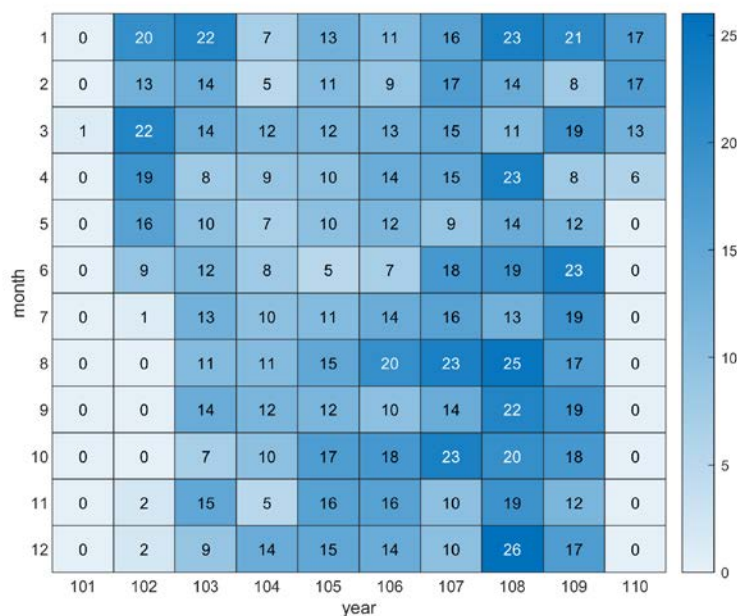


圖2、資料品管後海上事故資料集的時間分布

### 2.3 特定目標港海氣象數值模擬

本研究以原因分析欄位的關鍵字進行分析，分別為以關鍵字「風」、「浪」與「流」進行資料爬梳所篩分出的事故發生位置。與風相關的事故可採用交通部運輸研究所港灣技術研究中心長期記錄的風速資料來進行陣風分析，評估該發生時間與地點當時的情境來瞭解事故發生的原因與特性。與浪和流相關的事故則可配合高雄港的數值模擬來評估事故情境。

本研究數值模式採用丹麥水力研究所(DHI: Danish Hydraulic Institute)研發完成之MIKE 21軟體進行數值模擬，DHI是一個獨立的國際諮詢及科學研究機構，其所研發的MIKE 21是模擬水動力、水質、泥沙、波浪的專業工程軟體，主要應用於港口、河流、湖泊、河口海岸和海洋，具有先進的前後處理功能和用戶介面。模式以有限體積法(Finite Volume Method)將控制方程式在空間上進行離散，所採用之網格系統為非結構性三角形網格，每一個三角形都代表一個元素，每一時間步均可解出各元素中心的N值。波浪計算模組為MIKE 21 SW；流場計算模組為MIKE 21 HD水動力模式。為確認本模式於研究區內的模擬成效，選擇2019年對高雄海岸影響較大的白鹿(BAILU)颱風波浪資料及颱風期間前後的季風波浪進行驗證，本研究選用之驗證

資料來源為交通部運輸研究所港灣技術研究中心於高雄港之觀測資料。

## 2.4 建立特定目標港海上航行風險模式

依據前述海上事故統計與熱區分析的結果選擇高雄港為目標港，以AIS資料歷史資料來進行目標港周邊的航行模擬，考慮船隻交會時的碰撞風險來建立高雄港海上航行風險模式，以期間內風險模式模擬的結果來評估高雄港碰撞風險的時空變化，再提出熱區分析結果供相關管理與規劃單位做參考。

### 2.4.1 海上航行資訊相關資料處理

船舶AIS資料庫因需要不斷蒐集船隻回傳的訊號，有大量資料需蒐集處理，2020年第一季臺灣附近AIS接收資料量統計每個月約有近5億筆資料，資料量大小約130 GB。研究團隊採用更適合處理巨量數據的文檔式NoSQL資料庫(MongoDB)來建立AIS資料庫，文檔式資料庫具有：1. 可水平擴充；2. 空間查詢索引；3. 可儲存多種類檔案等特點。

由於AIS資料為被動接收，歷史資料庫中連續資料會有不同船隻穿插與重複訊號的可能，為了提供預測模型訓練資料集，在此需先建立歷史軌跡資料庫，以提高取得資料集時的速度及品質。在建立船軌跡資料庫時，不僅將MMSI加入索引，也將經緯度加入做為空間索引，在MongoDB中，若要建立空間索引，需先建立GeoJson欄位，再透過createIndex功能中”2dsphere”的方式建立空間索引，因為軌跡座標，故GeoJson欄位使用”MultiPoint”代表軌跡。建立索引後，將資料匯入前，先去除歷史資料庫中的異常值，包括時間及空間重複資料，再刪除COG及SOG的異常值。為了切分每次船舶任務的軌跡，此研究選定以3小時做為判斷標準，再以無訊號時間與船速為門檻切分各次船舶任務的軌跡。在分析船舶碰撞問題的研究中，最主要的參數即為船與船之間的距離，在現有的船跡資料庫中由於各船船速與船型不一而會以不同時距發送AIS資訊，因此必須將所有船跡推算至固定時間點來方便進行距離的計算。工作團隊針對此問題採用空間搜尋、內插技術與軌跡切分技術來建立等時距資料庫。

空間搜尋功能為MongoDB的主要特性之一，在大量的數據中能透過所建立的R-tree索引快速搜尋出目標資料。軌跡切分則是經過多次測試後發現許多船的AIS訊號在港內裝卸或停泊時仍維持開啟，且其訊號內容中的位置、速度、方向等仍會有不穩定的變化，這些資料對於後續分析來說都會誤判為船行資料而納入運算，故針對船跡資料庫中每筆資料利用位置點資訊的時變率與敏感度做篩分，將船跡資料庫再次進行整理。整理完成後工作團隊以內插方式將每筆船跡資料以一分鐘為時距進行內插。最後將高雄港空間範圍內每分鐘所有船跡的AIS資料點建置為等時距資料庫，以便在後續運算中可以快速取得每一時刻範圍內的所有船行資訊。工作流程如圖3所示。

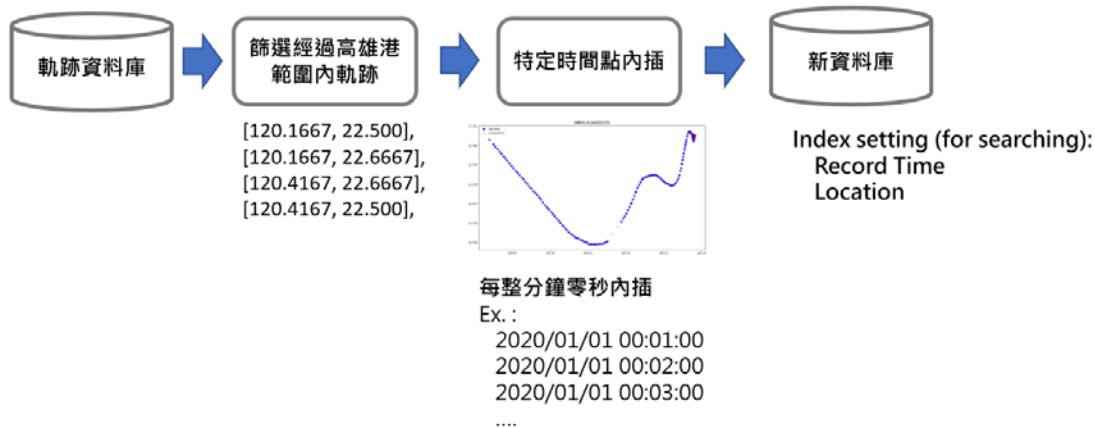


圖3、建置等時距資料庫的工作流程

### 2.4.2 船行安全領域

近年來船體碰撞的相關研究中除了將各船隻當作單一質點的傳統方式，為考量不同靜態因子與動態因子的船隻會有不同大小範圍的碰撞風險，而開始定義船行安全領域，其示意圖如圖4所示。兩船的安全範圍出現交集的情況，其碰撞風險即開始提升，因此確定船舶周圍的安全範圍非常重要，特別是對海上航行風險評估。

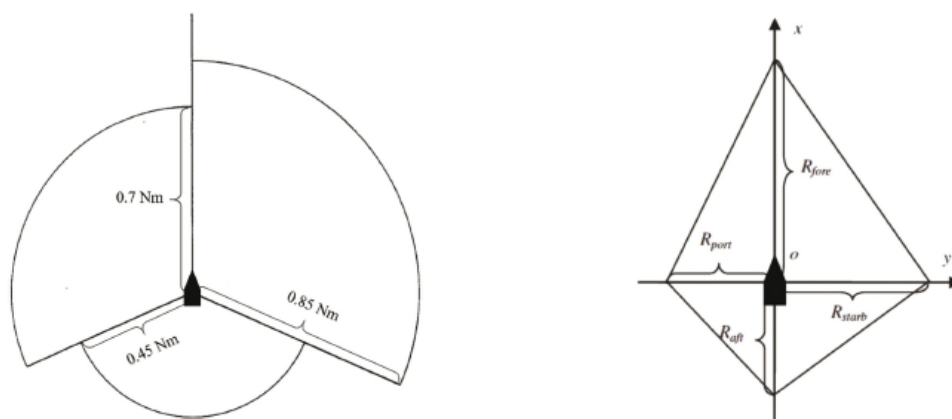


圖4、不同型態的船行安全領域示意圖

往昔文獻中建立船行安全範圍方法大致分為四類：經驗型、半經驗型、解析型與機率型，除形式上與應用上的差異外，各計算方式考量的相關因素也不同，一般在選用上會依據影響因子蒐集的情況來決定，例如以國內目前的政策可能考量個資法而無法蒐集到操船者的年齡與資歷等人為因素，又可能往昔事故發生時的氣象條件或能見度已不可考，部分船舶安全範圍的估算方式也就無法選用。由於國內海事案件統計表中的事故成因紀錄較為簡單，以至於無法探討航行時人為與環境等多項因子的特性與權重來作為輸入條件，特別是考慮到本研究計劃區的船隻除了一般航行外還有靠泊與裝卸等較複雜的動態，工作團隊參考Wang(2010)研究選用較常見的船隻長度和船行速度來計算四軸式的橢圓船舶安全範圍，建立船行模式來模擬目標港周邊船行交會的情況，進而分析研究範圍內的碰撞風險熱區。圖5為本研究實際計算高雄港#10碼頭2002年一月的船行安全範圍情況，圖中以紅色線段表示船長，藍色

線段則為透過計算的64方位船行安全領域。該領域會受船長與船速的影響有不同大小，若船速為零顯示該船程呈現停泊狀態，則無船舶安全領域。圖中可看出兩船正以相反方向交錯而過，兩船的領域於航道中央有發生交集區，顯示此刻該處的船舶行為有一定的風險。透過上述等時距資料庫配合船行安全領域對AIS巨量數據可有效率並精確地計算交集區的時空分布並進行分析。

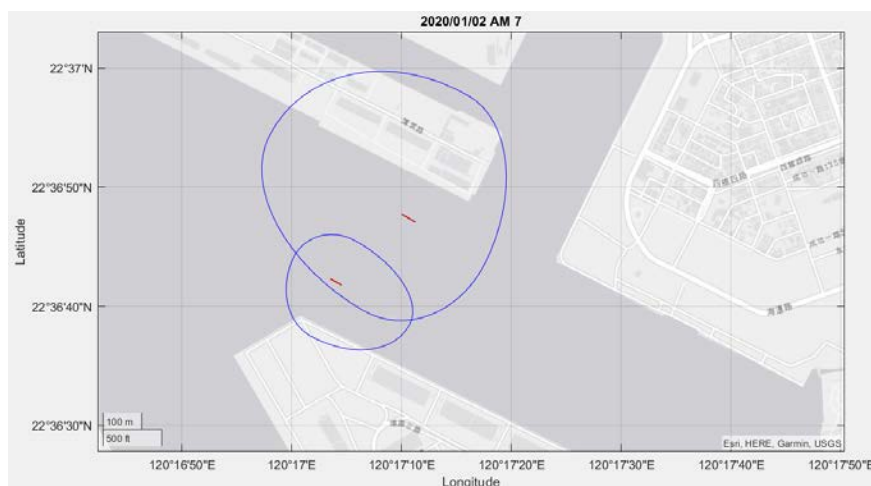


圖5、本研究船行安全領域計算示意圖

### 三、研究成果

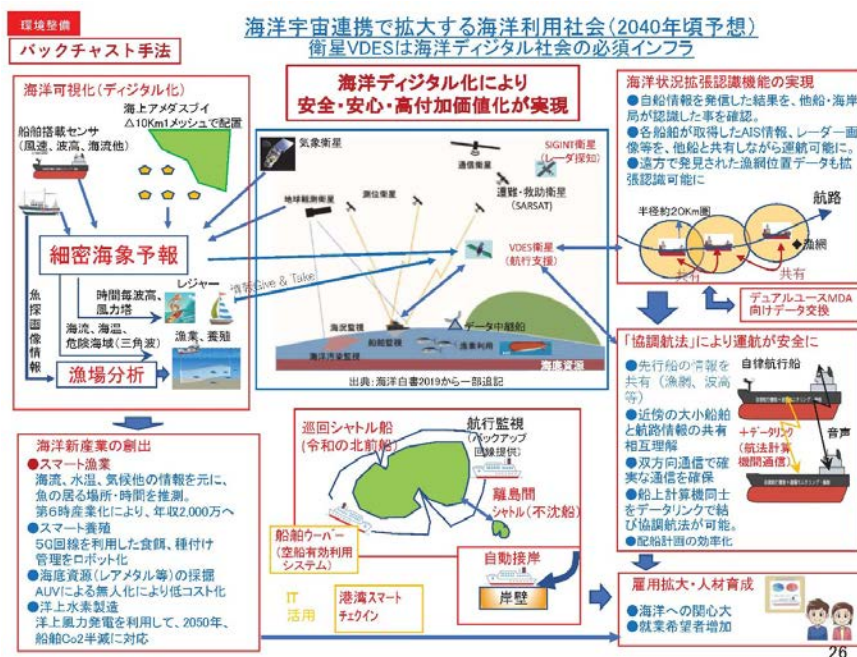
#### 3.1 特高頻資料交換系統(VDES)的現況與發展

透過國際助導航協會(IALA)和相關單位的努力，在2015年世界無線電通訊大會(World Radio Communication Conference in 2015, WRC15)上通過了VDES的國際標準，對於地面VDE部分，為下行和上行通訊鏈路分配了100 kHz頻譜，並為ASM的地面和衛星分配了兩個25 kHz頻道，其中衛星頻譜頻段被延遲，直到對陸地潛在干擾問題進行進一步研究為止。預計2017~2018年建立地面VDE，達到AIS+地面VDE的初始運行能力，2019~2020年主要建立地面VDE+ASM，達到VDES的地面初始運行能力，2021年後則完成地面VDE、衛星VDE+ASM，達到VDES的全面運行能力。衛星VDE目前除了歐洲太空總署(European Space Agency, ESA)成員國中的英國、德國、義大利、西班牙、瑞典、丹麥及加拿大外，亞洲地區包括日本、澳洲、中國、新加坡及韓國皆積極研發建置。

在未來的應用性上，日本的公益財團法人笹川平和財團海洋政策研究所(OPRI)主要進行海洋政策的研究及建議，於2004年開始每年出版「海洋白書」探討日本國內外海洋及近岸地區相關的事件及趨勢，在2020年則針對日本引進VDES的環境改善提出課題和對策，課題包括：1.日本國內用戶的發展(促進海洋數位化)；2.政策、法律；3.技術開發；4.事業化檢討。其中課題一預估2040年日本國內發展狀況如圖6所示，由圖中可知，VDES可提供各船舶共有AIS情報，除了原有的安全性功能，更能了解航路上的海上狀況，而在海洋數位化部分則整合氣象衛星、地球觀測衛星、海上浮標及船舶接收器可達到高解析海象預報，透過VDES衛星可提供休閒船舶相關海



象資訊，增加其航行的安全性，並由海洋數位化的過程創造出高附加價值的商業行為，包括：智慧漁業、智慧養殖、海底資源(稀有金屬等)的挖掘及離岸生產氫氣等。



資料來源：海洋白書(2020)

圖6、預估2040年日本國內VDES發展狀況

### 3.2 海上船舶事故統計與風險因子分析

主要分析本研究所收集的海上船舶事故統計資料來評估各失事原因的統計特性與分布狀況，再進一步進行熱區分析，並探討各風險因子。總資料有1671筆；表中顯示以其他海難件數最多，佔26.03%，而其他海難包括多種因素造成的人員損傷或貨櫃受損而向岸上回報之情形；其次則以兩船碰撞為最大宗，佔22.86%，機械故障則佔16.28%，兩船碰撞與機械故障這兩者的百分比皆佔比10%以上，可視為在臺灣鄰近海域之最常見的海難原因，而後佔比較小的成因依序為非常變故、失火/爆炸、觸礁或擱淺、與其他物碰撞等。

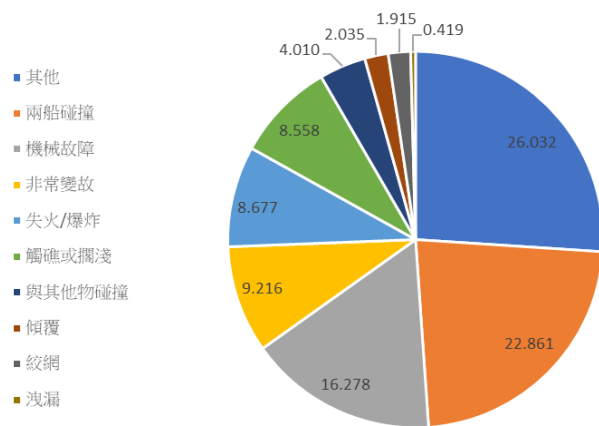


圖7、2012-2021年海難事故船舶海難成因圓餅圖

本研究也另外針對海難事故對於人員以及船體的損失來做統計，其目的在於進行海上事故對於民眾生命財產所造成影響之探討。在2012-2021年間人員損失部份以有人員死亡的事件最多，佔9.03%，其次為失蹤，佔5.21%，最後才是受傷，佔比4.25%，其中，人員受傷代表都有成功獲救和被醫治；透過比例的分析可得知，海難事故中船上人員死亡的機率仍屬較高；而在財產損失部分，則以船損最為常見，佔46.80%，部份船隻則會整艘船體沒入海中，佔7.96%，由此可知，海難事故的發生，有接近一半的機率因船體損傷造成經濟或財產的耗損。

排除上述無明確座標的資料後，將各失事原因包括(兩船碰撞、與其他物碰撞、觸礁或擱淺、失火或爆炸、機械故障、傾覆、洩漏絞網與非常變故及其他)進行初步分析發現兩船碰撞、與其他物碰撞、觸礁或擱淺這三類的發生較具空間分布特性，其餘五類包括失火或爆炸、機械故障、傾覆、洩漏、絞網與非常變故及其他在一般認知上的發生機制則較不具空間分析的價值，所以後續僅針對這三項目進行熱區分析。熱區分析(Hotspot analysis)是地理資訊系統常用的空間分析方法，其特色是透過與鄰近資料的關係，計算出資料集中的熱區，透過資料視覺化讓使用者透過地圖不同視角或色階，直觀獲取空間資訊的特性。圖8為三種海難事故的熱區分析結果圖，圖中由冷色調的藍色至暖色調的紅色逐漸代表海上船舶事故發生的熱度分布；此外為能明顯表現出主要熱點的差異，計算分析半徑的選用為十分重要的參數，在此選用20km為取樣半徑進行分析，最接近紅色的區域顯示代表海上事故發生熱度較高的區域。

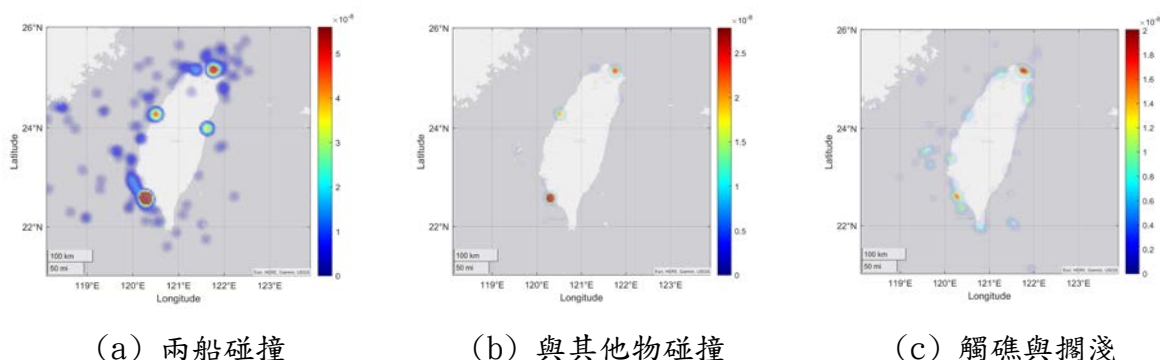


圖8、三種船舶海難事故的熱區分析圖

綜合上述分析可以歸納出幾點結果，在兩船碰撞及與其他物碰撞的事件中，最明顯的熱區位於高雄港，若要針對海上船舶意外的航線空間因子進行分析，高雄港將是最合適的地點，而觸礁與擱淺的發生可能與當地的地形水深變化較有相關，但其記錄資料相對碰撞事件少了許多，未來若有足夠的相關事件記錄，亦可進行進一步的探討。從海上事故資料集中篩選出兩船碰撞事件及與其他物碰撞事件進行合併分析，其結果如圖9所示。圖中顯示高雄港內主要熱區主要發生在圖中紅色範圍區域，對應圖下方高雄港區配置圖中的位置分別為#4號至#9號碼頭區(蓬萊商港區)與#25號碼頭附近水域，其餘位置則呈現綠色或黃色調的分布，較無明顯密集發生的區域。後續數值模擬分析與海上航行安全風險分析的結果將與高雄港這些熱區範圍進行合併討論。



圖9、高雄港範圍碰撞事故熱區分析

海上事故若與陸上交通事故一樣有詳盡的紀錄即可進行深入的風險因子分析，針對近年國內外海上航行風險的相關研究進行蒐集與研析，工作團隊將其風險因子分為四類包括：海氣象因子、航線空間因子、人為因子及其他可能因素。其中人為因子與海氣象因子由於資料紀錄並無更詳細的資訊，故僅能由簡短的原因分析欄位中採用文字雲的方式來進行分析，結果示如圖10。



(a) 人為因子

(b) 海氣象因子

圖10、文字雲分析結果

人為因子中最常出現的前三名為「作業」、「操作」與「碼頭」等，此類關鍵字在原因分析欄位中主要描述事件發生的狀態與地點。大多人為失誤都處於操作或作業狀態，碼頭附近則是最常發生的地點。第四順位至第八順位則為「碰撞」、「落海」、「拖船」、「出港」與「靠泊」，其中落海與碰撞顯示人為因素造成事件最常發生的結果，出港與靠泊則是發生事件時的船行目標，較為特別的是第六順位的關鍵字顯示有許多事件都與拖船有關。海氣象因子中以「擱淺」、「受損」與「作

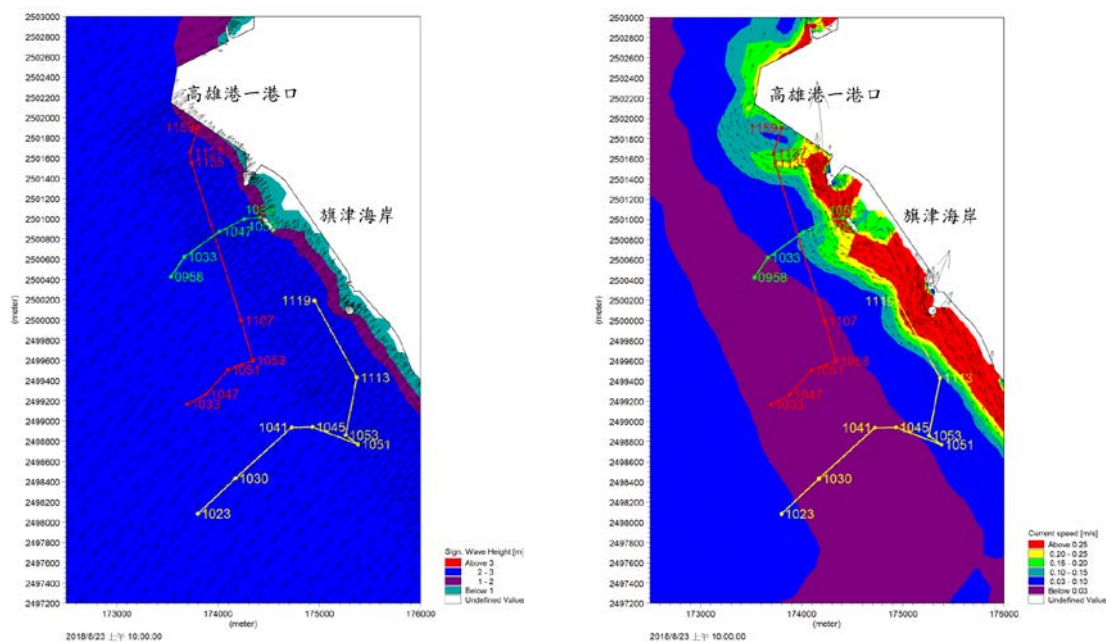
業」為前三名，順位第四至第八則為「貨櫃」、「碰撞」、「船舶」、「船長」與「沉沒」。可發現些關鍵字大多描述事件發生後的結果。

航線空間因子則主要透過兩船碰撞事故發生的空間密度來針對高雄港、基隆港、花蓮港與臺中港進行分析。其他因子部分由於海事案件記錄表中沒有詳細的船種、載貨種類與船齡紀錄，僅能針對船舶噸數來做基本分析，針對十種事故成因的船舶噸數特性，平均而言所有類型事故的群集中，以與其他物碰撞的群集的平均噸數最大，非常變故次之，最小的則是傾覆。以標準偏差來看，與其他物碰撞的偏差量最大，其他事件與兩船碰撞的事件群集中偏差量次之，偏差量最小的事故類型則為傾覆。

### 3.3 重大海上事故重現與探討

透過實測資料及數值模擬依序針對每個事故探討其發生原因，其中實測資料主要採用港灣技術研究中心於10號碼頭的風速測站資料，其蒐集方式為取每小時測定10分鐘的最大陣風風速。進行各事件期間風速實測資料與波浪、流場數值模擬的探討。

以民國107年8月23日的多件擱淺事件為例，蘇力颱風在臺灣東北方，而臺灣與菲律賓之間生成熱帶性低氣壓持續擴大且影響到高雄海域，圖11為波場與流場分布圖，圖中綠線為太倉湖號的AIS軌跡，紅線為飛龍號的AIS軌跡，黃線為安利669號的AIS軌跡，各軌跡旁數字為該船移動到該座標的時間，模擬結果顯示當日波高增大至2.0~3.0m之間，約為中浪至大浪之間，因此船舶停泊位置確實有波高增大的現象。流場分布圖模擬結果顯示船舶停泊位置流速低，但靠近近岸後流速增強且流向為由南往北。



(a)波場模擬結果

(b)流場模擬結果

圖11、波場與流場分布圖(綠、紅、黃線為船舶AIS軌跡)

綜合實測資料及數值模擬結果研判，船舶先同時受到風轉向為西南向及西南向大浪的影響，而往東北方的岸上靠近，停泊在近岸的太倉湖號直接擱淺在旗津海水域場前，而停泊在外海的飛龍號和安利669號先向東北移動，之後同時受到西南向的風、西南向大浪及流向由南往北的流場影響，迅速往北向近岸靠近，最後造成飛龍號擱淺在一港口南防波堤外海及安利669號擱淺在旗津貝殼館外。

### 3.4 特定目標港海上航行風險模式

高雄港船行模擬模式主要是透過等時距資料庫配合範圍內的船行安全領域交集計算所完成，工作團隊在模擬的過程中依照模擬的情況不斷針對等時距資料庫的架構與交集區運算方式進行調整，使得整個計算流程能夠應付大量的數據處理。由於AIS資料為被動式接收，期資料品質與正確性會受到船舶端的開啟與關閉或是異常而有很大的影響，等時距資料庫的資料流過濾可有效降低這些問題並使巨量資料能夠正規化進入船行模擬模式，使交集區計算能夠以合適的時空解析度來進行快速運算，網格上各點在分析時段內被涵蓋於交集區的次數疊加量即代表該網格點的風險程度。模擬結果以動畫輸出可以快速檢視運算結果的正確性，然而紙本報告僅能以資料視覺化來呈現最終的統計結果進行說明如下。圖12為2020年第一季的高雄港船行風險模擬結果，圖中以藍色至黃色的漸層色調表示船行安全領域交集區在三個月內重複出現於該網格點的低至高相對密度，即風險由低至高的空間區域分布，圖中模擬結果為相對密度並無單位，黃色高風險區、綠色中風險區與藍色低風險區分別約為75%、50%及25%。結果顯示高雄港有兩區呈現風險較高的黃色區塊(75%以上)，一為高雄港一港口航道內的#143碼頭至第一船渠之間，另一則為二港口迴船池靠近#115碼頭區域。其次風險較低的區域(75%以下)則位於南北主航道的區域，其中前鎮河迴船池至二港口迴船池段稍微高於一港口迴船池至前鎮河迴船池段。偏藍色較淡的輕微風險區則是一港口支航道與#107碼頭迴船池。

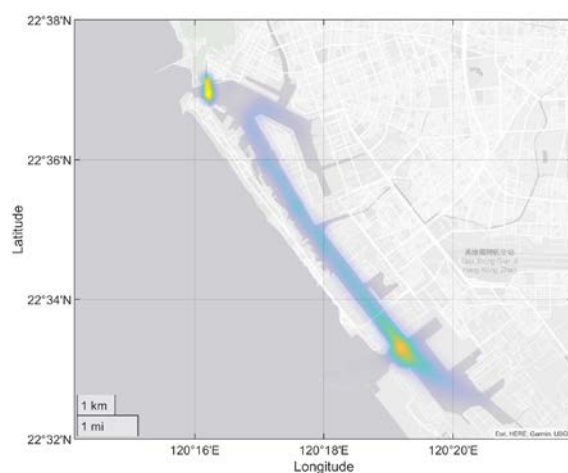


圖12、高雄港船行風險模擬結果

為加強上述分析結果的空間解析度，工作團隊另針對北側高風險區Zone1與南邊高風險區Zone2進行網格加密至1m來計算風險模擬結果如圖13。結果顯示加密後的Zone1可以明顯看出此區的風險區域集中於北側的鼓山渡輪站與南側的旗津渡輪

站，本區每日AM5:15至隔日AM2:00平均約5~30分鐘有固定航班的渡輪，因此在高雄港區範圍內常有船行安全範圍的交集區。Zone2的加密分析結果顯示在二港口迴船池的風險區中，北側過港隧道至南側轉角處的第十船渠皆為風險較高的區域。若排除旗鼓渡輪航線的熱區，本區位於二港口四方交會處屬於高雄港範圍內風險最高的區域，然而高雄港內設有四個迴船池，由北至南分別為一港口迴船池、前鎮河迴船池、二港口迴船池與#107碼頭迴船池，其中卻僅二港口迴船池的風險密度為最高，為較值得進一步探討之處。

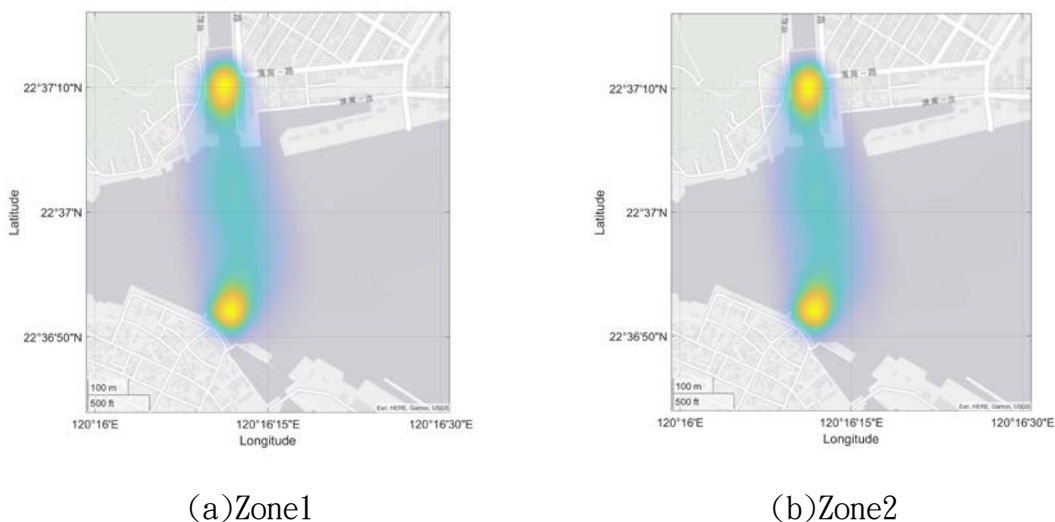


圖13、高雄港加密區船行風險模擬結果

工作團隊另針對兩個高風險區進行時間上的分析，分析在不同時間下的風險情況，並透過資料視覺化呈現如圖14。Zone1的分析熱力圖，圖中橫軸為每周日至周末，縱軸為每日0時至23時共24小時，熱力圖中以黃色調至紅色調呈現船舶安全領域交集區的低至高出現次數。圖中顯示風險高的時間段集中於AM7~9時與16~18時，周末與周日則有不同，與旗鼓航線的船班的密度有正相關。Zone2的分析熱力圖，圖中顯示風險高的時間段集中於AM8~11時、12~13時與16~17時，周日則稍有減緩。

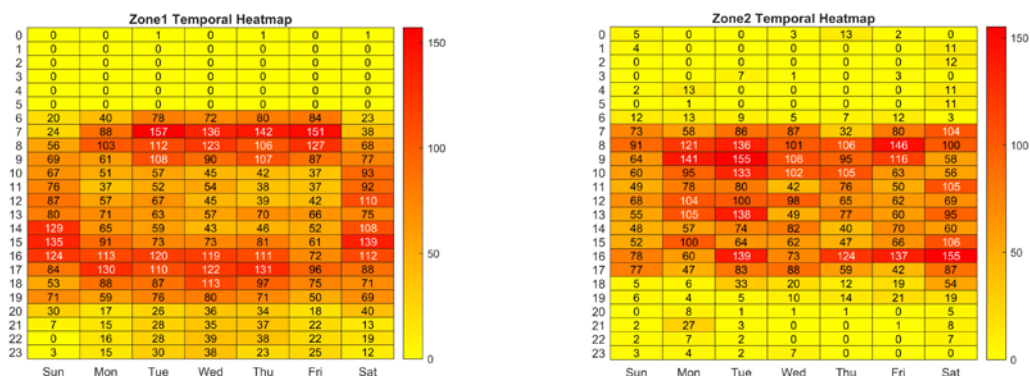


圖14、高雄港加密區高雄港不同時間的風險情況

#### 四、結論與建議

本研究收集國內外特高頻資料交換系統(VDES)之相關研究與技術文件，對VDES進行簡介並針對其發展現況進行說明，包括VDES規範與衛星規劃等近程計畫。此外並彙整相關應用與技術提升實例說明VDES未來應用，以評估VDES對於國內船舶安全與管理上之助益，提供後續港灣規劃與航行管理做為參考。

海上事故統計分析的結果顯示其他海難件數最多，其次分別為兩船碰撞、機械故障，兩船碰撞與機械故障皆佔比10%以上，可視為在臺灣鄰近海域之最常見的海難原因。人員損失部份以有人員死亡的事件最多，佔9.03%，其次為失蹤，佔5.21%，最後才是受傷，佔比4.25%。在財產損失部分，則以船損最為常見，佔46.80%，船沉佔7.96%。人員死亡之事件中以意外(作業不慎)為最多，次之分別為意外(事故)、天候氣象。空間分布特性分析發現兩船碰撞、與其他物碰撞、觸礁或擱淺這三類的發生較具空間分布特性，其餘五類則較不具空間特性。熱區分析的結果顯示在兩船碰撞及與其他物碰撞的事件中，最明顯的熱區位於高雄港，本研究並針對高雄港範圍進行細部熱區分析。

綜合實測資料及數值模擬結果大致可分析事故發生的原因，其中高雄港內的事務主要以陣風影響最大，僅有一件與船波造成的浪有相關性，而在高雄港外的事務主要以颱風或熱帶性低氣壓造成的強風大浪有關，其次才與流有關，至於因為機械故障造成船舶漂流則以流的相關性較高。本研究透過各個事故原因的探討發現陣風的瞬間增強或持續性的強風為高雄港事故發生的主要原因。

以船行安全範圍的交集區來呈現研究範圍內的交通密度與風險情況可呈現2020年第一季高雄港所有AIS資料的船行風險特性。兩個高風險熱區與高雄港範圍碰撞事故熱區分析結果並無一致的現象，顯示高雄港目前透過VTS管理中心的管控下其海事碰撞事件在交通密集區域並無明顯較多的情況。此結論也符合往昔文獻中海事案件絕大部分都為人為因子所造成的說法，也顯示高雄港在適當的管理下，航線空間因子並不屬於高雄港航行事故上的主要成因。

## 參考文獻

1. Wang, N. (2010). An intelligent spatial collision risk based on the quaternion ship domain. *J. Navig.*, 63, 733-749.
2. Lázaro, F., Raulefs, R., Wang, W., Clazzer, F., Plass, S. (2019). VHF data exchange system (VDES): an enabling technology for maritime communications. *CEAS Space Journal*, 11, 55-63.
3. 宮寺好男(2020)「船舶における VHF データ交換システム(VDES)の導入」, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第 55 卷, 第 64-67 頁。