

臺灣西部海域船舶避讓距離之研究

A Study on the Closest Distance between ships for Avoiding Collision in West Taiwan Waters

林彬*、宋瑞屏**

摘要

國際海上避碰規則雖已明定船舶必須及早採取避碰行動，以安全距離通過，但綜觀近年來的碰撞案件，大多原因皆為避碰行動施展時機太晚，導致船舶之間未能保持安全距離。有鑑於此，本研究蒐集龐大的船舶自動識別系統資料，推估船舶實際航行之海上交通情況，對臺灣西部水域之船舶進行避碰情況判別，分析不同航行水域及不同船舶大小之通過距離，並分別比較避碰樣本分布及累積分布函數，呈現安全距離邊界值之結果。

本研究結果發現，航行員採取避碰行動時機點對兩船通過之最近距離影響極大；愈早採取行動，通過距離愈大，可使碰撞危機及早解除。船舶領域形狀與各地區間交通流向有關，且隨著船長的增大，船舶領域有擴張之現象，並顯示以 4 至 6 浬避讓時機所得之通過距離並不足以代表實際船舶領域之邊界。因此，本研究之船舶領域研究成果切合臺灣西部海域船舶航行之現況，可供海上交通工程決策之參考。

關鍵詞：安全距離、船舶領域、累積分布函數

Abstract

* 國立臺灣海洋大學商船學系教授(聯絡地址：基隆市北寧路 2 號；電話：02-24622192 Ext.3024；E-mail：blin@mail.ntou.edu.tw)

** 國立臺灣海洋大學商船學系碩士生

Although the International Regulations for Preventing Collision at Sea (COLREG) has required all ships shall take early action to pass in a safe distance for avoiding collision, most of collision accidents were caused by violating the regulations during the past years. Therefore a huge of ship data from automatic identification system (AIS) were collected as samples for analysis of actual marine traffic situations and anti-collision actions in the west Taiwan waters, and for comparison of the passing distance and cumulative distribution function (CDF) in different parts of the waters in this study.

The results reveal the distance is affected by the time of navigators taking actions of avoidance. The earlier of the action, the larger of distance, and the earlier of collision risk can be dissolved. The shape of ship domain is related to traffic flow in different waters. Following the increase of ship length, the domain becomes larger. Text books states the best time of taking actions is 4 to 6 miles off other ships, but can not indicate the actual boundary of ship domain. These results are accordant to the current situations of traffic in the west Taiwan waters, and can provide the decision makers of marine traffic management as a valuable reference.

KEYWORDS : Safe distance, Ship domain, Cumulative Distribution Function

壹、 前言

海運已是國際運輸主流方式之一，全球目前約有八成以上的貨物需仰賴海上運輸，據中華經濟研究院統計報告指出，四面環海的臺灣，貨物進出口倚靠海運方式的比例高達九成[1]，據研究顯示臺灣海峽每日更約有 400 艘船舶通過[2]；然而伴隨科技日新月異地發展，航行於海上的船舶在數量、噸位與類型上發生顯而易見的變化，但航行水域的交通容量不變如昔，進而使船舶避碰空間相對減少，導致船舶航行安全的降低。

美國防衛隊研究與發展中心(U.S. Coast Guard Research & Development Center)研究報告指出，海難事故中船舶碰撞案件佔有相當高的比例[3]；根據交通部統計，在臺灣附近海域海事案件中，碰撞案件大約佔了 20%；在商船海事案件中，碰撞案件的比例更高達 40% 以上，因此英國勞氏驗船協會在船舶交通密度、航行環境與海事事故發生頻率的綜合評估下，將臺灣海域列為中度海上風險環境(Moderate Risk Environment)[4]。

由於海上航行的船隻一旦發生碰撞事故，不僅在金錢上損失慘重，更會替人員與環境帶來嚴重的災害；而船舶之間的距離直接影響船舶碰撞危險的大小，若兩船間存有碰撞危險，又無及時採取行動，則易掉入即使採取行動也無法避免碰撞的狀況中[5]。因

此為防範船舶碰撞事件發生，國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)制定航行員可依循之法條—國際海上避碰規則公約，並於第七條以及第十九條第四款中指出“航行員利用各種方法(包括目視、雷達)發現與他船有碰撞危機存在時，應提早採取避碰措施”。

雖規則對船舶產生碰撞危機之行爲過程已有明訂行動基準，但卻未給予碰撞危機明確之定義；而航行員大多以兩船間最小會遇距離判別碰撞危機，故船舶間距離直接影響船舶碰撞危險度的大小[5]。但由於人爲的疏忽、僥倖心態或過度仰賴航行儀器，導致航行員無及時採取行動，或是採取行動效益不夠而無法達到第八條第四款中之規定“雙方必須在安全距離下完全通過”[6]，且檢視近年來臺灣海域所發生的重大碰撞事故，大部分原因仍爲未保持安全距離以及未提早採取避讓措施。故綜合上述原因，以及在國內過去避碰相關研究中，甚少涉獵船舶安全距離之議題；鑑此，本研究將參考國外相關文獻，分析發生海難事故比例最高之臺灣西域海域[7]航行船舶之安全距離。

貳、 文獻回顧

一、碰撞危機判別與避讓行爲

(一)碰撞危機

船舶在海上航行時會不斷與其他船舶會遇，當兩艘船舶會遇時之最近距離太近時，即產生碰撞危機，必須採取適當的避讓措施，才能安全通過，而不至於造成碰撞事故。一般而言，碰撞危機的存在與否，爲航行員採取行動之關鍵。依據國際避碰規則第八條對碰撞危機之敘述，駛近船舶之羅經方位無顯著改變，即應視碰撞危機之存在。該條亦提及以雷達測繪方式及早獲得碰撞危機之警告。尤其在能見度受限制時，目標船之動態也必須藉由雷達判讀才能得知。不論能見度是否受限制，雷達判讀 CPA(CPA, Closest Point of Approach)與 TCPA(TCPA, Time to Closest Point of Approach)爲航行員採取避讓行動之參考指標，並以此爲判斷是否產生碰撞危機的重要指標。

航行員於雷達測繪時，即是以本船與他船相對運動向量(\overrightarrow{oa})之延長線段—相對運動線(Relative Motion Line, RML)與中心點的距離得出 CPA 數值(如圖 1 所示)。當航行員發現他船如避碰規則所述，其隨著距離減小，方位沒有明顯改變狀況，即可判斷在未來兩船間最小會遇距離接近 0，而此概念即爲上述雷達測繪所得之 CPA 概念。

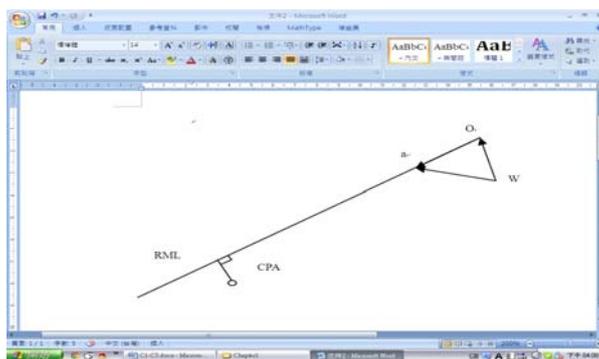


圖 1 雷達測繪示意圖

(二)避讓行爲

當船舶於海上航行，航行員操縱船舶之所有動作，稱爲操船行爲[8]；當船舶與他船發生會遇情形，且航行員於受到碰撞危機至危機解除並回到原預定航線止，其中所採取避免與他船發生碰撞之行動，稱爲避讓行爲[9]。

避讓行爲佔了操船行爲中極重要的一環，不僅影響到人安、貨安、船安，更與環安有關。一般而言，避讓行爲之過程包含下列階段[10]：

1. 發現來船，蒐集信息
2. 根據實際情況確定可安全通過之距離
3. 判斷是否採取避讓行動
4. 決定避讓行動採取之時機
5. 決定採取何項避讓行動之方式
6. 復航

上述避讓過程中，操縱船舶之航行員從一般的航行行爲(瞭望與觀測)、感受刺激(看見來船)、判斷(碰撞危機是否存在)、決策(思考如何採取避讓)、行動(採取避讓行爲)、復航(危機解除)[11]。航行員在思考如何採取避讓時，深受避碰規則影響，更使其所採取避讓行爲之過程與避碰規則條款有密切的關聯(如圖 12 所示)。

船舶於一般航行行為階段中，航行員必須遵守避碰規則第五條之規定“運用視覺、聽覺以及適合當前環境所有可使用之方法”，即航行員需不僅使用目視瞭望還須輔以雷達瞭望，以保持正確瞭望使完全瞭解其周遭交通狀況和是否有碰撞危機；此外，航行員也必須遵守第六條—安全速度之規定“必須使用可採取適當而有效之避碰措施，且在適合當前情況與環境下，船舶可停止前進之速度”，其用意為防止船舶因船速太低失去舵效，或因船速過高，導致衝止距過長。若在能見度受限的情況下，航行員必須遵守第十九條第二款之規定“必須使用可採取適當而有效之避碰措施，且在適合當前情況與環境下，船舶可停止前進之速度”動力船舶應將主機備便，以便隨時緊急運轉”。

當航行員以目視或雷達發現有來船時，不論是哪個方位前來的船舶，都必須依照避碰規則第七條—碰撞危機所述，以來船方位是否改變判別碰撞危機的存在。同時也須提高注意力與警覺性，以因應未來可能會與他船發生之會遇情勢，故此階段為刺激。

碰撞危機的存在與否，為航行員採取行動之關鍵，於避碰規則第十四條“迎艏正遇”與第十五條“交叉相遇”中，明確指出若此兩種會遇狀況成立，皆必須符合有碰撞危機此項條件，所以在避碰規則第七條第四款，給予航行員以目視方法判別來船方位是否改變為碰撞危機之參考條件：

- 一、如來船羅經方位無明顯改變時，應視碰撞危機為存在；
- 二、即使來船方位有明顯變化，但當接近船舶為巨型船或一組拖曳船，或逼近另一船舶時，碰撞危機仍有存在的可能。

並在第十九條第四款中，說明於能見度不佳狀態下，航行員可採用雷達觀測方式，判別是否有碰撞危機之存在。

當本船與來船確定存在避碰危機時，航行員以避碰規則第八條—避碰行動所提及“盡可能提早採取清楚且易發現之避讓行動”為避讓動作採取之準則，再者依據條文中所列舉之會遇態勢：第十三條—追越、第十四條—迎艏正遇以及第十五條—交叉相遇判斷本船是否為讓路船以及必須採取的行動措施。

在追越情勢中，當船舶自他船正橫之後 22.5 度以上之方位駛近他船時，視為追越船；若兩船彼此以相反航向或幾乎相反之航向，也就是航向必須相差 180 度或相差接近 180 度(差值約 6 度)[11]，即為迎艏正遇，其中兩船互為讓路船，必須各朝右轉，使互在對方之左舷通過；在交叉相遇情況中，若見他船在其右舷者，則為讓路船，並同時根據第八條—避碰措施、第十六條—讓路船舶之措施、第十五條—直航船舶之措施以及第十

九條—在能見度受限制時之措施，決策應施行之避讓措施與確定動作時機點並履行其應盡義務，此為行動階段。

若本船為讓路船，並已採取避讓措施後，航行者必須確認所下決策是否奏效，並依第八條之規定：持續監控他船，直至他船最後通過並分離清楚為止。待兩船已確定解除碰撞危機後，本船應回到原先所規畫之航線，並將航向或航速回復到原先未採取避碰措施前之設定，繼續本船運輸貨物至目的地之任務，此為復航階段。

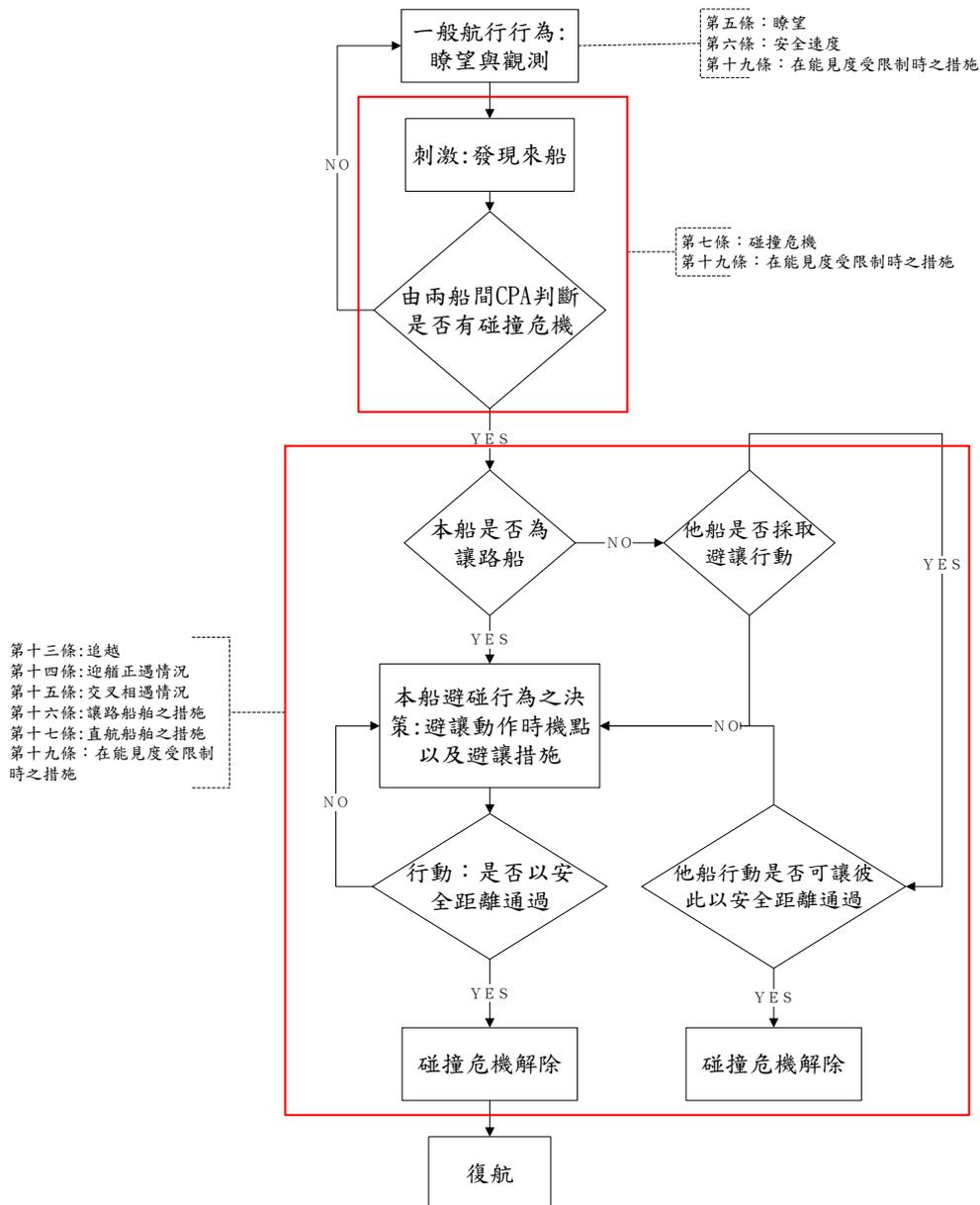


圖 1 避讓行為之過程

二、船舶領域

1971 年日本學者，Fuji 研究水道之交通容量時，提出船舶領域之理論，將於海上相遇船舶間所保持之一定距離稱為船舶領域。從追越情況中的直航船之角度將船舶領域定義為：後行船舶避免進入前行船舶周圍之領域；並提出以直航船為中心，長軸沿船首尾線方向，短軸沿船舶正橫方向之橢圓的船舶領域模型[12]。

Goodwin 則以開闊水域的角度，強調避碰規則對於航行員的避讓行為有重要的影響，提出受船舶會遇態勢影響之船舶領域模型，並將船舶領域以號燈範圍，左右兩舷 112.5 度為分界，畫分成三個扇形圖[13]。

吳兆麟以社會心理學的分支—近體學(Proxemics)之理論觀點來看，認為船舶領域如同人類與大多數動物一般，以保衛為目的，於本身周圍環境內，保持一需要之空間；若實際空間較所需空間小，則會有保衛反應，也就是船舶的避讓行為，所以吳兆麟認為船舶領域如同個人空間一般，亦受航行員生、心理與所處外在環境因素影響，並以心理學觀點出發，認為當預計最接近距離與心理所選擇之 CPA 差量小時，航行員並不會採取避碰行動，也就是對航行員來說，船舶領域具有可壓縮性之性質，並可隨交通狀況不同而改變[9][14]。

綜合上述文獻探討，航行員在進行避讓行為時，於各個方位與他船都有預留一安全範圍。避讓行為之過程與避碰規則條款有密切的關聯且航行員開始採取避碰動作至結束，有一定的程序在，故可依循這些步驟來判別有無施展避讓行動。

再者，雖各個學者對於船舶領域有不同定義，但皆具有相同意涵—船舶於會遇情況中，彼此間欲保持一安全距離，故船舶領域可視為本船所有相對方位之安全距離之空間集合，而此和他船間所保持之最小距離，即為航行員所期望之 CPA。

船舶領域邊界為可變的且具有可壓縮性，故形狀與大小會隨航行員、船舶尺度、海域環境以及來船方位的不同而改變，所以可從船舶領域之大小瞭解航行員所認可的安全通過距離以及判別該區域之交通概況，例如若環境許可並且可讓航行員採取及早避讓，則與會遇船舶通過之安全距離相對較大；反之，若通過之安全距離較小，則可顯示出該區域之交通擁擠度或航行員採取避讓行動之方式較為大膽。

參、研究方法

一、樣本選取

獲得船舶航行之實際軌跡分布對於分析特定航行水域之交通狀況是一重要項目，然而要取得可信的資料就必須藉由海上交通觀測方法[15]，故本文從交通部運輸研究所港灣技術研究中心取得船舶 AIS 資料進行分析，條件如下：

1. 區域涵蓋範圍：L 21°N~26°N，119°E~123°E；
2. 時間涵蓋範圍：2010 年 12 月 31 日至 2011 年 10 月 3 日止；
3. 總計取樣樣本數：約 3 千萬筆。

本文設定範圍為臺灣西部海域，由於西部海域區的航行環境不是一致，因此本文再將西部海域分成三個海域，經緯度範圍如下：

新竹外海至澎湖水道：L 24°N~25°N，119°E~121°E

澎湖水道：L 23°N~24°N，119°E~120°E

澎湖水道至高雄外海：L 21°N~23°N，119°E~120°E。

二、有效樣本選取

本文主要探討航行船舶之避碰行爲，兩船會遇若沒有碰撞危機，則不需採取避碰行動，總樣本數必須刪除此類船舶。而 CPA 與 TCPA 爲航行員採取避讓行動之重要關鍵；通常航行員以 ARPA 所計算出的 CPA 判別兩船間通過之最近距離，又因航行員皆會採用雷達避碰，在考慮雷達誤差的情況下，CPA 不應少於 2 浬[10]；而在航海人員訓練課程—操作級雷達及 ARPA 中，教材內也建議學員應以 CPA 2 浬作爲與他船必讓之安全距離[16][17][18]，故本研究以此爲門檻，對 CPA 在 2 海浬內之兩兩船舶，爲判別是否採取避讓行爲之對象。兩船最近距離(CPA)小於 2 浬則具有碰撞危機，以此條件計算所有 AIS 資料，篩選出 1,431,748 筆有效樣本具有碰撞危機，即兩船如果均不採取避讓措施，依原航向及航速繼續航行，預定之 CPA 將小於 2 浬。

三、精選樣本選取

當兩船發生碰撞危機，航行員依其的認知來決定是否需要避讓，即使航行員採取避碰行動時，往往也會依不同的航行環境選擇不同的時機開始行動，而且改變航向的大小也有差異，致使兩船通過時會產生不同的最近距離，也就是實際之 CPA。

船舶避碰的過程中，分成三個階段：發現危機(如圖 2 所示之 AB 段)、避讓(BD 段)、回至原航線(DE 段)。從三個階段的航向變化可以研判船舶之避碰行動。本研究在讀取船舶 AIS 資料時，發覺 AIS 所顯示之航向並非固定值，而是不斷的變化值，乃因船舶艏向受風浪影響所造成；因此，本研究乃以船舶在各階段之航向採用其平均值。當船舶發現危機時，還維持原航向，其平均值為初始航向；避讓時，航向改變之平均值為避讓航向；待與安全通過後，逐漸修正航向回至原航線，平均值則為復原航向。初始航向與避讓航向之差值大於 10 度，且初始航向與復原航向差值在 3 度以內時，即認定該船有採取避讓動作。

船舶由初始航向轉向成避讓航向，此點稱為避讓點(如圖 2 所示之 B 點)。避讓過程中，與他船距離最小處則為最近點(C 點)，係兩船之間避碰後之實際 CPA。

畢修穎、陳元平指出大部分航行員於距離直行船 4 至 6 浬時採取行動[5][19]，為有效探討船舶間之避碰行為，本研究選取大部分航行員採取行動時機—距離最近點 4 至 6 浬且採取上述避碰動作的船舶為主要研究對象，並作進一步之分析比對，並以各海域所有船舶之平均船速來計算避讓點之時間分布及最近點與他船之距離(CPA，如圖 2 所示之 OC)。這些船舶之 AIS 資料共取得精選樣本 367,360 筆。

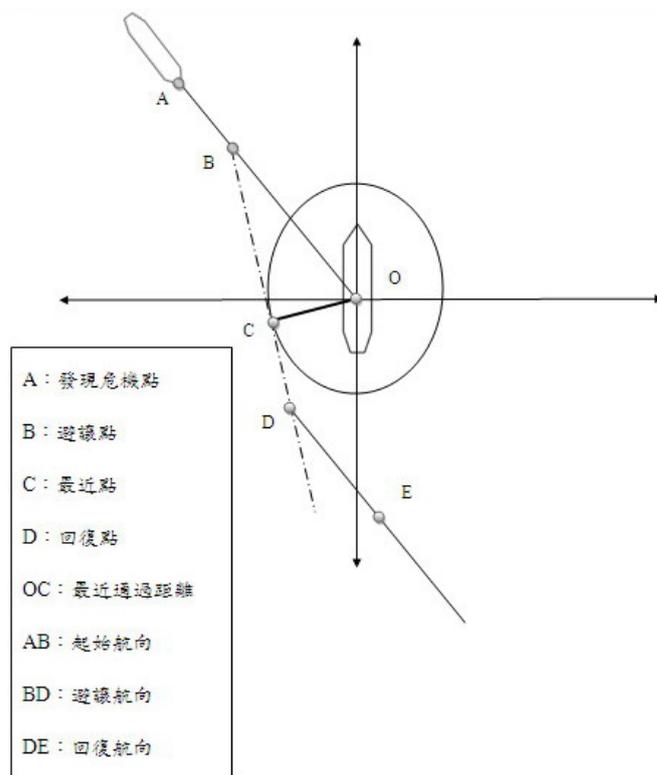


圖 2 避碰行動圖

肆、研究分析

一、 避碰行動採取時機之分析

(一)避碰行動採取時機

由有效樣本計算出三個海域之平均航速，均以 10 至 15 節船速航行之船舶比例最高。各海域航行員採取避碰行動之距離，以平均航速推算 4 至 6 浬之避讓點時間如所示：

1. 新竹外海至澎湖水道區域平均速度為 10.53 節，避讓點分布在最近點(圖 3 之 C 點)之前 22 至 34 分鐘；
2. 澎湖水道平均速度為 12.71 節，避讓點分布在最近點之前 18 至 28 分鐘；
3. 澎湖水道至高雄外海平均速度為 13.5 節，避讓點分布在最近點之前 17 至 27 分鐘。

表 1 避讓點推算表

	平均航速(節)	採取行動時之距離(浬)	估計避讓點(分)
新竹外海至澎湖水道	10.53	4 至 6	22 至 34
澎湖水道	12.71	4 至 6	18 至 28
澎湖水道至高雄外海	13.5	4 至 6	17 至 27

(二)避碰行動採取時機之分析

為探討讓路船舶在不同避讓點採取避碰行動，對通過直行船最近點之距離及方位之影響，本研究以表1所述為基準進行分析，並以圖4至圖6表示。

新竹外海至澎湖水道資料分析如下(如圖4所示)，圖中橫軸為通過最近點落在直行船之方位，方位000代表通過直行船船首，方位180代表通過直行船船尾，縱軸為讓路船通過直行船之最近距離：

1. 避讓點距離直行船 2 浬時，通過最近點之距離左右舷分布在 0.1 至 0.3 浬，艏、艉分布在 0.1 至 0.2 浬，和其他時間段相較下，通過距離有較小的情勢，且在各方位通過直行船之距離亦無太大變化；
2. 避讓點距離直行船 7 浬時，通過最近點之距離分布左右舷分布在 0.1 浬，艏分布在 0.2 至 1.5 浬、艉分布在 0.5 至 1.5 浬，和其他時間段相較下，通過距離有較大的情勢，且從直行船左側通過之距離較大，通過右側之距離較小；
3. 避讓點距離直行船 3 至 6 浬時，從所有方位通過直行船最近點之距離皆分布在 0.5 至 0.6 浬，距離之分布具有一致性，船舶領域模型會呈現對稱的圓形。

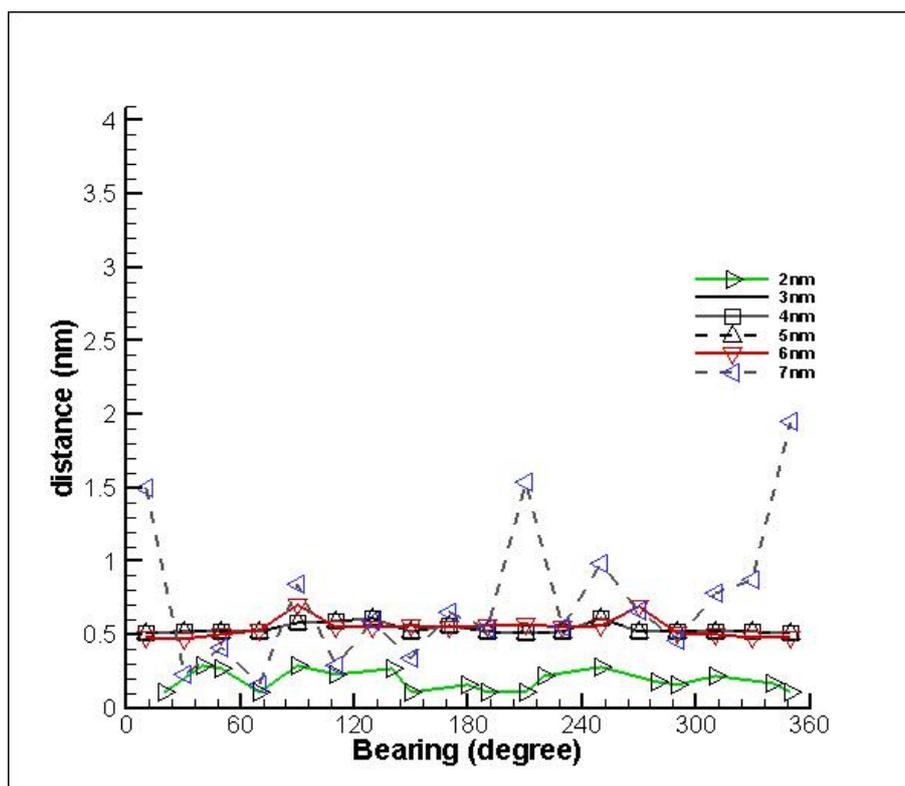


圖 3新竹外海至澎湖水道採取避碰行動時機點分析結果

澎湖水道資料分析如下(如圖5所示，其中橫軸為通過最近點落在直行船之方位，縱軸為讓路船與直行船通過最近距離)：

1. 避讓點為距直行船 2 浬時，最近通過距離於左右舷分布在 0.7 至 0.8 浬，艏、艉分布大約在 1.7 浬。和其他時間段相較下，最近通過距離分布有較其他小的情勢；
2. 避讓點為距直行船 7 浬時，通過最近點之距離於左右舷分布在 1.7 至 1.9 浬，艏、艉分布在 1.6 至 1.9 浬；
3. 避讓點為距直行船 3 浬時，通過最近點之距離於左右舷分布在 1.4 至 1.7 浬，艏、艉分布在 2.8 至 2.9 浬；
4. 避讓點為距直行船 4 至 6 浬時，通過最近點之距離於左右舷分布在 1.6 至 1.9 浬，艏、艉分布在 3.2 至 3.3 浬。
5. 避讓點為距直行船 3 至 7 浬時，通過最近點之距離分布具有一致性，船舶領域模型會在艏艉方向呈現狹長型。

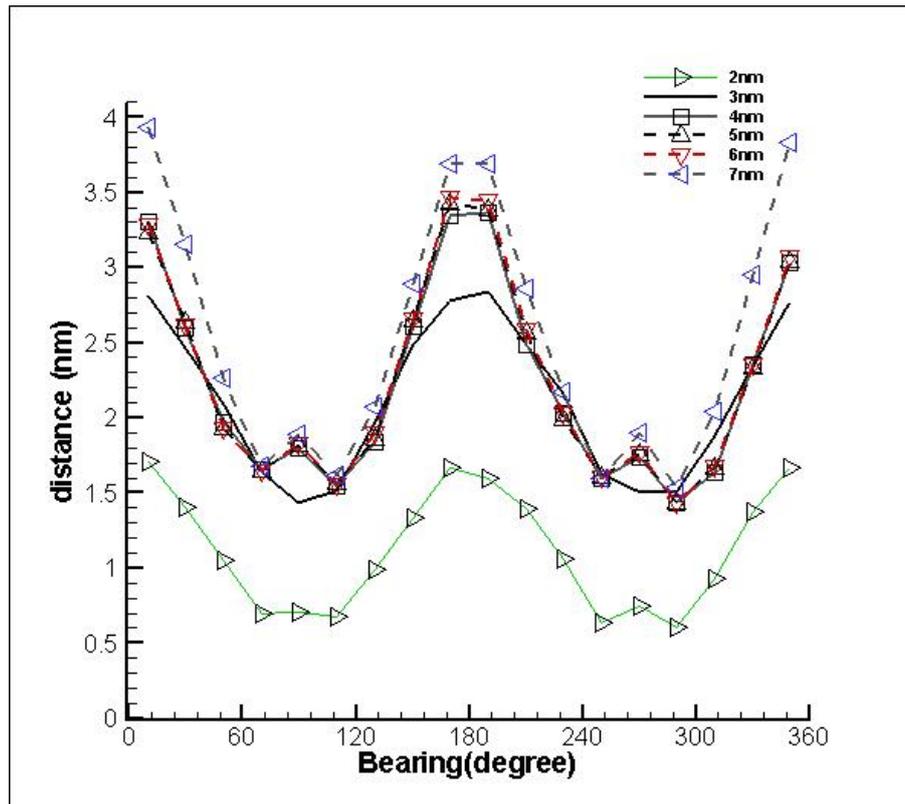


圖 4澎湖水道採取避碰行動時機點分析結果

於高雄外海資料分析如下(如圖 6 所示，其中橫軸為通過最近點落在直行船之方位，縱軸為讓路船與直行船通過最近距離)：

1. 避讓點為距直行船 2 浬時，最近通過距離於右舷分布在 2.3 至 2.5 浬、左舷分布在 2.0 至 2.4，艏分布在 2.5 至 2.6、艉分布大約在 2.6 浬。和其他時間段相較下，最近通過距離分布有較小的情勢；
2. 避讓點為距直行船 7 浬時，最近通過距離分布右舷分布在 2.6 至 3.3 浬、左舷分布在 2.6 至 3.2，艏分布在 3.4 浬、艉分布大約在 3.5 浬，最近通過距離分布有較大的情勢；
3. 避讓點為距直行船 3 至 6 浬時，最近通過距離右舷分布在 2.5 至 3.0 浬、左舷分布在 2.2 至 3.0 浬，艏分布在 0.6 至 3.0 浬、艉分布大約在 2.8 至 2.9 浬，雖四個方位無對稱性，但可推得船舶領域模型符合 Goodwin 之右舷面積較左舷面積大。

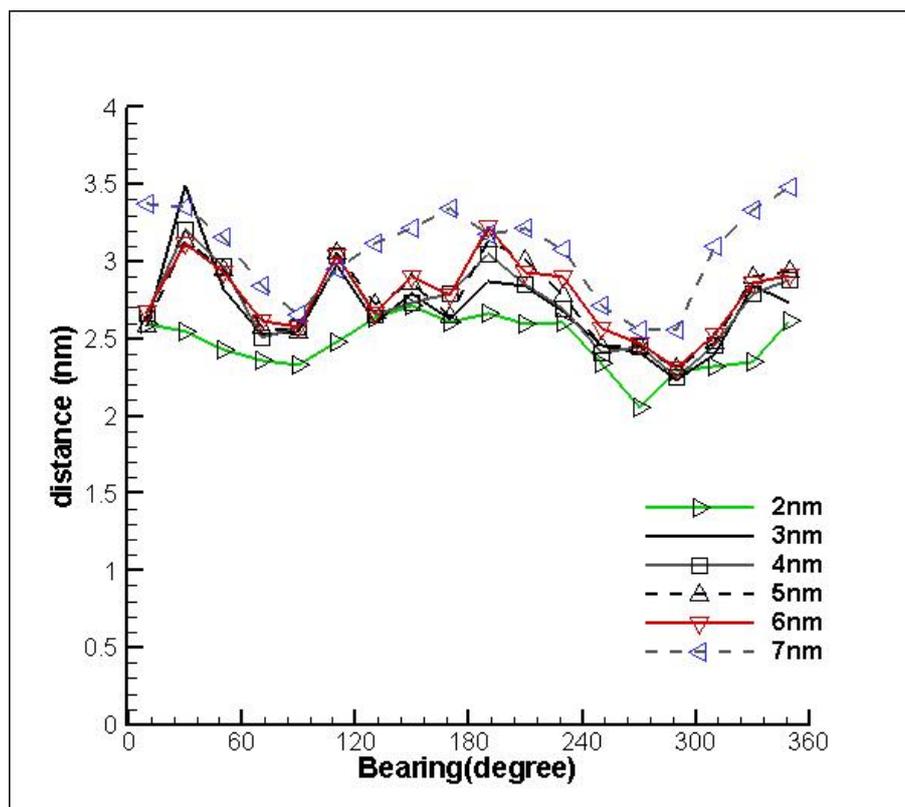


圖 5高雄外海採取避碰行動時機點分析結果

比較三個不同海域，通過直行船之最近距離，呈現下列現象：

1. 當避讓點取愈接近直行船時(採取行動時機愈晚)，最近距離分布有偏低現象；當避讓點取愈遠離直行船時(採取行動時機愈早)，最近距離分布較大。可得知愈早採取行動，兩船最近通過距離愈大，愈可解除碰撞危機。
2. 新竹外海至澎湖水道之通過距離最小，且分布較一致；高雄外海之通過距離較大，分布雖有差異，但也都介於 2 至 3.5 浬之間。
3. 澎湖水道之通過距離起伏最大，在直行船艏、艉通過的距離可達 4 浬，通過左右舷卻只有約 1.5 浬，此與狹窄水道的特性有關。

二、最近點統計

此部分將精選樣本中避讓船於直行船各方位最近通過之距離以圖形顯示分布情形，探討精選樣本占有效樣本之比例，再從分布圖中判別不同地區最近通過距離變化現象。比較三個不同海域，船長 150 至 250 公尺避讓船通過船長 150 至 250 公尺直行船之最近距離分布情形，呈現下列現象(如圖 6 至圖 8 及表 2 所示)：

1. 從最近通過距離分布點可得知交通流之流向，若多為艏艉方向，分布會在左右舷集中，如澎湖水道。
2. 從新竹外海最近通過距離分布點可推得，各方位都有密集趨勢，故交通流向不如澎湖水道較為單一化。
3. 高雄外海精選樣本最近距離點分布較為分散，較難以看出集中區域，且從表 2 中於 1 浬所佔比例大約為 25% 左右，和其他地區相比於 1 浬所佔比例有明顯較低之現象，亦可推得於此地區船舶通過距離有較大趨勢。
4. 各地區精選樣本於 1 浬所佔比例皆高於有效樣本，可知精選樣本之距離分布較有效樣本低。
5. 各地區精選樣本可分析出，在新竹外海航行船舶，主要航線從澎湖水道至富貴角水域，或反向航行，重疊性高，船舶避讓空間較為緊迫，因此，1 浬所佔比例高達 73.1%，且分布於各方位交會；在澎湖水道航行船舶受到狹窄水域特性之影響，1 浬所佔比例亦達 62.2%，但呈現追越及被追越之關係，主要交會集中在左右舷；高雄外海航行船舶之航線較為多樣，有進出高雄港，或來往澳洲或東南亞、香港，避讓水域有較大的選擇空間，致使 1 浬所佔比例最低，僅有 28.5%，交會方位之分布也較分散。

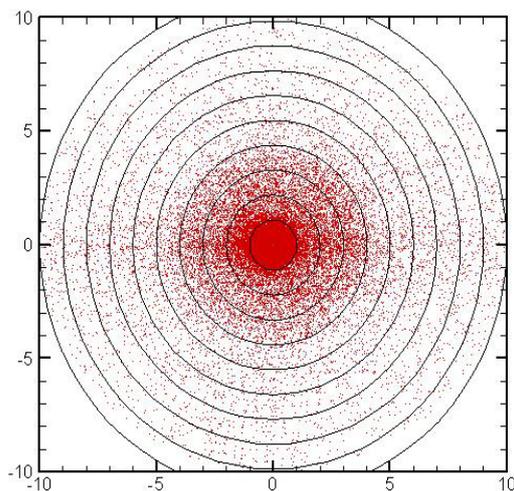


圖 6 新竹外海避讓船與直行船皆為 150 公尺至 250 公尺之精選樣本分布圖

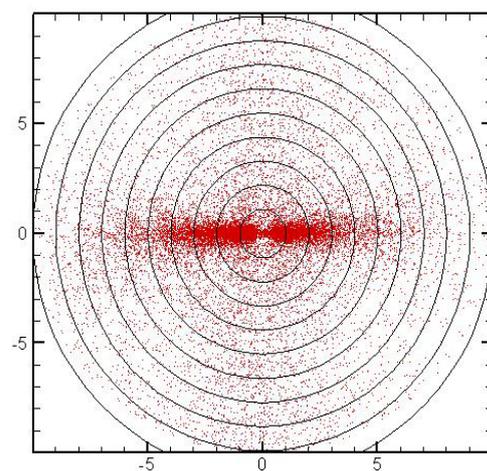


圖 7 澎湖水道避讓船與直行船皆為 150 公尺至 250 公尺之精選樣本分布圖

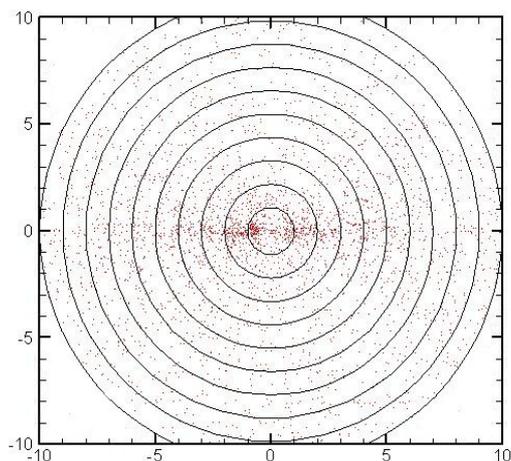


圖 8 高雄外海避讓船與直行船皆為 150 公尺至 250 公尺之精選樣本分布圖

表 2 各地區樣本分布

有效樣本						
距離(哩)	新竹外海		澎湖水道		高雄外海	
	個數	百分比	個數	百分比	個數	百分比
1	29929	38.6%	39051	59.0%	5271	26.6%
2	11327	12.3%	6063	9.2%	2484	12.5%
3	8362	9.4%	4219	6.4%	2157	10.9%
4	7723	8.2%	3439	5.2%	1830	9.2%
5	7465	7.2%	2944	4.4%	1630	8.2%
6	6802	6.8%	2565	3.9%	1480	7.5%
7	5814	6.1%	2549	3.9%	1405	7.1%
8	5015	5.3%	2235	3.4%	1303	6.6%
9	3753	4.2%	1874	2.8%	1192	6.0%
10	1973	1.9%	1262	1.9%	1085	5.5%
精選樣本						
距離(哩)	新竹外海		澎湖水道		高雄外海	
	個數	百分比	個數	百分比	個數	百分比
1	35457	71.3%	12712	62.2%	1622	28.5%
2	5944	11.9%	2203	10.8%	847	14.9%
3	3394	6.8%	1288	6.3%	588	10.3%
4	2106	4.2%	937	4.6%	491	8.6%
5	979	2.0%	782	3.8%	503	8.8%
6	699	1.4%	622	3.0%	420	7.4%
7	463	0.9%	648	3.2%	341	6.0%
8	345	0.7%	501	2.5%	307	5.4%
9	222	0.4%	467	2.3%	288	5.0%
10	125	0.2%	283	1.4%	293	5.1%

三、各方位距離平均分布

在分布圖結果當中可知各地區之距離分布各有不同，不同組別又有不同分布情形產生。單就分布圖來看，僅能看出最近點的密集區域，難以瞭解整體樣本在直行船各方位

及各距離變化趨勢；故此部分主要探討有效樣本與精選樣本於各方位之平均距離變化趨勢，並以圖 10 至 12 表示(其中橫軸為通過最近點落在直行船之方位，縱軸為讓路船與直行船通過最近距離，AVE(A/C)為精選樣本的平均分布；AVE(ALL)為有效樣本的平均分布；SD(A/C)為精選樣本的標準差分布；SD(ALL)為有效樣本的標準差分布)。

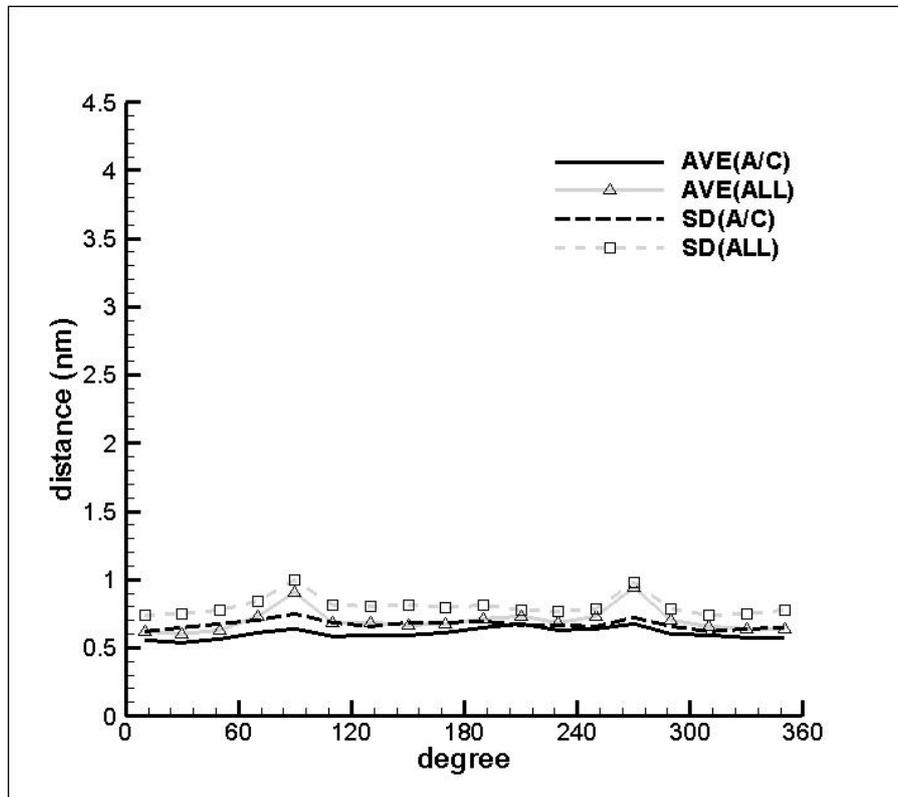


圖 9 新竹外海避讓船與直行船皆為 150 公尺至 250 公尺之距離平均分布

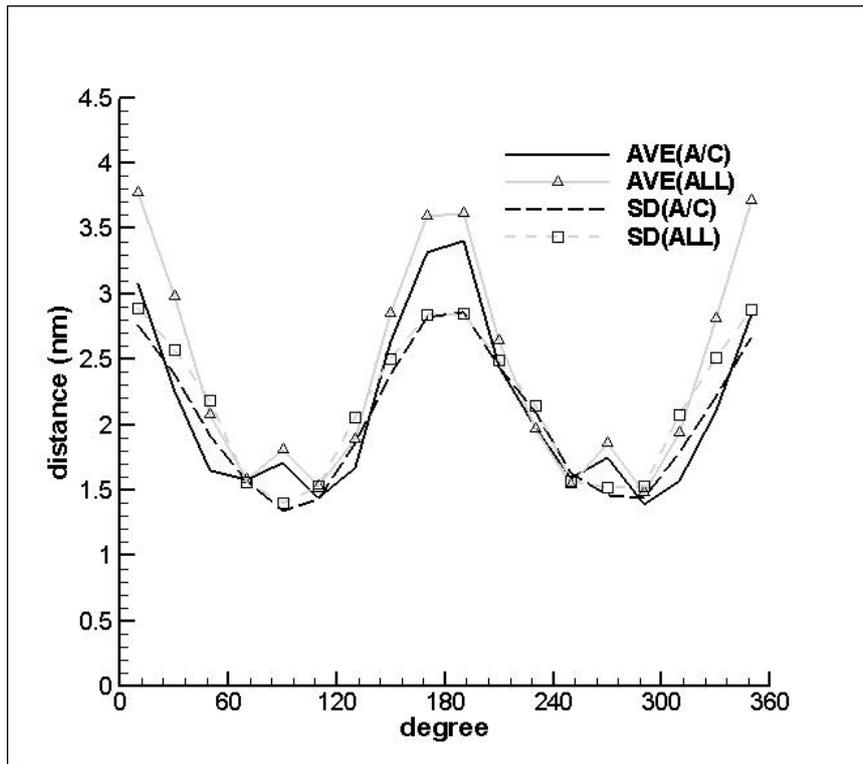


圖 10 澎湖水道避讓船與直行船皆為 150 公尺至 250 公尺之距離平均分布

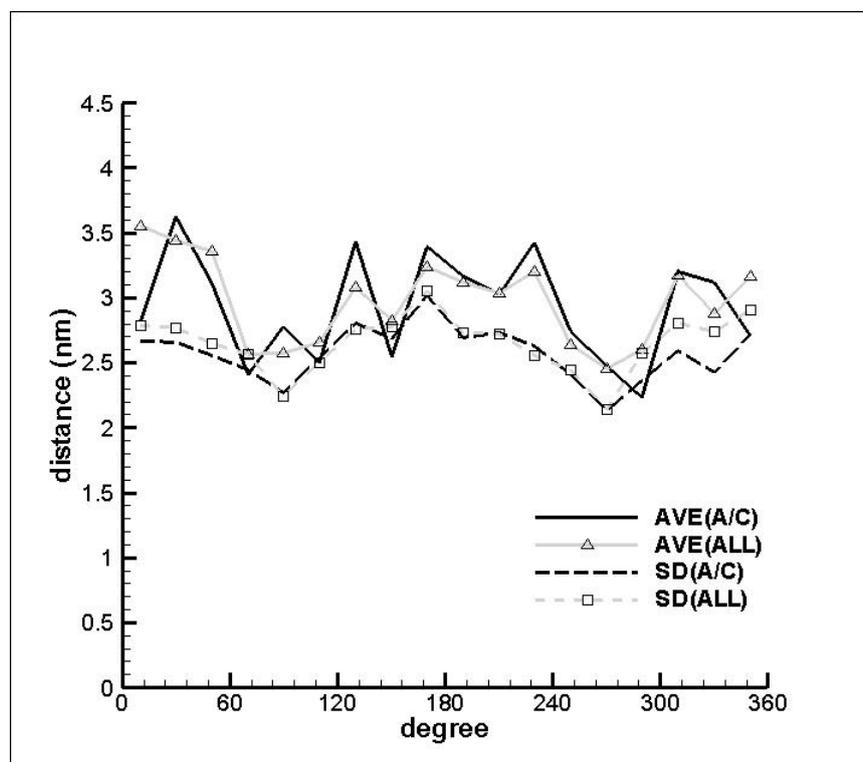


圖 11 高雄外海避讓船與直行船皆為 150 公尺至 250 公尺之距離平均分布

比較三個不同海域，通過直行船之最近距離之平均值分布，呈現下列現象：

1. 各地區皆有標準差大於平均值的現象，表示資料分布差異性大，尤以新竹外海地區各個組別為最明顯，則若僅以平均方式表現船舶領域邊界容易有失真現象。因此，船舶領域之界定應再做機率累積密度分析。
2. 從各方位距離分布的情況，可知各地區船舶領域形狀之雛型。新竹外海於各方位平均值分布較為平緩，並為特別擺動，可得船舶領域形狀會接近四方對稱的圓狀；澎湖水道於各方位平均值分布曲線峰值落在艏、艉處，可得船舶領域形狀會接近狹長狀；高雄外海於各方位平均值分布曲線分布無一定規律，可得船舶領域形狀可能為不規則狀。

三、船舶領域

船舶領域為各個方位安全距離之集合，則可統計各地區船舶最近通過距離為船舶領域之邊界。若單以平均方式獲得船舶領域，平均值易受極端值影響，所以本文在此採取機率累積密度達 50% 時的通過距離為船舶領域邊界。

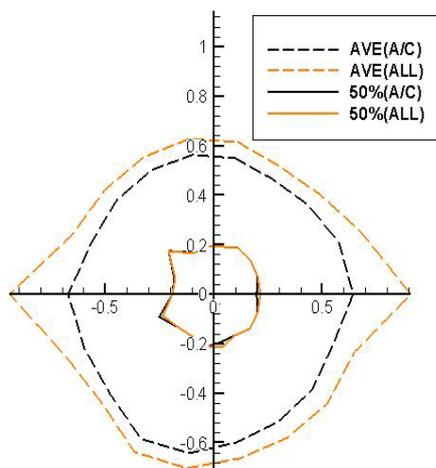


圖 12 新竹外海避讓船與直行船皆為 150 公尺至 250 公尺之船舶領域圖

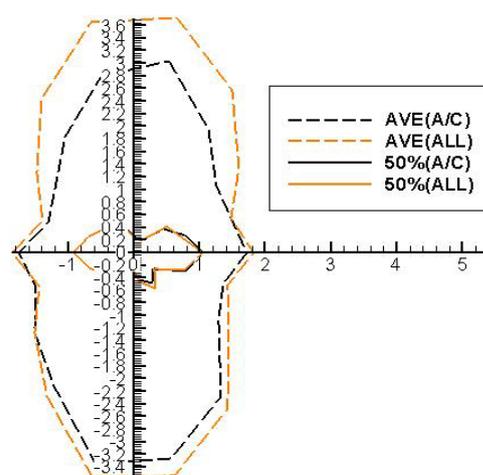


圖 13 澎湖水道避讓船與直行船皆為 150 公尺至 250 公尺之船舶領域圖

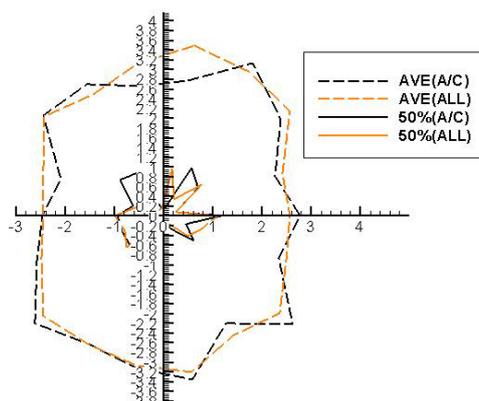


圖 14 高雄外海避讓船與直行船皆為 150 公尺至 250 公尺之船舶領域圖

比較三個不同海域之船舶領域，呈現下列現象：

1. 在各地區中，大部分的組別都有符合 Goodwin 船舶領域模型之特徵：右舷面積大於左舷面積，艏面積大於艉面積的現象
2. 雖文獻指出大部分航行員於距離直行船 4 至 6 浬時採取行動，但從精選樣本以及有效樣本的比較中可知，有效樣本所得邊界值大多大於精選樣本之邊界值，顯示 4 至 6 浬採取行動並不適用所有海域以及所有情況中，可重新審視文獻中數值之客觀性以及合理性。

伍、結論

航行員所欲通過之安全距離已是既定模式，但以平均方式呈現資料分布情形時，各個地區的標準差都有偏大的情形；與以機率方式呈現出的結果相互比較後，平均值方式所獲得的結果受到左右極端值影響甚大，並且有嚴重失真的現象，即可知雖極端值所佔比例不高，但卻足以影響整體資料之特性。

根據本研究所綜和整理各地區最小通過距離之結果，建議航行員於新竹外海地區更應力行提早避讓原則，使通過距離增大；澎湖水道地區具有狹窄水域特性，航行員於此區航行應多注意南北交通流向，使左右舷通過距離增加；高雄外海區域雖通過距離雖無一定趨勢在，但仍應採取提早且大動作避讓措施，使各方通過距離保持在 0.5 海浬外。與大尺度之船舶進行避讓行動時，為避免行動效果不彰，應力行提早避讓原則，使通過距離增加。

雖文獻指出大部分航行員於距離直行船 4 至 6 浬時採取行動，但有效樣本所得邊界值大多大於精選樣本之邊界值，顯示 4 至 6 浬採取行動並不適用所有海域以及所有情況中，顯示許多航行員會於 6 海浬以上採取避讓行動，尤其船舶大型化及快速化後，船舶避讓屈於謹慎，應可重新審視文獻中數值之客觀性以及合理性，並建議於船員避讓相關訓練課程時，可以據此做為避讓行為規劃之參考。

參考文獻

1. 靖心慈，2007，海運業服務貿易統計試編，中華經濟研究院。
2. 陳彥宏、陳治平、劉思妤、朱有為，2006，全球商船全損海難分析，台灣海事安全與保安研究會，1 頁~23 頁。
3. Yao C., et al., 2010, Distribution Diagram of Ship Tracks Based on Radar Observation in Marine Traffic Survey, The Journal of Navigation, Vol.63, pp.129~136.
4. 周和平、簡光志、周明道，2002，我國所轄海域海上交通管理芻議，海運研究學刊，第十二期，43 頁~57 頁。
5. 畢修穎，2004，船舶轉向避讓碰撞距離模型的確定，湛江海洋大學學報，第二十四卷，第六期，37 頁~40 頁。
6. 方信雄，2008，船舶碰撞的原因-航行員警覺性不足，保險大道社期刊，第五十八期，57 頁~60 頁。
7. 鐘祥華，2007，臺灣周遭海域船難事故分佈研究，國立臺灣海洋大學商海洋環境資訊學系碩士論文。
8. 藤井彌平，1981，海上交通工學，海文堂。
9. 吳兆麟，2004，海上交通工程，大連海事大學出版社。
10. 趙勁松、王逢辰、今津隼馬，1998，船舶避碰學原理，大連海事大學出版社。
11. 溫子芸，2007 年，臺灣船員的人格因素對船行為之影響，國立臺灣海洋大學商船學系碩士論文。
12. Fujii Y. and Tanaka K., 1971, Traffic Capacity, The Journal of Navigation, Vol.24, No.3, pp.543~552.
13. Goodwin E. M., 1975, A Statistical Study of Ship Domain, The Journal of Navigation, Vol.28, No.3, pp.328~344.

14. Zhao J. S., et al., 1993, Comments on Ship Domains, The Journal of Navigation, Vol.46, No.3, pp.422~436.
15. Yao C., et al., 2010, Distribution Diagram of Ship Tracks Based on Radar Observation in Marine Traffic Survey, The Journal of Navigation, Vol.63, pp.129~136.
16. 廖忠山，1984，邊碰與整合航海系統，中國海事出版社，76 頁。
17. 劉兆泰等，1983，雷達觀測教材，幼獅文化事業公司，268 頁~285 頁。
18. 操作級雷達及 ARPA 訓練教材，2006，國立台灣海洋大學航海人員訓練中心，65 頁~78 頁。
19. 陳元平，1997，航海員避讓行為之研究，國立臺灣海洋大學航運技術系碩士論文。